

Análise de Sensibilidade na Avaliação de Investimentos por “DOE” Simulado

Alexandre Leme
Sanches

José Arnaldo Barra
Montevechi

Edson de Oliveira
Pamplona

Douglas de Almeida Ribeiro

Universidade Estadual Paulista - UNESP

Universidade São Francisco - USF

RESUMO

Nas avaliações de investimentos, muitas são as ferramentas disponíveis, porém, as variáveis sujeitas às incertezas podem ser mais, ou menos, influentes no processo de avaliação. A influência de cada variável no cálculo do VPL (Valor Presente Líquido) pode ser analisada de forma estocástica, onde um nível de significância é adotado e valores coletados de amostras de VPL são analisados pela técnica de “DOE” (Design of Experiments). Considerando as dificuldades em se experimentar um investimento, torna-se necessária a simulação do mesmo, onde as incertezas associadas ao investimento são representadas na forma de níveis de fatores no DOE.

PALAVRAS CHAVE: DOE, Incerteza, Investimento.

1. INTRODUÇÃO

Muitos processos de avaliação de investimento podem apresentar incertezas com relação a certas variáveis como: preços de vendas, demandas, custos fixos e variáveis, legislação tributária, custo de capital, entre outras.

Na análise dessas incertezas, muitas são as ferramentas disponíveis, porém, as incertezas de algumas variáveis podem ser desconsideradas, praticamente sem afetar a tomada de decisão, reduzindo a complexidade das ferramentas de análise.

A influência de cada variável no cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) pode ser analisada de forma estocástica, onde um nível de significância é adotado e valores coletados de amostras simuladas de VPL são analisados pela técnica de “DOE” (Projeto de Experimentos). Tal técnica permite a hierarquização da influência das variáveis no processo, ao nível de significância adotado.

A inviabilidade, de se experimentar um investimento, reside no fato de que cada investimento exige um desembolso de capital, e ainda, as condições do investimento, que devem ser consideradas constantes, não podem assim ser mantidas. Por isso faz-se necessário o uso das técnicas de simulação, o que sob certas condições, levam a resultados satisfatórios quanto à análise do experimento.

Os resultados da análise de sensibilidade podem, de forma significativa, direcionar os recursos para as variáveis de grande influência, quando se objetivam melhorias na atratividade do investimento.

Outro problema a ser considerado é a necessidade de análise das interações entre as variáveis de entrada, tópico também tratado neste trabalho.

Este trabalho tem como objetivo explorar a técnica de análise de sensibilidade pelo método de DOE simulado, em avaliação de investimentos.

Os métodos tradicionais de análise de sensibilidade não apresentam como resultado as relações de interação entre as variáveis envolvidas no processo, o que pode levar a decisões errôneas e de baixa confiabilidade. Também não é estabelecida uma hierarquia considerando as variáveis e suas interações, a partir da qual se pode obter seu nível de influência no cálculo do VPL do Investimento (Willen *et al*, 1997).

O que pode ser considerado como uma limitação é o fato de se simular valores de VPL a partir de uma equação teórica, que, quando replicada tenta, sem efeito, reproduzir valores de uma experimentação real. Para uma análise mais precisa seria necessário um histórico de análises semelhantes, onde, de posse de um conjunto de dados se possam inferir uma distribuição de probabilidade com erro controlado, e assim, utilizar um recurso como a simulação de Monte Carlo, justificando a utilização de replicações.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Na pesquisa em questão, a importância da exploração e descrição dos métodos se sobrepõe à do objeto de pesquisa. A abordagem, no caso, sendo quantitativa, destaca a evidência de relações causais, operacionalização de conceitos e conclusões que, conforme o enfoque, podem ser generalizadas.

O conceito de pesquisa descritiva também se aplica a o caso, pois esta tem como objetivo a descrição de características de determinado processo estudado, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Algumas pesquisas descritivas vão além da simples identificação da existência de relações entre variáveis, pretendendo-se determinar a natureza dessa relação, tendo-se, então, uma pesquisa descritiva que se aproxima da explicativa. Há casos de pesquisas, que, embora definidas como descritivas, proporcionam uma nova visão do problema, o que as aproxima das pesquisas exploratórias.

O método de pesquisa adotado é, portanto, a Pesquisa Experimental, pois segundo Bryman (1995), de um modo geral, além de se adequar ao caso em questão, o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Metodologia	
Abordagem	Quantitativa
Tipo de Pesquisa	Descritiva (Exploratória)
Método de Pesquisa	Experimentação

Figura 1 – Metodologia da Pesquisa

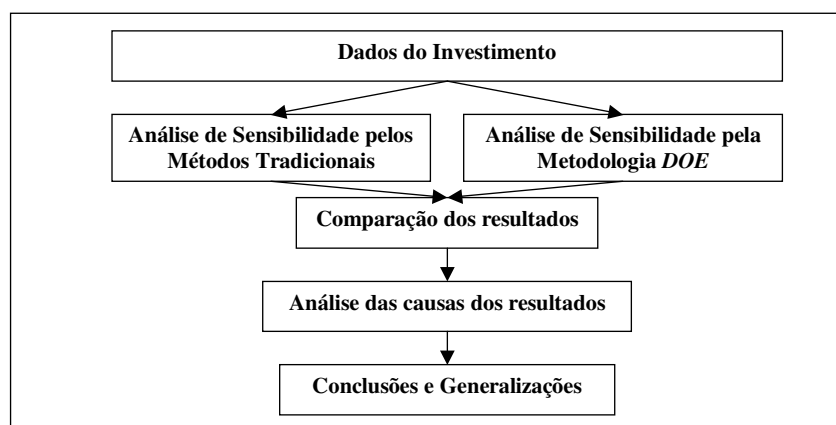


Figura 2 – Etapas da Pesquisa

3. OS MÉTODOS TRADICIONAIS DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EM AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS

Estando diante da oportunidade de efetuar um projeto empreendedor, surge a questão da viabilidade, ou seja, seria melhor investir no projeto, ou deixar o capital aplicado numa instituição financeira? Ou ainda, se não existe capital próprio, seria interessante financiar o empreendimento?

O processo de alocação de capital geralmente é mais complexo do que simplesmente decidir pela compra ou não de um determinado equipamento. Frequentemente são abordadas questões mais amplas como: lançar, ou não, um novo produto ou entrar em um novo mercado.

Praticamente todas as decisões financeiras são tomadas em condições de incerteza, o que exige que se conheçam todas as particularidades do projeto e as técnicas corretas de análise, para chegar à melhor decisão possível (Santos, 2001).

4. OS MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS

Os modelos de avaliação de investimentos, mais comumente utilizados e que são mais difundidos, envolvem o modelo básico do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), com suas principais variantes: VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno) (Santos, 2001). Também podem ser citados os métodos do VFL (Valor Futuro Líquido) e VAU (Valor Anual Uniforme), porém com menor expressão.

Os métodos tradicionais, inicialmente, podem ser considerados limitados, quando se refere à dimensão “incerteza”, porém são a base para o desenvolvimento de técnicas sofisticadas que, atualmente, estão sendo aplicadas com sucesso. Neste trabalho, é aplicada a técnica de DOE simulado em análise de sensibilidade pelo critério do VPL.

5. A AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS PELO MÉTODO DO VPL

A questão da análise para aprovação de projetos, ou numa perspectiva mais ampla, da aceitação ou não de uma opção de empreendimento disponível para um investidor, é uma das questões cruciais da teoria econômica aplicada.

Cabe aos administradores sempre buscar aquele projeto que venha gerar uma maior riqueza para a empresa.

O fluxo de caixa da empresa deve considerar todas as despesas e receitas para certo projeto nos próximos “n” períodos.

A análise deve levar em consideração todos os fatores que possam influenciar os resultados, procurando sempre a mais acurada previsão dos fluxos futuros (Pamplona e Montevechi, 1995).

Um exemplo de fluxo de caixa genérico para um projeto é dado na figura 3.

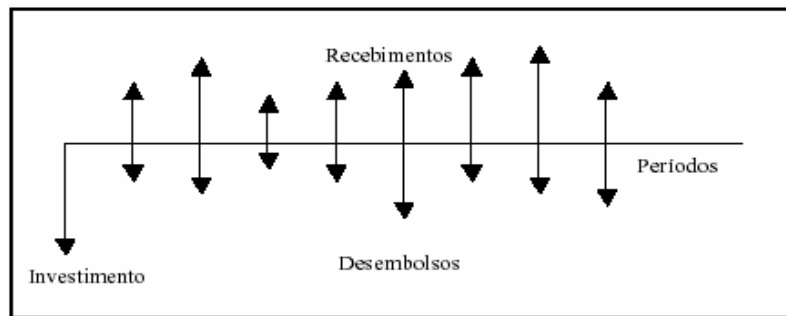


Figura 3 – Diagrama de Fluxo de Caixa (Pamplona e Montevechi, 1995).

Conforme Santos (2001), valendo-se da matemática financeira, é possível fazer uma análise da viabilidade de um projeto. Para tanto, é necessário que seja feita uma “previsão” de todos os fluxos de caixa do projeto para os “n” períodos futuros, nos quais o projeto estará em vigor. Esta previsão deve ter o máximo de precisão, levantando-se quais serão os desembolsos e recebimentos nos próximos “n” períodos, descontando-os, então, a certa taxa predeterminada, a TMA (Taxa Mínima de Atratividade), para se obter o valor daquele projeto na data zero, onde estes valores são somados ao investimento inicial.

O método do valor presente líquido tem sua forma básica sintetizada pela equação 1.

$$VPL = \sum_{i=0}^n \frac{FC_i}{(1+r)^i} \quad (1)$$

Onde:

FC i = Fluxo de Caixa esperado para o período i;

r = taxa de desconto;

i = 0, 1, 2, 3, ... , n (períodos).

Em princípio, cada projeto possui seu próprio custo de capital (TMA). A existência de VPL positivo é definida como o critério básico de aceitação ou rejeição de determinado projeto, e a ordenação de VPL's é o critério de escolha entre diversas alternativas de investimento (se existirem opções).

Tais critérios são comumente comparados a outros, como por exemplo, a taxa interna de retorno (TIR), sendo o VPL apontado como o critério, financeiramente mais correto (Ross *et al*, 2002).

6. O INVESTIMENTO E A INCERTEZA

Pode-se definir “investimento” como sendo o ato de incorrer em gastos imediatos na expectativa de obter futuros benefícios (Dixit e Pindyck, 1994). Para a tomada de decisão sobre o investimento são aceitas algumas previsões, que podem não se concretizar, ou se concretizar parcialmente.

A intensidade da incerteza em um dado investimento aumenta proporcionalmente à variável “n”, ou seja, quanto mais distante o fluxo de caixa, maiores são as incertezas a seu respeito. No fluxo de caixa esquemático mostrado na Figura 3, na data zero, normalmente se tem o investimento necessário para o projeto, com algumas pequenas incertezas, devido à maior proximidade da data. No entanto, as demais parcelas são resultados da composição de receitas despesas como: manutenção, mão-de-obra, matéria prima, energia elétrica, impostos,

depreciação, financiamentos, etc. a ocorrerem em cada uma das datas previstas dentro da vida do projeto. Na maioria dos casos, ao analisar estes fluxos, a consideração sobre os dados é determinística, sendo que na realidade isso não é verdade. Existem variações imprevisíveis sobre os diversos elementos que compõem o fluxo de caixa, que precisam ser considerados para a correta avaliação do projeto.

A avaliação de investimentos em um ambiente que não seja sujeito a incertezas é bastante conveniente. Entretanto, a realidade mostra que pouco, ou nada, pode ser tomado como absolutamente certo.

No cotidiano da engenharia, isso se mostra, em qualquer levantamento de características como: “módulo de elasticidade”, “resistência”, “tensão de ruptura”, entre outros. Na economia isso é ainda mais evidente, pois as variáveis estão ligadas a parâmetros de grande incerteza como: mercado, inflação, guerras, eleições, etc.

Num caso genérico de investimento em equipamentos, devem ser consideradas as seguintes variáveis: o “Investimento Fixo”, que representa o custo de aquisição e instalações do equipamento, o “Capital de Giro”, que é o capital necessário para a compra de matéria prima e implementos em geral, o “Horizonte de Planejamento”, que é a vida útil esperada para o empreendimento, a “Previsão de Vendas”, o “Custo Fixo”, o “Custo Variável”, a “TMA” representando a taxa de desconto a ser utilizada nos cálculos de VPL (custo de capital da empresa), as “Alíquotas de Imposto de Renda”, a “Taxa de Depreciação” (regulamentada pela Receita Federal) e finalmente o “Valor Residual do Equipamento”.

Considerando tais variáveis, verifica-se que existem as mais diversas fontes de incertezas, portanto, a determinação da viabilidade de um projeto torna-se uma tarefa complexa, sendo necessária a experiência de especialistas de cada área, e ainda, certa dose de intuição.

7. A ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A previsão do futuro é, certamente, um dos maiores desafios do ser humano. Sentindo se impotente diante do destino, o homem tem procurado métodos para indicar tendências para a ocorrência de fatos.

A Análise de Sensibilidade é um enfoque prático para tratar o problema das incertezas. O Método Tradicional consiste em medir o efeito produzido na rentabilidade do investimento, ao se variar “um” dado de entrada (deve-se analisar cada variável, individualmente), com isso pode se ter uma idéia de quais incertezas podem afetar significativamente o resultado da análise, e a intensidade com que afetam.

Uma forma prática de se analisar a sensibilidade de uma determinada variável de entrada é utilizando recursos computacionais, onde se observa, imediatamente, a variação no resultado (VPL), devido a uma dada alteração na variável de entrada.

Na análise de sensibilidade, devem ser destacadas as variações proporcionais de cada variável, ou seja, quanto uma variável tem que oscilar para provocar uma determinada alteração na variável de saída.

8. A TÉCNICA DE CENARIZAÇÃO

A cenarização consiste na análise de um investimento em condições específicas (cenário) considerando as incertezas e caracterizando cenários favoráveis (melhor condição possível), desfavoráveis (pior condição possível) ou em condições específicas onde possa haver interesse na análise.

9. AS DEFICIÊNCIAS DOS MÉTODOS TRADICIONAIS DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os métodos tradicionais podem ser considerados eficientes nas análises de sensibilidades individuais, ou em situações de variações conjuntas (cenários), porém a questão da interação entre as variáveis não é relevada. Em situações reais, muito pouco se pode concluir observando variações individuais. Pode existir uma grande relação de dependência entre variáveis, o que torna necessária a busca métodos mais eficiente para sua modelagem, como a Metodologia “Doe” e a “Simulação”.

10. CONCEITOS BÁSICOS DE “DOE” (DESIGN OF EXPERIMENTS)

Fontes: <http://minitab.com/portuguese/Tour/default.aspx?page=19>, (10/06/2005);
Box, E. 1978; Coleman, D. E, 1993; Montgomery, D. C, 1976.

O planejamento experimental, também denominado delineamento experimental ou projeto de experimentos, representa um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema ou processo.

A experimentação sistemática é crucial para investigar os fatores que influenciam resultados. Depois de identificar esses fatores, pode-se efetuar ajustes nos processos ou nas formulações, melhorando imediatamente o processo, a confiabilidade, a qualidade da resposta.

Os experimentos bem planejados podem produzir significativamente mais informações, em menos tempo e com menores despesas do que experimentos aleatórios ou não planejados.

O *DOE* fornece as ferramentas para criação de planejamentos de experimentos e análise gráfica de resultados na melhoria de processos, de maneira rápida e eficiente.

Experimentos são empregados para resolver problemas em geral, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto, entender a influência de determinados fatores, etc., esta tarefa, ainda, torna-se cada vez mais importante na medida em que se intensifica a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e de clientes aumentando a necessidade de emprego de experimentos durante todas as etapas dos processos.

O Planejamento de Experimentos é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados, durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria, pois seu emprego permite resultados mais confiáveis, economizando dinheiro e tempo, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada.

A sua aplicação, no desenvolvimento de novos produtos, é muito importante, onde uma maior qualidade dos resultados dos testes pode levar a um projeto com desempenho superior, seja em termos de suas características funcionais como também sua robustez.

Apesar de novas, as principais técnicas de planejamento de experimentos já existiam e potencialmente poderiam estar sendo sistematicamente aplicadas na indústria desde muitos anos. Porém, a grande maioria destas técnicas requer uma quantidade exaustiva de cálculos tornando fundamental o emprego dos recursos de informática.

Um fator que tem impulsionado a aplicação industrial do planejamento de experimentos são as ferramentas computacionais de análise estatística e soluções corporativas que, cada vez mais, facilitam a realização das análises e manutenção e gerenciamento de dados. Neste sentido, a tendência é que tais técnicas tornem-se cada vez mais próximas de aplicações práticas e, portanto, cada vez mais utilizadas.

É preciso estar claro também que, em estatística, Planejamento de Experimentos designa toda uma área de estudos que desenvolve técnicas de experimentação.

ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM “DOE”

Coleman & Montgomery (1993) propõem as seguintes etapas para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos:

- i. Caracterização do problema;
- ii. Escolha dos fatores (variáveis de controle ou entrada) e níveis (faixas de valores das variáveis de controle);
- iii. Seleção das variáveis de resposta;
- iv. Determinação de um modelo de planejamento de experimento;
- v. Condução do experimento (no caso em questão é uma Simulação);
- vi. Análise dos dados;
- vii. Conclusões e recomendações.

Outros objetivos do *DOE*, podem ser:

- i. Determinar quais variáveis são mais influentes nos resultados;
- ii. Atribuir valores às variáveis influentes de modo a aperfeiçoar os resultados;
- iii. Atribuir valores às variáveis influentes de modo a minimizar a variabilidade dos resultados;
- iv. Atribuir valores às variáveis influentes de modo a minimizar a influência de variáveis incontroláveis.

A seguir, destacam-se alguns benefícios da utilização das técnicas estatísticas de planejamento experimental:

- i. Redução do número de ensaios sem prejuízo da qualidade da informação;
- ii. Estudo simultâneo de diversas variáveis, separando seus efeitos;
- iii. Determinação da confiabilidade dos resultados;
- iv. Realização da pesquisa em etapas, num processo iterativo de acréscimo de novos ensaios;
- v. Seleção das variáveis que influem num processo com número reduzido de ensaios;
- vi. Representação do processo estudado através de expressões matemáticas;
- vii. Elaboração de conclusões a partir de resultados qualitativos.

O planejamento experimental é uma ferramenta essencial no desenvolvimento de novos processos e no aprimoramento de processos em utilização. Um planejamento adequado permite, além do aprimoramento de processos, a redução da variabilidade de resultados, a redução de tempos de análise e dos custos envolvidos.

No que se refere ao projeto de produtos, o planejamento experimental permite a avaliação e comparação de configurações (projetos) distintas, avaliação do uso de materiais diversos, a escolha de parâmetros de projeto adequados a uma ampla faixa de utilização do produto e à otimização de seu desempenho.

Os conceitos descritos acima podem ser resumidos em três termos muito empregados atualmente: qualidade, produtividade e competitividade.

Para que os resultados obtidos de ensaios experimentais possam ser analisados através de métodos estatísticos, possibilitando elaborar-se conclusões objetivas, o planejamento experimental deve ser baseado numa metodologia também estatística, que é a única forma objetiva de avaliar os erros experimentais que afetam esses resultados.

Como já afirmado, além de dominar a metodologia estatística necessária para o planejamento e para a análise dos dados, deve-se conhecer exatamente o que deseja estudar, como obter os dados, bem como ter uma estimativa qualitativa de como esses dados serão analisados. Também é desejável, sempre que possível, o estabelecimento de um modelo físico-matemático que estabeleça funções que relacionem as diversas variáveis influentes no processo com os resultados que se deseja analisar.

A elaboração de um modelo, mesmo que aproximado, possibilita um planejamento experimental mais dirigido, definindo-se valores de estudo adequados para as variáveis, reduzindo desta forma o número de ensaios.

TESTE PARA A SIGNIFICÂNCIA DO MODELO

Segundo Paiva (2004) este teste é realizado como um procedimento de ANOVA. Calculando-se a razão entre a média quadrática dos termos de regressão e a média quadrática do erro, encontra-se a estatística F. Comparando-se esta estatística com o valor crítico de F obtido a partir do nível de significância desejado, conclui-se sobre a significância do modelo. Se F for maior que $F_{\text{crítico}}$ (o que equivale a um P-Value menor que o nível de significância), então o modelo é adequado (Montgomery, 1997).

TESTE PARA A SIGNIFICÂNCIA INDIVIDUAL DOS COEFICIENTES DO MODELO

O teste individual de significância de cada coeficiente pode conduzir à otimização do modelo através da eliminação ou da adição de termos. Do mesmo modo que no item anterior, se o *P-Value* do teste individual para os termos for inferior ao nível de significância, então, o termo é adequado ao modelo e deve, portanto, ser mantido. Se, entretanto, ocorrer o contrário, o termo deve ser excluído se tal procedimento conduzir a um aumento do coeficiente de determinação R^2 conjuntamente com a diminuição do termo de erro S (este termo é a raiz quadrada do erro médio quadrático) (Montgomery, 1997; Box & Hunter, 1978; Box e Draper, 1987).

O teste para falta de ajuste do modelo reduzido deve ter um P-value superior ao nível de significância, caso contrário, a eliminação do termo não se justifica. Além disso, a retirada de qualquer termo deve obedecer ao princípio da Hierarquia (Montgomery, 1997), ou seja, se um termo de ordem alta é mantido no modelo, o de ordem baixa também deve ser conservado. Por exemplo, se a interação AB é significativa, mas o efeito principal A não o é, então o modelo deve conservar ambos.

A presença de réplicas em um experimento permite que a soma de quadrados do erro seja dividida em duas partes: o erro puro e a falta de ajuste. Quando o P-value do teste de falta de ajuste é superior ao nível de significância, então, não há evidência de que o modelo não explique adequadamente a variação da resposta (Montgomery, 1997).

11. CONCEITOS BÁSICOS DE SIMULAÇÃO

Fonte: http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_04/a_06_.pdf, (10/06/05).

A simulação é uma técnica matemática destinada a resolver problemas cuja solução analítica ou experimental é difícil ou mesmo impossível.

Em geral, a técnica da simulação não produz resultados exatos, mas produz boas aproximações quando há dificuldade ou mesmo impossibilidade de se conseguir a solução experimental do problema.

Um modelo de simulação tem um caráter descritivo, com maior ênfase ao desenvolvimento de um sistema que se adapte à realidade do que a um processo de cálculo que leve a um ponto ótimo. Lembrando que nenhum objeto existente na realidade pode ser

explicado corretamente examinando suas partes independentemente, é importante ser feito um estudo global de todas as partes de um sistema.

A simulação permite ampliar a análise de projetos nos casos mais gerais, incorporando a dimensão de risco de forma explícita. Em vez de medidas determinísticas de resultados de exploração, ela permite gerar pontos, de modo a indicar o grau de confiança associado.

Um modelo de simulação inicia-se pela especificação da porção do mundo real que será estudada, identificando os pontos principais do sistema e suas inter-relações, num mundo esquemático ou quantitativo. Definido o sistema, o próximo passo consiste no estudo e caracterização de cada item identificado no modelo a ser adotado. Selecionar as variáveis essenciais do fenômeno estudado, o modelo matemático que o simula poderá levar a soluções próximas daquelas esperadas na realidade.

Simulação é uma técnica de modelagem e análise usada para avaliar e aprimorar os sistemas dinâmicos de todos os tipos.

A simulação numérica faz parte da capacidade humana de imaginação. O cérebro humano cria constantemente imagens da realidade à sua volta.

Uma das nossas capacidades mais refinadas de simulação é a intuição: nela, um modelo refinado da realidade é criado na mente, na qual a relação causa-efeito é prevista, sem por isso ter um modelo racional do fenômeno e nem uma visão clara da causa.

Uma das áreas mais desenvolvidas de simulação por computador é a criação de ambientes virtuais. À medida que a potência dos computadores aumenta, o realismo desses ambientes torna-se cada vez mais convincente.

Outra área é a simulação por computador de padrões de tomadas de decisão. Esses incluem a simulação de mecanismos de seleção e/ou padrões lógicos.

A aplicação na área financeira procura simular situações que envolvem investimento de capital sem realmente dispor do mesmo, e assim analisar o comportamento das variáveis envolvidas.

O sistema em estudo é representado por equações (tradução do problema financeiro para a matemática computacional), então os resultados da simulação são comparados aos “possíveis” fenômenos reais em estudo.

A simulação numérica está ao alcance de qualquer empresa, desde que tenha o software e os recursos humanos adequados.

12. APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS CONJUNTAS “DOE” E “SIMULAÇÃO” NA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para a aplicação da técnica será utilizado um problema clássico de avaliação de investimento em condições de incerteza, pelo critério do VPL.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema consiste em analisar a capacidade da variabilidade de cada variável influenciar o cálculo do VPL, bem como investigar, se possível, a influência das interações entre as mesmas. Os dados do investimento, bem como as respectivas incertezas, são apresentados a na tabela 1:

Tabela 1 - Dados do Investimento

Variáveis	Mínimo possível	Valor esperado	Máximo possível
Investimento Inicial	27.000	30.000	33.000
Preço de Venda	360	400	440
Custo Fixo	4.500	5.000	5.500

Custo Unitário	90	100	110
Demanda	45	50	55
Taxa Depreciação	13,50%	15,00%	16,50%
Alíquota de I.R.	31,50%	35,00%	38,50%
Valor Residual	6.300	7.000	7.700
TMA	7,20%	8,00%	8,80%

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PELO MÉTODO TRADICIONAL

Para a Análise da Sensibilidade pelo Método Tradicional foi utilizado o Software Excel no cálculo do VPL, onde cada variável é testada em seus limites (incertezas), como mostra a tabela 3:

Tabela 2 - Cálculo do VPL Determinístico

Ano	FCAIR	Dep.	V.C.	D.C.	L.T.	I.R.	FCDIR
0	-30.000	0	30.000	0	0	0	-30.000
1	10.000	4.500	25.500	0	5.500	1.925	8.075
2	10.000	4.500	21.000	0	5.500	1.925	8.075
3	10.000	4.500	16.500	0	5.500	1.925	8.075
4	10.000	4.500	12.000	0	5.500	1.925	8.075
5	17.000	4.500	7.500	-500	5.000	1.750	15.250
VPL= R\$ 7.124,32							

Tabela 3 – Análise de Sensibilidade pelo Método Tradicional

An. Sens	Invest.	Preço	C. Fixo	C. Un.	Dem.	T. Dep.	A.I.R.	V.R.	TMA
VPL - Nom	7124,32	7124,32	7124,32	7124,32	7124,32	7124,32	7124,32	7124,32	7124,32
VPL - Mín	9316,81	1933,79	8421,95	8421,95	3231,43	7031,43	7881,00	6814,65	8000,68
VPL - Max	4931,82	12314,84	5826,69	5826,69	11017,21	7217,21	6367,63	7433,98	6278,88
Sens. Min	30,77%	-72,86%	18,21%	18,21%	-54,64%	-1,30%	10,62%	-4,35%	12,30%
Sens. Máx	-30,77%	72,86%	-18,21%	-18,21%	54,64%	1,30%	-10,62%	4,35%	-11,87%

Hierarquizando as sensibilidades:

Preço de Venda: Sensibilidade Direta Simétrica = 72,86%

Demanda: Sensibilidade Direta Simétrica = 54,64%

Investimento: Sensibilidade Inversa Simétrica = 30,77%

Custo Fixo: Sensibilidade Inversa Simétrica = 18,21%

Custo Unitário: Sensibilidade Inversa Simétrica = 18,21%

TMA: Sensibilidade Inversa Assimétrica = (+ 12,30% e -11,87%)

Alíquota de I.R.: Sensibilidade Inversa Simétrica = 10,62%

Valor Residual: Sensibilidade Direta Simétrica = 4,35%

Taxa de Depreciação: Sensibilidade Direta Simétrica = 1,3%

13. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PELA METODOLOGIA DOE

Primeiramente é gerado o projeto do experimento, com 9 fatores em 2 níveis com 1 center point, 1 replicação e sem blocagem, utilizando o software MINITAB 14. Foram geradas 129 corridas com interações de até 4ª Ordem. Factorial Design, Fractional Factorial Design

Factors: 9 Base Design: 9; 128 Resolution: VI

Runs: 129 Replicates: 1 Fraction: ¼; Blocks: none Center pts (total):1

Tabela 4 – Variáveis e Interações Analisadas

A	DG + ACFH	AEG	EFH
---	-----------	-----	-----

B	DH + ABEJ + ACFG	AEH + BDJ	EGH
C	DJ + ABEH	AEJ + BDH	FHJ
D	EF + BCGJ	AFG + CDH	GHJ
E	EG + BCFJ	AFH + CDG	ABCD + BFGH + CEHJ
F	EH + ABDJ	AFJ	ABCE + AFGJ + CDHJ
G	EJ + ABDH + BCFG	AGH + CDF	ABCF + AEGJ + BDGH
H	FG + ACDH + BCEJ	AGJ	ABCG + AEFJ + BDFH
J	FH + ACDG	AHJ + BDE	ABCH + BDFG + CDEJ
AB + DEHJ	FJ + BCEG	BCD	ABCJ + ACFG + CDEH
AC + DFGH	GH + ACDF	BCE + FGJ	ABDF + BCGH + EFHJ
AD + BEHJ + CFGH	GJ + BCEF	BCF + EGJ	ABDG + BCFH + EGHJ
AE + BDHJ	HJ + ABDE	BCG + EFJ	ABEF + ACGJ + DFHJ
AF + CDGH	ABC	BCH	ABEG + ACFJ + DGHJ
AG + CDFH	ABD + EHJ	BCJ + EFG	ABFG + ACEJ + BCDH
AH + BDEJ + CDFG	ABE + DHJ	BDF	ABFH + BCDG + DEFJ
AJ + BDEH	ABF	BDG	ABFJ + ACEG + DEFH
BC + EFGJ	ABG	BEF + CGJ	ABGH + BCDF + DEGJ
BD + AEHJ	ABH + DEJ	BEG + CFJ	ABGJ + ACEF + DEGH
BE + ADHJ + CFGJ	ABJ + DEH	BFG + CEJ	ACDE + BCHJ + EFGH
BF + CEGJ	ACD + FGH	BFH	ACDJ + BCEH + FGHJ
BG + CEFJ	ACE	BFJ + CEG	ACEH + BCDJ + DEFG
BH + ADEJ	ACF + DGH	BGH	ACHJ + BCDE + DFGJ
BJ + ADEH + CEFJ	ACG + DFH	BGJ + CEF	ADEF + BFHJ + CEGH
CD + AFGH	ACH + DFG	CDE	ADEG + BGHJ + CEFH
CE + BFGJ	ACJ	CDJ	ADFJ + BEFH + CGHJ
CF + ADGH + BEGJ	ADE + BHJ	CEH	ADGJ + BEGH + CFHJ
CG + ADFH + BEFJ	ADF + CGH	CHJ	AEFH + BDFJ + CDEG
CH + ADFG	ADG + CFH	DEF	AEGH + BDGJ + CDEF
CJ + BEFG	ADH + BEJ + CFG	DEG	AFHJ + BDEF + CDGJ
DE + ABHJ	ADJ + BEH	DFJ	AGHJ + BDEG + CDFJ
DF + ACGH	AEF	DGJ	

Tabela 5 – Projeto do Experimento

Invest.	Preço	C. Fixo	C. Un.	Dem.	T. Dep.	A.I.R.	V.R.	TMA
33000	440	4500	110	55	0,165	0,385	6300	0,072
33000	360	4500	110	45	0,165	0,315	7700	0,088
27000	440	5500	90	55	0,165	0,385	7700	0,088
...
27000	360	5500	110	45	0,135	0,385	7700	0,072
27000	360	5500	90	45	0,135	0,385	6300	0,072

Fazendo uso da mesma planilha Excel utilizado no método tradicional, e agora testando todas as variáveis simultaneamente, conforme o experimento projetado pelo MINITAB 14, foram obtidos valores de VPL que, novamente inseridos no MINITAB, são analisados gerando os dados da figura 4.

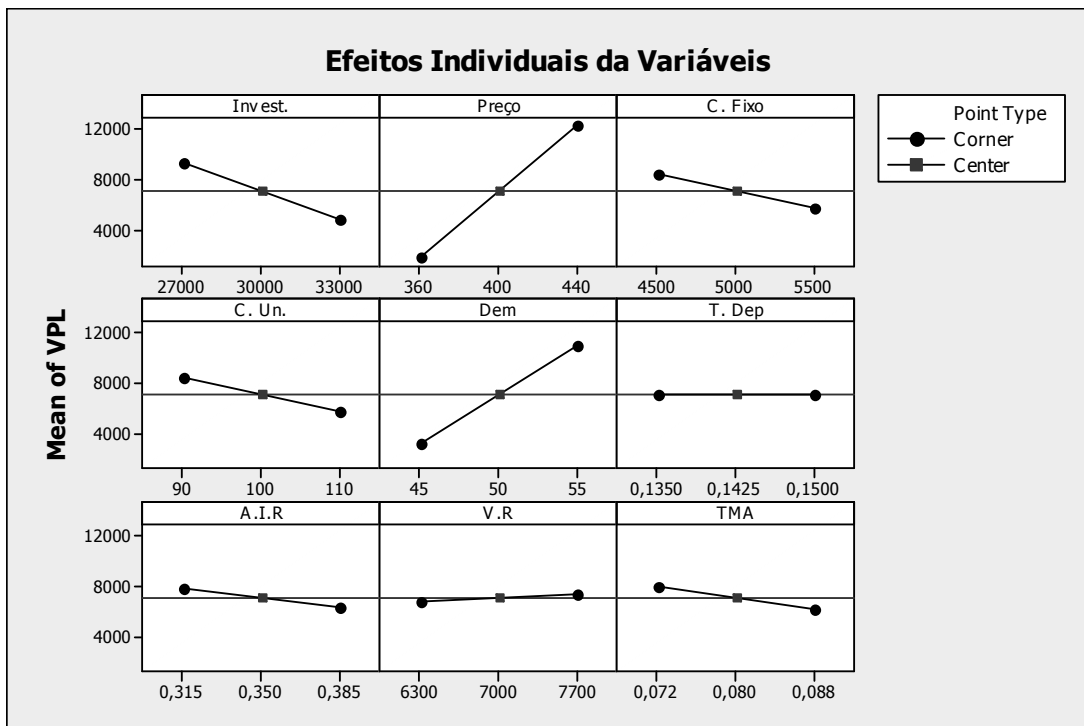


Figura 4 – Efeitos Individuais das Variáveis

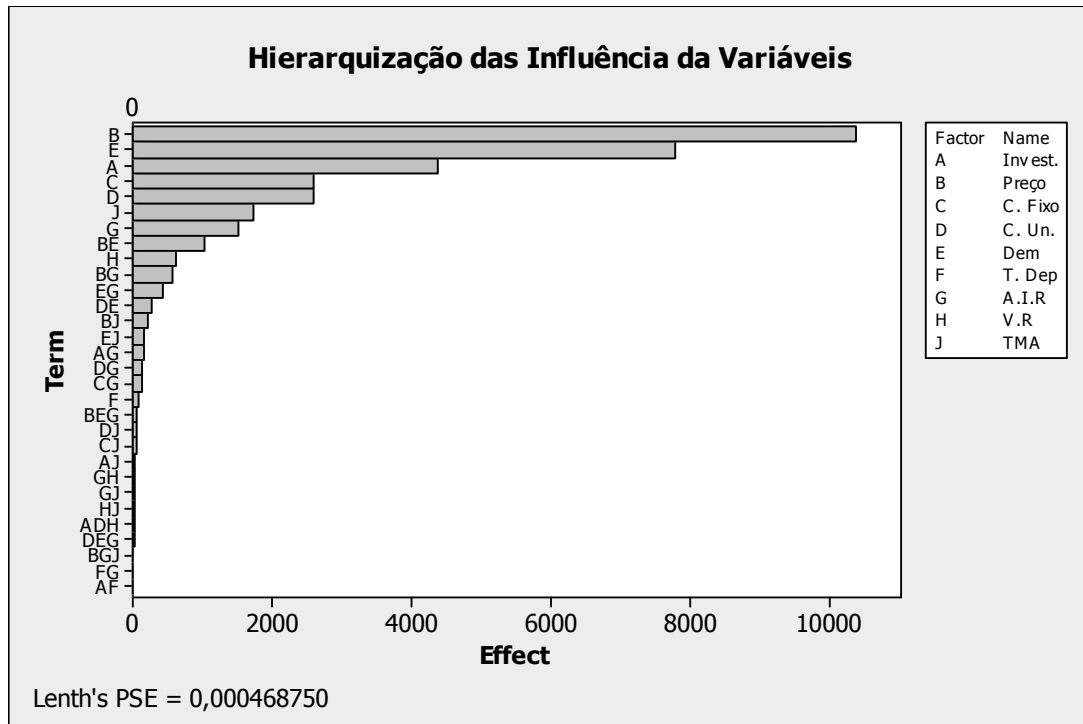


Figura 5 – Hierarquização das Influências das Variáveis

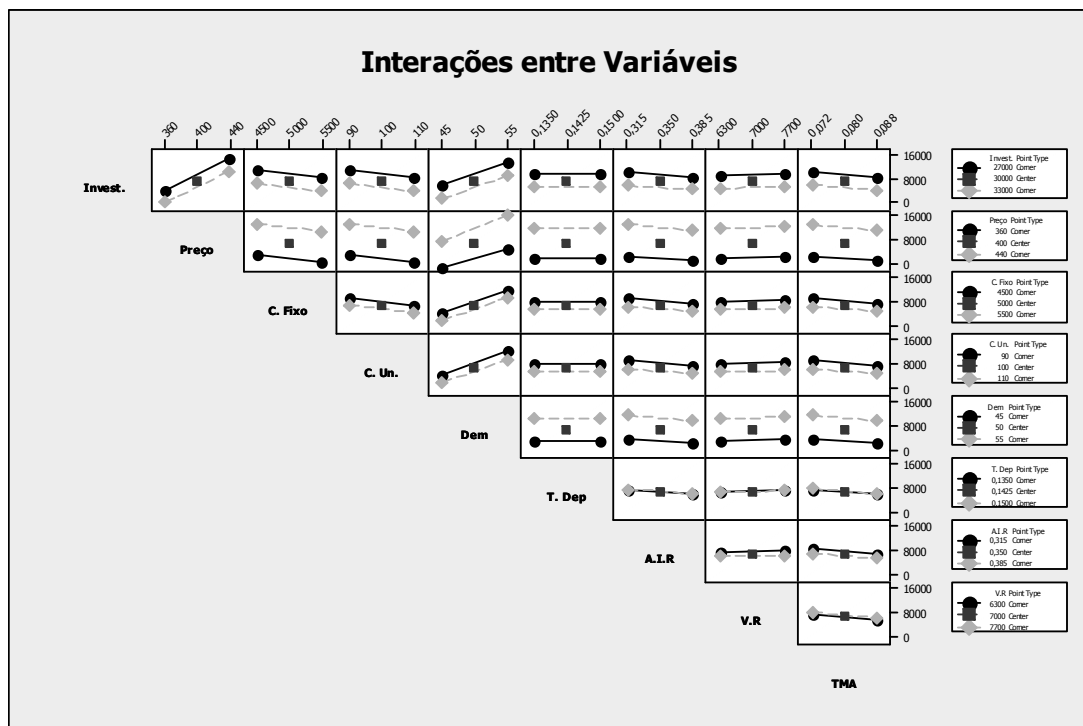


Figura 6 – Interações entre as Variáveis

14. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos no método do DOE simulado coincidem, em vários aspectos, com os resultados obtidos pelos métodos tradicionais de análise de sensibilidade.

As interações entre variáveis praticamente não apresentam influência no cálculo do VPL.

As variáveis de maior sensibilidade observadas foram: “Preço de Venda” e “Demanda” por ambos os métodos. A TMA foi a única variável observada com sensibilidade assimétrica.

A interação “Preço de Venda / Demanda” apresentou maior sensibilidade que a variável “Valor Residual”. A interação “Preço de Venda / Demanda” foi a única interação que apresentou maior influência que uma variável isolada.

15. CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho muitas informações relevantes foram obtidas, e entre elas podemos destacar: O baixo índice de interações pode ser devido à utilização de uma equação teórica determinística, no cálculo do VPL, onde muitas relações de proporcionalidade direta são mantidas. Os efeitos das interações “naturais” não são reconhecidos nos processos de experimentos simulados de forma determinística. A utilização de recursos computacionais é indispensável nesse tipo de análise. A simplicidade da entrada de dados e análise dos resultados, por si só, justifica a utilização do método. Os recursos de análise gráfica, gerados pelo MINITAB, são fundamentais na interpretação dos resultados. A amplitude dos dados de entrada (no caso +/- 10%) pode afetar a sensibilidade de uma determinada variável. O nível de significância adotado (no caso o padrão do MINITAB é 0,1) pode afetar a entrada ou não de um determinado fator no modelo, ou seja, inserir ou não uma determinada variável na equação de otimização.

De forma geral, o trabalho apresentou uma opção, não usual de análise de sensibilidade, ampliando os horizontes para análises semelhantes.

Apesar de algumas conclusões parecerem triviais, e o método exigir recursos computacionais específicos, este é apenas um primeiro passo no desenvolvimento técnicas dessa natureza. Com o surgimento de novos estudos e aprimoramento da técnica, muitas outras conclusões e observações poderão ser apresentadas e muitas aplicações poderão advir desta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRYMAN, ALAN.; *Research Methods and Organization Studies*. Editora Routledge, 3ª Edição, 1995.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. (1978). *Statistics for experimenters*. New York: John Wiley.

COLEMAN, D. E.; MONTGOMERY, D. C. (1993). A systematic approach to planning for a designed industrial experiment. *Technometrics*, v.35, n.1.

DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S. *Investment Under Uncertainty*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994.

GIL, ANTONIO CARLOS. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1991.

MONTGOMERY, D. C. (1997). *Introduction to statistical quality control*. 3rd. Ed. New York: Willey.

MONTGOMERY, D. C. (1976). *Design and analysis of experiments*. New York: Willey.

PAIVA, A.; Aplicação da Metodologia de Projeto de Experimentos ao Estudo dos Parâmetros de Usinagem de um Aço SAE/ABNT 52100 Utilizando Ferramentas Cerâmicas Mistas – UNIFEI 2004.

PAMPLONA, E. O.; MONTEVECHI, J.A.B., Apostila do Curso de Engenharia Econômica Avançada. UNIFEI - Itajubá - MG, 1995.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D.; Princípios de Administração Financeira. Segunda Edição – Ed. Atlas, 2002.

SANTOS, ELIEBER MATEUS; Um Estudo Sobre a Teoria das Opções Reais Aplicada à Análise de Investimentos em Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (p&d), Dissertação de Mestrado – Departamento de Produção, UNIFEI, Novembro 2001.

VONNEGUT, A. Real Option Theories and Investment in Emerging Economies, Emerging Markets Review, vol. 1, pp. 82-100, 2000.

WERKEMAN, M. C. C.; AGUIAR, S. (1996). Planejamento e análise de experimentos: Como identificar as principais variáveis influentes em um processo. Belo Horizonte: UFMG.

WILLEM, J. H.; VAN GROENENDAAL, & JACK P. C. KLEIJNEN, On the Assessment of Economic Risk: Factorial Design versus Monte Carlo Methods - Reliability Engineering and Systems Safety 57 (1997).

http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_04/a_06_.pdf (10/06/05);

<http://minitab.com/portuguese/Tour/default.aspx?page=19> (10/06/2005).