

UM PROCESSO DECISÓRIO QUE LEVA EM CONTA OS RISCOS TECNOLÓGICOS, AMBIENTAIS E FINANCEIROS

Guilherme T. Castro - PETROBRAS

Celso K. Morooka; Saul B. Suslick e Ricardo Furtado – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

1. Resumo

As metodologias de processo decisório utilizadas pelas companhias de petróleo geralmente só levam em consideração os aspectos econômicos, como valor presente líquido, taxa de retorno, entre outros. Porém para que um empreendimento em E & P consiga ser avaliado de modo abrangente, a metodologia utilizada deve atender proporcionalmente todos objetivos da companhia, que consideram outros aspectos além do financeiro.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta de modelo decisório que envolve proporcionalmente os principais objetivos da companhia na tomada de decisão, através da utilização da teoria de funções utilidade e multi-atributos.

Além de explanar sobre a teoria matemática da metodologia, este trabalho ilustra a técnica através de um exemplo bastante atual, onde partir de um cenário de um campo em águas profundas com potencial de produção de 100.000 barris/dia, é necessário definir o melhor sistema de produção dentre as seguintes opções: uma plataforma Semi Submersível, ou um *FPSO (Floating, Production Storage and Offloading)*, ou ainda uma *TLP (Tension Leg Platform)*.

O problema foi estruturado considerando o riscos técnicos do projeto e faz-se a análise da melhor opção de desenvolvimento levando em consideração os riscos tecnológicos, de segurança, ambientais e financeiros de cada alternativa. Os resultados indicaram que a melhor opção nem sempre é aquela que apresenta os melhores indicadores considerando apenas o aspecto financeiro.

2. Introdução

Nas ultimas décadas as oportunidades de investimento tem se multiplicado, e a definição da estratégia de alocação dos recursos de uma companhia de petróleo cada vez mais se torna um fator imprescindível para o seu sucesso, principalmente nas áreas de exploração e produção.

O desenvolvimento de metodologias de tomada de decisão, levando em consideração os riscos envolvidos, visa auxiliar os gerentes e a companhia aumentar a qualidade e aprimorar o processo decisório que define onde e como devem ser aplicados os seus investimentos, possibilitando desta forma o melhor retorno possível deste capital.

No início os métodos de avaliação de viabilidade e interesse em um determinado negócio levavam em consideração números absolutos de valor presente líquido, taxa de retorno, tempo de retorno do capital investido, entre outros aspectos financeiros. Em uma primeira fase da evolução destes métodos foi agregado o conceito de risco, ou seja, a variabilidade dos elementos do fluxo de caixa, mas ainda com uma visão onde só se levava em consideração o aspecto do atributo financeiro. Porém, existem outros fatores no cenário atual que devem ser também considerados, como o uso de novas tecnologias, segurança e o impacto no meio ambiente.

Toda esta complexidade, que faz parte do dia a dia dos indivíduos responsáveis pelas decisões em uma companhia de petróleo, requer o uso de ferramentas apropriadas visando padronizar o processo decisório, permitindo desta forma o seu aprimoramento e acompanhamento sistemático.

3. Metodologia

Um primeiro conceito que é utilizado na avaliação econômica é o Valor Presente Líquido (VPL), esta medida está associada ao atributo risco financeiro. O VPL de um projeto é o somatório dos valores de entrada e saída do fluxo de caixa de um projeto, descontados a uma taxa mínima de atratividade e a uma determinada data. Outro conceito importante é o Valor Monetário Esperado (VME) que é definido pela soma do montante de capital (VPL) ganho ou perdido se cada resultado ocorrer multiplicado pela sua probabilidade de ocorrência. Segundo Nepomuceno (1997), o VME não especifica o nível ótimo de participação no projeto, sendo indiferente ao risco de grandes perdas financeiras e assume que o capital da empresa é ilimitado.

O conceito de VME inclui uma ponderação da consequência financeira pela sua probabilidade de sucesso. Entretanto é importante o alerta de Furtado & Suslick (1999) de que o risco não é função somente da distribuição probabilística das variáveis que compõem o cálculo do VPL, como volume de produção e custos do projeto, mas também da magnitude do capital sendo exposto à chance de perda, ou seja, um mesmo projeto pode ser considerado arriscado para uma firma e atrativo para outra. Usar o VME como critério para tomada de decisão significa que o tomador de decisão é totalmente indiferente ao dinheiro e ao risco.

Com o objetivo de incorporar a atitude frente ao risco no processo decisório, Newendorp (1975) sugeriu a utilização da teoria da utilidade, desenvolvida inicialmente por John Von Neumann e Oskar Morgenstern em 1944. Esta metodologia está baseada no modelo de função utilidade que é construída atribuindo-se um valor numérico maior para o melhor resultado possível e um valor menor para um evento menos preferível. A obtenção de valores numéricos intermediários permite construir a curva da função utilidade que é única para cada tomador de decisão.

A forma de se achar a curva de utilidade sugerida por Newendorp (1975) é primeiramente questionando-se o tomador de decisão quais opções ele tomaria com relação a uma árvore de decisão típica, com um nó de decisão que tem como uma opção a atitude sem risco “A” e como opção restante um nó de chance com a opção “B” com probabilidade $p\%$ ou a opção “C”, com probabilidade de ocorrência de $(1-p)\%$. Esta opção “A” sem risco na árvore de decisão significa por quanto o jogador aceitaria vender a opção do jogo, e é chamada de equivalente certo.

Tendo-se como premissa o conhecimento do valor da utilidade de duas opções, a da utilidade da opção “A” chamada de “ $U(A)$ ” e da utilidade da opção “B” chamada de “ $U(B)$ ”, determina-se o valor da utilidade da terceira opção “ $U(C)$ ” através da fórmula: $U(A) = \{U(B) \times p + U(C) \times (1-p)\}$. Desta forma vai se construindo a curva de preferência de utilidade do tomador de decisão. A Figura 1 ilustra um exemplo de curva de utilidade.

É importante que se tenha em mente dois conceitos, o primeiro é que este “jogo” vai ser jogado várias vezes, logo se na primeira vez não der certo, pode dar certo na segunda vez, terceira vez, e assim sucessivamente. O segundo conceito é que a curva de preferência pode variar com o tempo.

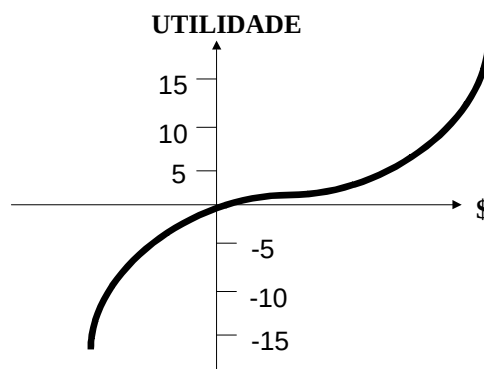


Figura 1 : Exemplo de curva de utilidade *versus* resultado financeiro de um projeto, Newendorp(1975)

3.1 O Modelo de Multiatributos

De acordo com Dyer *et al.* (1996) o método de Análise de Decisão simples e com múltiplos objetivos proporciona um significado lógico e tratável para se operar com objetivos conflitantes (*trade-off*). Segundo Howard (1988), a "Análise de Decisão é definida como uma disciplina que compreende filosofia, teoria, metodologia e prática profissional para formalizar importantes decisões".

Este tipo de metodologia proporciona um modelo que ajudará a empresa a definir as melhores alternativas, através de um método lógico, sistemático e compreensivo de tomada de decisão.

É necessário ressaltar que esta técnica não elimina nem reduz o risco. A sua utilidade é ser uma ferramenta que auxilie o tomador de decisão na avaliação, quantificação, e entendimento dos riscos, para que o gerente possa decidir de uma forma que otimize a exposição da empresa ao risco.

Para que os tomadores de decisão consigam direcionar os seus negócios, a alta gerência deve deixar bem claro quais são os objetivos da companhia. A partir deste ponto pode ser construída uma hierarquia de objetivos, onde cada oportunidade pode ser mensurada através dos seus atributos e utilidades correspondentes. A questão da estruturação e hierarquização dos objetivos é bem detalhada por Keeney e Raiffa (1976), Clemen (1996) e Nepomuceno (1997).

O próximo passo é achar funções utilidade para cada atributo "x, y, ..., z" individualmente e resolver o problema utilizando uma função utilidade multi-atributos, do tipo $U(x,y,...,z)=f\{U_x(x),U_y(y),...,U_z(z)\}$. Relacionado-se desta forma apenas as funções utilidade individuais para se chegar ao resultado final.

Após definirmos as funções utilidades para cada atributo individualmente, deve ser verificar a amplitude de variação de cada critério, atribuir um escore com variação de zero a 1, onde zero significa o menor valor ou onde o atendimento foi totalmente insatisfatório e 1 o oposto, significando o máximo grau possível de satisfação.

Para que seja possível usar a função utilidade multilinear, que possui dois atributos com a forma: $U(x,y) = C_1 + C_2U_x(x) + C_3U_y(y) + C_4U_x(x)U_y(y)$, onde os valores de "C" são constantes. É necessário o atendimento do conceito da mútua independência preferencial, que consiste em que a preferência de um atributo não dependa do nível de outro atributo. Por exemplo, comparando dois projetos com custos de \$30 e \$50 milhões respectivamente e com o mesmo impacto ambiental, o de menor custo será sempre a melhor opção. Logo, em se mantendo um destes dois atributos com o mesmo valor (ambiental ou custo), o outro atributo definirá sempre a preferência.

Como o projeto com o menor impacto ao meio ambiente será preferido em duas versões de projeto com mesmo custo, e da mesma forma a opção de projeto com menor custo será a preferida entre versões de projeto com o mesmo grau de impacto ao meio ambiente, podemos dizer que os atributos custo e impacto ao meio ambiente são atributos com mútua independência preferencial.

A independência de utilidades é uma propriedade ainda mais forte do que a independência preferencial, e é necessária em casos onde os resultados envolvem incertezas (maioria dos casos reais). Um atributo é considerado como de utilidade independente de outro atributo se as suas preferências para escolhas com níveis de incerteza forem independentes do nível do outro atributo. Logo se o valor de equivalente certo para a loteria do atributo Y é o mesmo não importando qual o nível do atributo X, então Y é de utilidade independente de X, podemos ver este conceito ilustrado na Figura 2.

Nem sempre é possível garantir que exista a mútua independência de utilidade em todos os casos, porém esta é uma aproximação usualmente adotada em trabalhos práticos de estudos de funções multi-atributos.

¹ O conceito de trade-off envolve o ganho de um atributo em detrimento de um outro

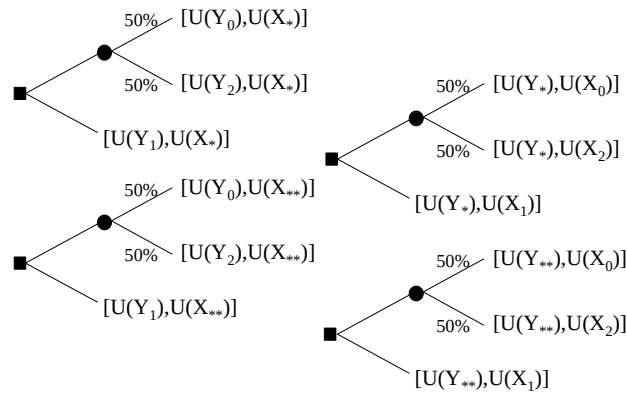


Figura 2 : Comprovação da mútua independência de utilidades entre os atributos Y e X.

Outro conceito importante é o de atributos substitutos ou complementares. Atributos são chamados de substitutos quando podem ser substituídos no todo ou parcialmente um pelo outro. Por exemplo, se o dono de uma determinada companhia deseja um certo valor de lucro e se o lucro de cada divisão for um atributo, não faz diferença para o dono da companhia se uma atingir um lucro excepcional e outra um pequeno prejuízo, desde que o objetivo de lucro total seja atendido.

Já no caso de atributos complementares, a presença de todos é importante. Como no caso de uma guerra onde cada frente de batalha seja um atributo, caso uma frente falhe a guerra estará perdida. É claro que todas estas considerações devem ser feitas no domínio do problema em questão, isto é, elas devem ser válidas dentro da amplitude de variação de cada critério, onde seu escore varia de zero a 1.

Em muitos trabalhos, os procedimentos de avaliação da função utilidade multi-atributos assumem mútua independência preferencial e são considerados substitutivos. Nestes casos pode ser usada a forma aditiva, onde em um universo “n” de número de atributos, o somatório dos pesos relativos “ k_i ” de cada atributo “i” somam 1 ($\sum_{i=1}^n k_i = 1$). O valor da função utilidade “ $u(x)$ ” pode ser

obtida através da fórmula $u(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i)$, onde “x” é a unidade de avaliação do atributo.

Nos casos em que existe uma mútua independência preferencial e os atributos são complementares, teremos $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ e deve ser usada a forma multiplicativa

$1 + ku(x) = \prod_{i=1}^n [1 + kk_i u_i(x_i)]$, onde “k” é uma constante e sua metodologia de cálculo é bem explicada por Keeney e Raiffa (1976).

Há cerca de um quarto de século Newendorp (1975) dizia que a aplicação de conceitos de teoria da preferência de valor ou teoria da utilidade nas decisões de negócio do dia a dia era mais uma proposta de como se tomar decisões do que uma realidade, pois a preferência era pelo uso do valor monetário esperado (VME).

Recentemente começaram a aparecer algumas iniciativas para a aplicação deste tipo de técnica na área de petróleo. O trabalho de Turner *et al.* (1998) mostra o caso de uma grande companhia de petróleo que no final de 1997 contratou uma firma de consultoria para implementar estas técnicas com conceitos de aversão ao risco e multiatributos em uma visão mais abrangente do que só na área de meio ambiente e segurança. Os trabalhos de Walls (1995), Nepomuceno, Suslick e Walls (1999) e Moraes (1999) já mostram exemplos práticos de utilização destes conceitos em alocação de recursos financeiros na área de E & P.

4. Cenário Proposto

Como exemplo prático de aplicação de análise multi-atributo na área de gerenciamento de campo de petróleo, vamos considerar uma companhia na qual sua direção consegue claramente definir os objetivos estratégicos, que geralmente na área de exploração e produção de petróleo são maior lucratividade, preservação do meio ambiente, segurança e liderança tecnológica.

A situação considerada é um exemplo típico de decisão por qual muitas corporações devem estar passando nestes últimos anos. Após a descoberta de um novo campo de petróleo em uma bacia já madura, em lâmina d'água de cerca de 800 metros e com potencial de produção de 100.000 barris/dia, é necessário definir o melhor sistema de produção dentre as seguintes alternativas:

- 1) Uma plataforma Semi Submersível (SS), escoando a produção de óleo via um navio *Floating, Storage and Offloading (FSO)* com *Turret*.
- 2) Uma plataforma SS, escoando a produção de óleo via oleoduto.
- 3) Um *Floating, Production, Storage, and Offloading (FPSO)* com *Turret* escoando a produção de óleo via operações de *Offloading*.
- 4) Um *FPSO* com *Turret* escoando a produção de óleo via oleoduto.
- 5) Uma *Tension Leg Platform (TLP)*, escoando a produção de óleo via um navio *FSO* com *Turret*.
- 6) Uma *TLP*, escoando a produção de óleo via oleoduto.

Em todas as opções acima, considera-se::

- dez poços produtores com uma curva de produção idêntica, e com um patamar de produção de 10.000 barris/dia durante três anos. A curva de declínio de produção dos poços será do tipo exponencial, com uma taxa de 10% ao ano;
- todas as plataformas tem capacidade de processo de 100.000 barris/dia e eficiência operacional sempre plena (igual a 100%);
- duas intervenções nos poços por ano, com exceção dos dois primeiros e dos dois últimos anos, no final do projeto se considera uma operação de desativação igual ao de uma intervenção para cada poço;
- para adiantar a produção, os poços serão perfurados previamente por uma outra unidade, enquanto durarem as obras da unidade de produção definitiva.

Os fatores que diferenciam o fluxo de caixa de cada opção são:

1. custo e prazo de construção para cada tipo de plataforma (SS, *FSO*, *FPSO* e *TLP*), que incluem todos os investimentos envolvidos, como: construção, instalação, lançamento e interligação do gasoduto, ancoragem, pré-operação, e outros. Os itens que não estão incluídos são: perfuração dos poços, instalação do oleoduto (rígido ou flexível) e completação dos poços;
2. tempo da intervenção e os custos operacionais de intervenção por poço com *Árvore de Natal Seca (ANS)* e *Árvore de Natal Molhada (ANM)*;
3. tempo e custo de completação e interligação dos poços a plataforma (incluindo as linhas flexíveis e ANM no caso de poço satélite e riser e ANS no caso da *TLP*).

Como considerações para todos os casos foram assumidas as seguintes premissas: o preço do barril produzido a \$15,00, uma taxa de atratividade de 8% ao ano, um imposto sobre o lucro bruto de 60% e os custos operacionais iniciando após o final do segundo ano do projeto.

A partir destas considerações é possível construir uma planilha de cálculo e obter uma curva de produção e um fluxo de caixa, segue um exemplo para cada alternativa nas Figuras 3 e 4.

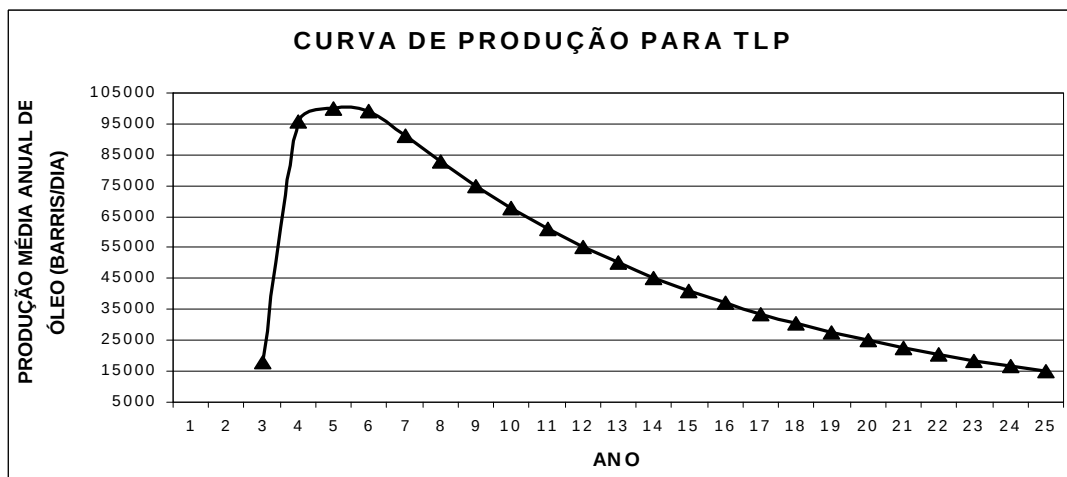


Figura 3 : Exemplo de curva de produção da planilha de cálculo

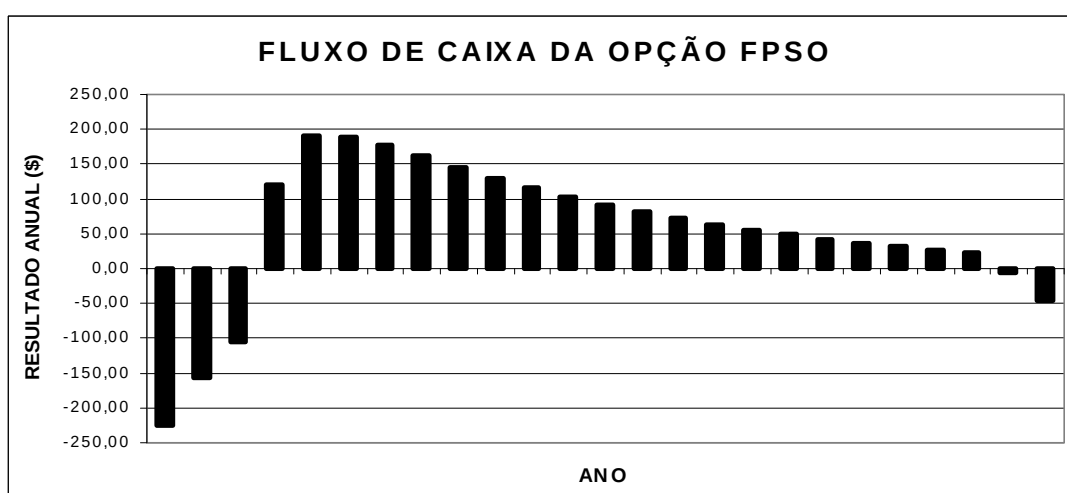


Figura 4: Exemplo de fluxo de caixa da planilha de cálculo

O próximo passo é determinar para cada variável selecionada a sua amplitude de incerteza (risco) e a sua importância através de uma análise de sensibilidade.

A análise de sensibilidade tem por objetivo avaliar o efeito de uma variável no resultado, permitindo obter respostas do tipo: Qual é a precisão necessária para determinado parâmetro?, Para que intervalo de variação de um parâmetro o resultado final fica inalterado? ou Quais são as consequências de um valor muito abaixo ou muito acima do esperado de uma variável?.

Um parâmetro que tenha um grande impacto, como um que com apenas 10% de variação causa um valor presente líquido (VPL) negativo no negócio, pode requerer uma análise mais depurada com o objetivo de ter reduzido o seu risco ou melhorar o VPL final. Por outro lado, um parâmetro cuja variação de 10% quase não cause impacto no VPL provavelmente não vai necessitar de estudos adicionais ou mesmo de ter o sua variabilidade (risco) considerado na avaliação.

Após a definição de quais as variáveis que vão ter os seus riscos considerados no problema, deve ser feita a simulação Monte Carlo. Que consiste em utilizar um programa de computador para fazer combinações aleatórias entre valores das distribuições dos vários parâmetros, o *software* calcula e armazena o resultado em sua memória. Este processo é repetido por um grande número de vezes, até apresentar uma curva precisa da distribuição dos possíveis valores de saída.

No exemplo deste estudo foram consideradas as variáveis listadas na Tabela 1, a incerteza de cada variável está representada através de uma curva de distribuições contínua triangular.

Tabela 1 : Curvas de distribuições contínuas (todas triangulares)
representando as incertezas das variáveis

Variável	Mínimo	Média	Moda	Máximo	Variável	Mínimo	Média	Moda	Máximo
custo FPSO (\$)	286,8	340,7	330,9	404,4	custo de interv. p/ poço c/ ANS	1	1,6	1,5	2,2
custo SS (\$)	323	377,3	367,6	441,2	custo de interv. p/ poço c/ ANM	3,7	5,4	5,1	7,4
custo TLP (\$)	300	354,4	307,4	455,9	tempo de interv. p/ poço c/ ANS	10	23,3	20	40
custo FSO (\$)	103	137,3	132,4	176,4	tempo de interv. p/ poço c/ ANM	20	36,7	30	60
prazo FPSO (meses)	24	27,7	27	32	custo anual transp. óleo via oleoduto (p/ b/d)	1	2,8	3,5	4
prazo SS (meses)	22	25,7	24	31	custo anual de transp. óleo via petroleiro (p/ 100.000 b/d)	12,5	14,7	14	17,7
prazo TLP (meses)	26	29,3	28	34	custo de perf. p/ poço c/ ANS	4,1	4,5	4,4	5,1
prazo FSO (meses)	15	18,3	18	22	custo de perf. p/ poço c/ ANM	6,6	8,6	8,1	11
custo anual oper. fixo FPSO	26,5	31,3	30,7	36,8	tempo de perf. p/ poço c/ ANS	23	34,7	31	50
custo anual oper. fixo SS	22	25,7	25,6	29,4	tempo de perf. p/ poço c/ ANM	26	39,3	37	55
custo anual oper. fixo TLP	22	25,7	25,6	29,4	custo de comp. interl. poços p/ FPSO	11,2	16,0	14,7	22
custo anual oper. fixo FSO c/ monoboia	6,6	8,3	7,9	10,3	custo de comp. interl. poços p/ SS	13,2	18,1	16,2	25
custo anual oper. variável FPSO	2,9	4,0	4,1	5,1	custo de comp. interl. poços p/ TLP	2,4	3,0	3	3,6
custo anual oper. variável SS	1,8	2,6	2,4	3,7	tempo comp. interl. poços p/ FPSO	40	53,3	50	70
custo anual oper. variável TLP	1,8	2,6	2,4	3,7	tempo comp. interl. poços p/ SS	45	56,0	50	73
custo anual oper. variável FSO	1,5	1,8	1,8	2,2	tempo comp. interl. poços p/ TLP	15	28,3	20	50

Após fazer a simulação Monte Carlo, são obtidas para cada opção de projeto as curvas de distribuição contínuas acumuladas de valor presente líquido (VPL) (Figura 5) e relação risco *versus* VME de cada opção de projeto (Figura 6). O programa permite também fazer correlações entre as variáveis, embora este recurso não tenha sido usado em nosso exemplo.

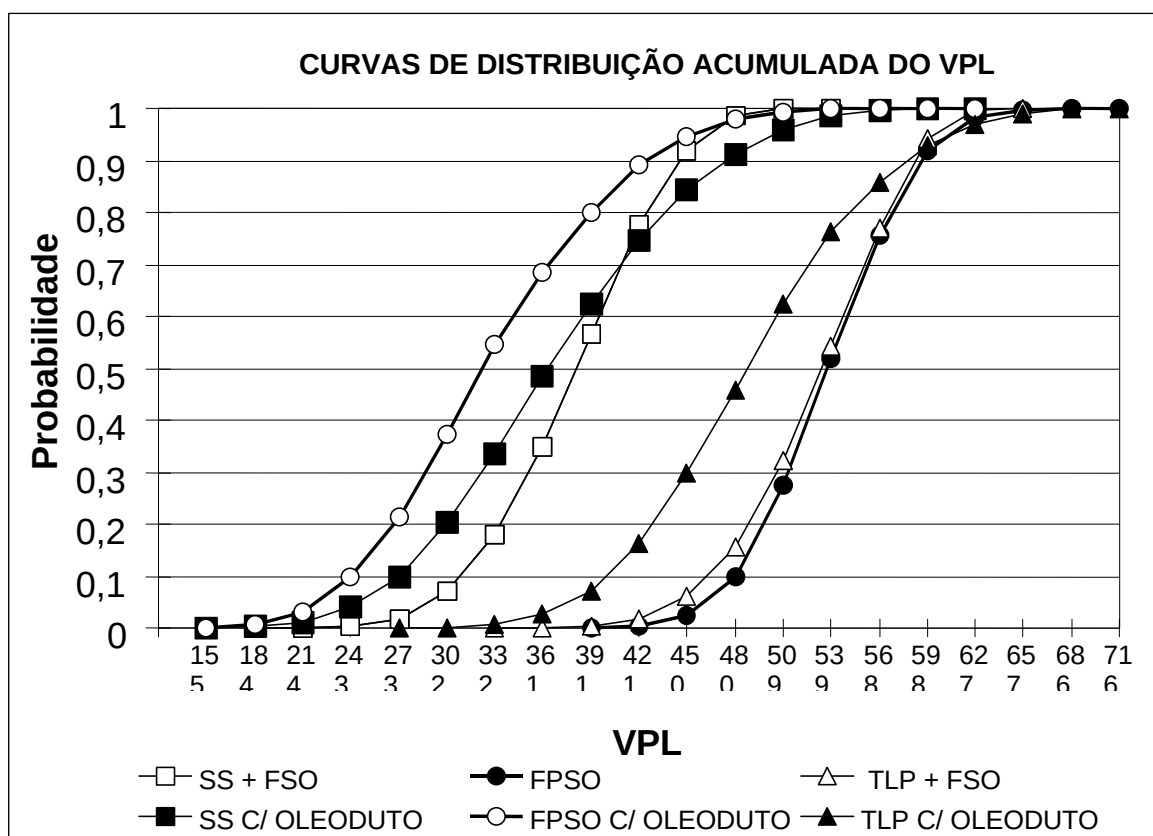


Figura 5 : Distribuições contínuas acumuladas de VPL para cada alternativa de projeto

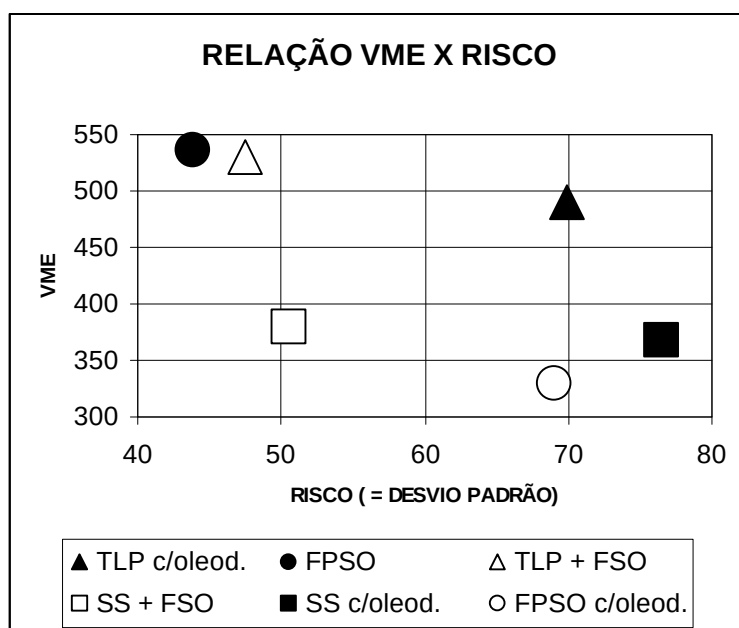


Figura 6 : Relação Risco x VME para cada alternativa de projeto

Fica claro que neste exemplo a opção do *FPSO* predomina sob todas as outras sendo a mais atrativa, pois apresenta o maior VME com menor risco. Quase a totalidade das companhias param neste ponto suas análises de projeto e negócio. Isto teoricamente não é correto pois o uso do VME é apropriado para um gerente indiferente ao risco, o que não acontece na realidade.

A metodologia proposta neste trabalho permite mensurar preferência em relação ao risco de vários atributos, mostrando-se desta forma mais adequada para procedimentos de tomada de decisão. Baseado nos objetivos estratégicos definidos no exemplo pela direção da companhia, serão considerados concomitantemente os seguintes atributos: lucro, investimento, impacto ao meio ambiente, segurança das instalações e tecnologia.

Foram considerados dois atributos da área financeira, o atributo VPL e valor do investimento, sendo que para o primeiro foi utilizada como função utilidade a curva exponencial, $u(x) = e^{cx} - 1$, onde “x” é o valor do atributo VPL, e “c” é o coeficiente de aversão ao risco. Segundo Walls (1995b), como valor de “c” pode ser assumido o inverso de um quarto do orçamento anual. Supondo que no nosso caso o orçamento é de \$ 2.000, teremos a seguinte função utilidade:

$$u(VPL) = e^{0,002(VPL)} - 1$$

Para o cálculo da utilidade do VPL é necessário calcular o valor da utilidade em cada ponto da curva de distribuição do VPL, o próprio *software* do simulador pode fazer este cálculo. Neste exemplo prático, de forma ilustrativa, o cálculo foi feito discretizando a curva em 200 valores e calculando a utilidade para cada ponto. A utilidade final, chamada de valor esperado da utilidade (VEU) é obtida multiplicando cada valor de utilidade pela sua respectiva probabilidade.

Foi utilizado para o investimento a mesma simulação Monte Carlo e determinado o valor esperado de investimento (VEI) para cada alternativa, sendo que para o atributo investimento foi utilizada a função $u(Inv.) = -e^{-0,004(Inv.)} + 1$, onde foi utilizado o dobro do valor de “c” da função anterior. Os resultados finais de utilidade de cada alternativa estão resumidos na Tabela 2.

A Figura 7 ilustra as curvas da função utilidade do VPL e do investimento, demonstrando claramente uma preferência ao maior VPL e uma aversão ao maior investimento. Estas curvas ilustram o comportamento normal de uma aversão maior ao dispêndio do que a propensão ao ganho, pois a utilidade de um VPL com valor de 300 tem um valor de utilidade próximo a 1, mas o mesmo valor de 300 para investimento atinge uma utilidade de cerca de -2,5.

Tabela 2 : Quadro resumo dos valores de VME, VEI e utilidades dos atributos VPL e investimento.

	FPSO	TLP + FSO	TLP c/oleod.	SS + FSO	SS c/oleod.	FPSO c/oleod.
VME	536,66	529,53	489,77	379,97	368,92	329,86
Util.	1,93	1,89	1,68	1,15	1,11	0,95
Util.corrig.	1,00	0,96	0,75	0,20	0,17	0,00
VEI	-525,08	-556,23	-429,10	-704,53	-577,40	-525,08
Util. Inv.	-7,02	-8,31	-4,47	-16,49	-9,47	-7,02
Util.I.corrig.	0,79	0,68	1,00	0,00	0,58	0,79

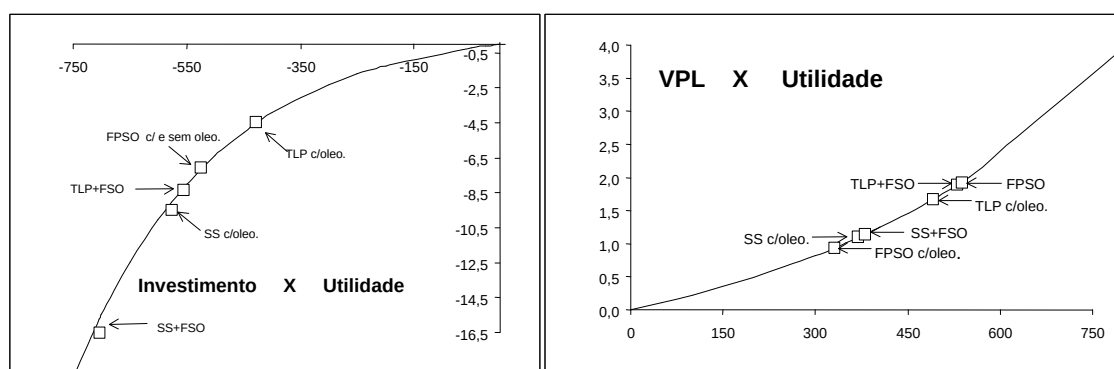


Figura 7 : Gráficos das funções utilidade de investimento e VPL

Para cálculo do atributo tecnológico serão consideradas as premissas do trabalho de Lanford (1972), que propõem o uso da função logística como a que melhor representa a inovação tecnológica. Este tipo de curva é consagrado para esta aplicação e pode-se listar na área de petróleo o artigo de Oligney e Economides (1998), que utilizaram o mesmo princípio para mensurar a utilidade da tecnologia de poços horizontais.

Este formato de curva indica um crescimento limitado durante os primeiros anos de experiência, então um rápido crescimento e um aumento na eficiência na aplicação da tecnologia, seguido então por uma diminuição da taxa de crescimento com a proximidade da saturação tecnológica. Podemos dizer então que o risco tecnológico tende a zero no final da curva “S” (o maior conhecimento tecnológico se dá quando se constrói a ultima unidade), neste ponto teremos uma utilidade próxima de 1. Logo este atributo vai servir para impor uma aversão às novas tecnologias de plataformas de produção sendo que uma nova tecnologia para ser implementada deve compensar esta desvantagem nos outros atributos.

O primeiro passo foi o de ajuste das curvas obtidas pela equação da curva de função utilidade do tipo logística, que é dada por:

$$U(x) = \frac{1}{a - be^{-cx}}$$

Fez-se então um levantamento de dados, baseando-se em Behrenbruch (1995), Lovie (1997) e Lovie (1998) foram construídas para cada tipo de plataforma, as curvas acumuladas do número de unidades que entraram em operação a cada ano (Figura 8).

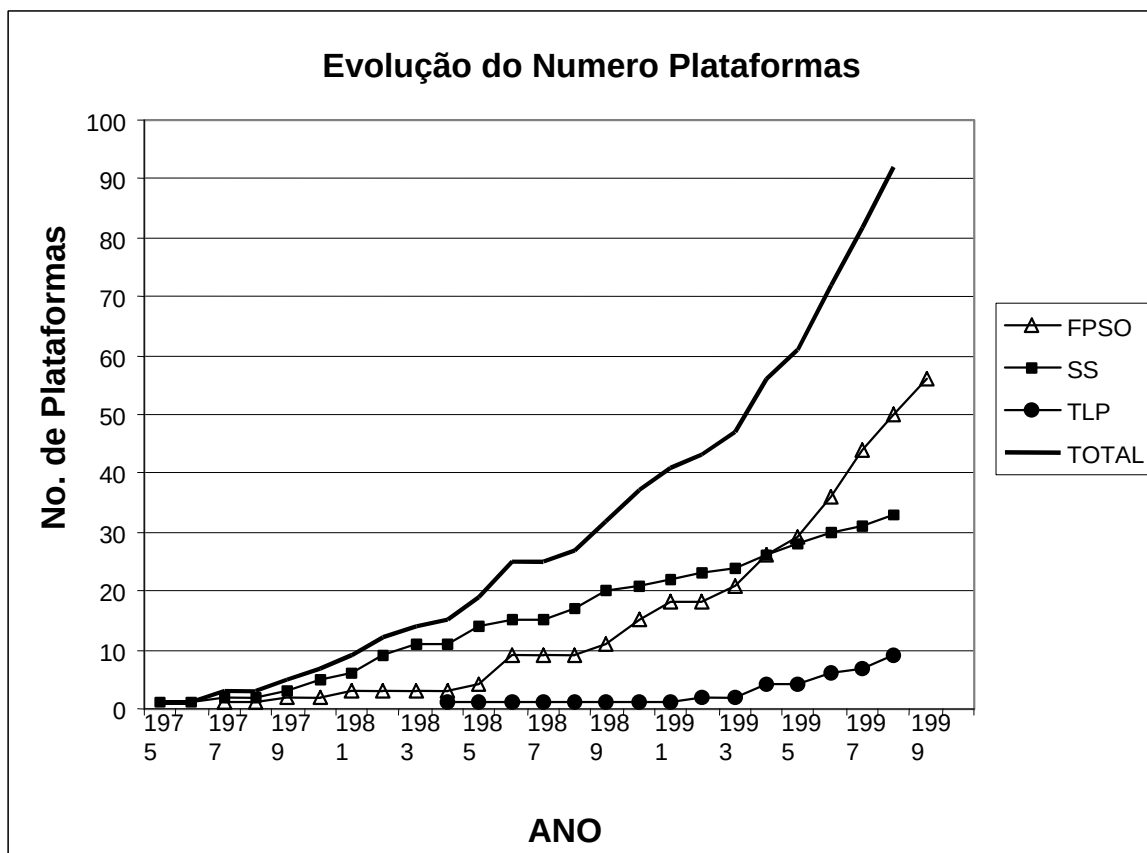


Figura 8 : Curva acumulada de entrada em operação de plataformas de produção

Como pode ser observado na figura 8, as plataformas do tipo SS foram as pioneiras, seguidas pelas unidades do tipo *FPSO*, que já a ultrapassaram em número e estão com uma forte tendência de crescimento. As do tipo *TLP* são as mais recentes e estão começando a sua tendência de crescimento.

Para cada tipo de plataforma foi então ajustada uma curva de logística, e obtida a sua referida utilidade de acordo com o número de unidades instaladas em 1999 (Figura 9).

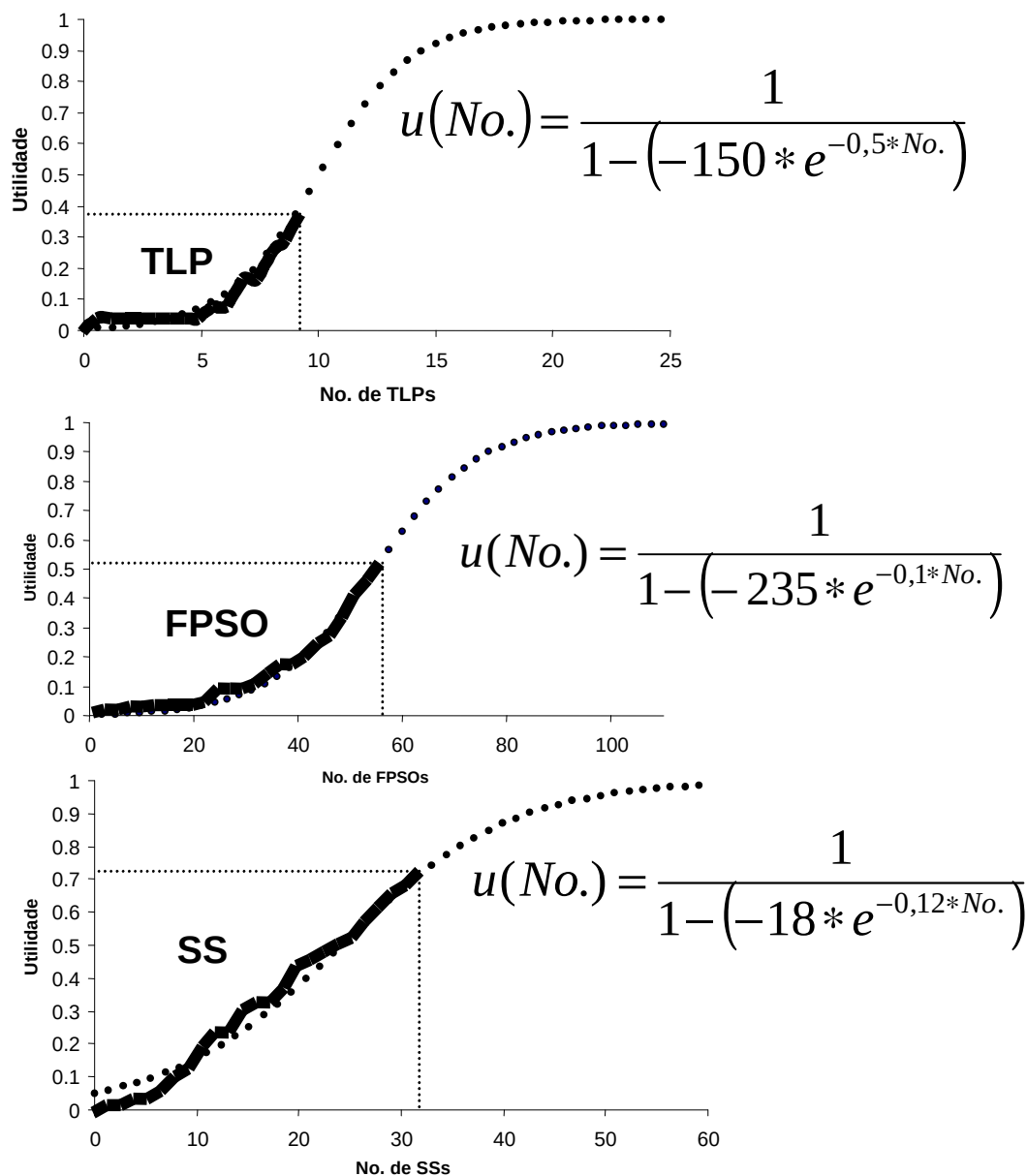


Figura 9 : Gráficos das funções de utilidade de risco tecnológico

A disponibilidade de informações na área de risco ambiental para unidades de produção de petróleo flutuantes é bastante limitada, após pesquisa bibliográfica somente foi possível identificar referências que tratavam apenas de plataformas do tipo SS. A área de segurança por sua vez tem grande complexidade e estudos bastante avançados, porém a diversidade de técnicas traz uma certa dificuldade na obtenção de valores quantitativos mais genéricos.

Em seguida fez-se uma pesquisa com gerentes tomadores de decisão e técnicos da área de análise de risco ambiental e segurança e, onde foram detectadas as seguintes preferências e justificativas:

- a SS é considerada o sistema que apresenta o menor risco ao meio ambiente e segurança, sua vasta utilização e bons índices de performance lhe atribuem a utilidade máxima, considerada como 1 (um);

- a *TLP* por utilizar Árvores de Natal Secas e Risers rígidos apresenta a desvantagem de realizar de forma simultânea atividades de produção e completação, estas operações conjuntas já tem um histórico de acidentes em plataformas fixas. Outro agravante é a exposição de duas das três barreiras de segurança (as válvulas *Master* e *Wing* da ANS) a possíveis incêndios na superfície. Essas considerações fazem com que a utilidade da *TLP* seja inferior e considerada como 0,9;
- o *FPSO* é o sistema de maior risco, pois armazena petróleo nos seus tanques internos, logo a sua utilidade foi avaliada em 0,8;
- tanto a *TLP* quanto a *SS*, quando considerada a opção de projeto sem oleoduto rígido, incluem na sua concepção um *FSO* e a utilização de petroleiros para transporte do petróleo. Isto significa a inclusão de dois pontos de risco, logo as suas utilidades com oleoduto devem ser multiplicadas por 0,75.

Podemos fazer um quadro resumo das utilidades que levam em conta o risco ambiental de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 : Resumo da utilidade dos atributos de meio ambiente e segurança

CONCEPÇÃO	UTILIDADE	CONCEPÇÃO	UTILIDADE
TLP c/ oleoduto	0,9	SS s/ oleoduto	$1,00 \times 0,75 = 0,75$
TLP s/ oleoduto	$0,9 \times 0,75 = 0,675$	FPSO c/ oleoduto	0,8
SS c/ oleoduto	1,00	FPSO s/ oleoduto	$0,8 \times 0,8 = 0,64$

No modelo múltiplo objetivo é necessário atribuir pesos aos critérios. Como estamos aplicando o modelo aditivo, sabemos que o somatório dos pesos atribuídos a cada atributo “ k_i ” tem que ser igual a um.

Uma maneira isenta de atribuir pesos é selecionar na literatura que percentual do orçamento das companhias de petróleo que está sendo utilizado para a área de cada atributo. De acordo com Borghini *et al.* (1998) o custo ambiental está entre 19-22% do custo operacional de um projeto e segundo Paul (1998) a verba utilizada pela média das companhias de petróleo com desenvolvimento de novas tecnologias está entre 3% e 1,5% do seu orçamento. Baseando-se nestes valores, e em uma relação arbitrada de 2 para 1 entre VME e VEI, foram atribuídos os pesos listados Tabela 4.

Tabela 4: Pesos atribuídos a cada atributo

ATRIBUTO	PESO
VPL	0,50
Inv.	0,25
Risco Ambiental e de Segurança	0,20
Risco tecnológico	0,05

Definidas as utilidades dos atributos risco do VME, VMI, tecnológico, ambiental e de segurança, aplicamos os resultados no modelo aditivo de utilidade múltiplos critérios.

Com a aplicação no modelo obtivemos os valores da utilidade de cada sistema de produção e que foram posteriormente classificados em ordem decrescente. A Tabela 5 apresenta estes resultados:

Tabela 5 : Resultados finais

	VPL	Inv.	Amb.&Seg.	Tecnol.	Total
TLP c/ oleoduto	0,75	1,00	0,72	0,00	0,77
FPSO	1,00	0,79	0,00	0,36	0,71
TLP + FSO	0,96	0,68	0,10	0,00	0,67
SS c/ oleoduto	0,17	0,58	1,00	1,00	0,48
FPSO c/ oleoduto	0,00	0,79	0,44	0,36	0,30
SS + FSO	0,20	0,00	0,31	1,00	0,21

Verificamos que a *TLP* com oleoduto é o sistema que apresenta a maior utilidade, porém caso a premissa de que exista uma outra companhia que instalaria o oleoduto e cobraria por volume de óleo escoado não se mostre verdadeira a segunda opção seria o *FPSO*. Estes resultados estão coerentes com a expectativa, pois estes dois tipos de sistema de produção são os que mais tem sido selecionados no cenário mundial.

1. Comentários Finais

A metodologia proposta aplicada para a escolha do sistema de produção e escoamento de petróleo mais adequado para um certo cenário proporciona ao gerente responsável uma ferramenta de decisão que captura aspectos intangíveis. O modelo de decisão com múltiplos objetivos incorpora um a regra matemática precisa, que maximiza o valor da utilidade esperada.

No exemplo proposto no trabalho, caso fossem levados em consideração apenas as probabilidades de ocorrência dos vários fluxos de caixa, a melhor opção para o desenvolvimento do campo seria o *FPSO*. Porém ao agregar-se as considerações sobre os riscos financeiros, tecnológicos e ambientais mostrou-se que a *TLP* com oleoduto é a opção mais atraente.

Pode-se concluir que estratégias bem articuladas, com modelos de decisão padronizados, aumentam a qualidade das decisões e proporcionam uma ferramenta sólida para uma estratégia competitiva efetiva.

As linhas gerais desta metodologia podem ser facilmente extrapoladas para outros cenários, a única necessidade é ajustar a complexidade dos cálculos a uma nova situação.

Infelizmente ainda existem algumas dificuldades para a implantação deste tipo de modelo proposto, pode-se citar como exemplos:

- o desconhecimento deste tipo de metodologia por parte dos gerentes;
- o número reduzido de trabalhos de pesquisa que modelaram as curvas das funções utilidade para os principais atributos (ou objetivos) das companhias de petróleo;
- o dinamismo com que os pesos dos atributos e suas respectivas funções utilidade podem variar com relação ao tempo provavelmente é um fator que dificulta a padronização do modelo.

Acredita-se que para que as companhias de petróleo consigam implantar este tipo de avaliação de oportunidades, onde outros aspectos além do financeiro são mensurados e considerados conjuntamente, serão necessários um maior esforço de pesquisa e algum tempo de aperfeiçoamento de modelos “protótipos” aliados a um intenso treinamento do pessoal envolvido.

Agradecimentos

Agradecemos a PETROBRAS pela permissão de publicar este trabalho e o PADCT III-GTM pelo apoio a pesquisa. Ressaltamos que as informações, considerações técnicas, preferências assumidas e decisões contidas neste trabalho são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo opiniões ou políticas da PETROBRAS.

Abreviaturas

VPL = Valor Presente Líquido
VME = Valor Monetário Esperado
VEU = Valor Esperado de Utilidade
VEI = Valor Esperado de Investimento

Referências Bibliográficas

- BEHRENBURCH, P. Floating Production Facilities Key to Lower Deepwater Development. **Offshore**, no. 41, outubro de 1995.
- BORGHINI, S.; BARTOLOMEO, M.; MOLINARI M. e RATTI, S. The Role of Enviromental Costs and Liabilities in the Decision Making Process of Oil & Gas Exploration and Production Companies SPE 46654. **International Conf. On Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production**, Venezuela, junho de 1998.
- CLEMEN, R. T. **Making hard decisions: an introduction to decision analysis**. Belmont: Duxbury Press, 1990.
- DYER, J.; BUTLER, J. e Jia, J., 1996, Simulation techniques for sensityve analysis of multi-criteria decision models, **European Journal of Operacional Research**, p.30.
- FURTADO, R. e SUSLICK, S.B. Análise de Sensibilidade em Modelos de Decisão Multiatributos em Sistemas de Produção de Petróleo. **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM**. Águas de Lindóia, SP, Brasil, Novembro de 1999.
- HOWARD, R., Decision analysis: practice and promise. **Management Science**, V. 34, n.6, p. 679-695
- KEENEY, R. L. e RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 569p.
- LANFORD, H. W., 1972 **Technological forecasting methodologies** Chapter 4: Analytical Tecniques: Advanced trend Analysis. American Management Association.
- LOVIE, P.M. Today's World of FPSOs Changes Quickly. **World Oil**, p.79-84 e 91, abril de 1997.
- LOVIE, P.M. Developing Smaller Offshore Fields With FPSOs. **World Oil**, no.61, julho de 1998
- MORAES, L.F.R. **Avaliação Multicritério de Projetos de Produção de Indústria de Petróleo no Brasil**. Niterói, 1999. Tese de Mestrado- UFF/ENG.PRODUÇÃO, 1999.
- NEPOMUCENO, F. **Tomada de decisão em projetos de riscos na exploração de petróleo**. Tese de Doutorado. Campinas: UNICAMP/IG/DARM, 1997. 243p.
- NEPOMUCENO, F., SUSLICK, S.B. e WALLS, M.R Managing Technological and Financial Uncertainty: A Decision Science Approach for Strategic Drilling Decisions. **Natural Resources Research**, Assoc. of Mathematical Geology, 1999 (no prelo).
- NEWENDORP, P. D. Decision Analysis for Petroleum Exploration. 1.ed. Tulsa **THE PETROLEUM PUBLISHING COMPANY**, 1975. 668p.
- OLIGNEY, R. E. e ECONOMIDES, M. J., Techonology as na asset, **Hart's Petroleum Engineer International**, September 1998, p. 27-39.
- PAUL, D.L. The Impact of Information Technologies on E & P Profitability. **AAPG International Conference**, Rio de Janeiro, novembro de 1998.

- TURNER, S.K.; SINGER, R.V.; PEGRAM, A. e SAUNDERS, B. Integrated Risk Management in Oil and Gas Exploration and Production SPE 46811. **Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production**, Venezuela, junho de 1998.
- WALLS, M. R. e DYER, J. S., 1995, Decision Analysis of Exploration Opportunities in Onshore US at Phillips Petroleum Company, **Interfaces**, vol. 24, n.6, pp.39-56.
- WALLS, Michael R., 1995, Integrating business strategy and capital allocation: an application of multi-objective decision making, In: **The Engineering Economist**, V 40, n.3 , p. 247-266

CURRICULUM RESUMIDO DOS AUTORES:

- 1) GUILHERME TEIXEIRA DE CASTRO – Engenheiro Civil com Mestrado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Trabalha na PETROBRAS desde 1987 atuando na área de E & P, onde atuou em várias posições, sendo que as mais recentes foram Gerente de Operações do Campo de Marlim e Gerente dos Campos de Albacora e Barracuda. No ano de 2000 assumiu a Gerência de Planejamento e Controle da Produção da Bacia de Campos.
- 2) CELSO K. MOROOKA –M.Sc. (Yokohama National Univ., Japan) e Ph.D. (University of Tokyo, Japan) em Engenharia Naval e Oceânica. Professor do Departamento de Engenharia de Petróleo e Pesquisador do Centro de Estudos de Petróleo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) desde 1988. As áreas de interesse são: planejamento e controle da produção e perfuração de poços de petróleo, desenvolvimento de campos e sistemas marítimos de produção e uso de inteligência artificial em engenharia de petróleo.
- 3) SAUL B. SUSLICK - geólogo, professor do Departamento de Administração e Política de Recursos Minerais - Instituto de Geociências - Unicamp, docente permanente do Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia do Petróleo da Unicamp, foi professor visitante na University of Arizona - Department of Mining Engineering e na Colorado School of Mines Division of Economics and Business), desenvolve pesquisas na área de avaliação econômica de projetos de E&P, uso de técnicas de análise de decisão e previsão na indústria do petróleo e possui diversos trabalhos publicados na área de economia do petróleo (análise de mercados, investimentos, oferta e demanda)
- 4) RICARDO FURTADO - RICARDO FURTADO - Estatístico com Mestrado em Geociências, na área de Administração e Política de Recursos Minerais, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Estudante de doutorado em Engenharia de Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Desenvolve pesquisa na área de análise de decisão voltada para a indústria do petróleo.