

# Avaliação de um Investimento em Pesquisa Adicional num Novo Processo de Produção: Considerações Metodológicas e uma Aplicação

Cesar das Neves

Prof. Adjunto do Depto. Engenharia Industrial/EEUFRJ)

Consultor na área de elaboração e análise de projetos de investimentos (públicos e privados)

**Palavras-chave:** risco, teoria da decisão, análise de investimentos, avaliação de projetos de pesquisa, análise de risco, engenharia econômica

**Key words:** decision theory, analysis of investment, risk analysis

## RESUMO:

O artigo discute a análise de projetos de investimento nos quais não se adequa a hipótese de risco crescente no tempo. Este é o caso de investimentos em pesquisa, onde a cada etapa vencida, diminuem-se os riscos de insucesso do projeto. Mostra-se que projetos deste tipo, se avaliados segundo o critério usual de método de fluxo de caixa descontado a uma taxa que incorpora um prêmio de risco, são sistematicamente rejeitados. Apresenta-se um estudo de caso, baseado numa experiência real conduzida no âmbito de uma empresa privada, onde foi aplicada a teoria de árvore de decisão.

## ABSTRACT:

*This paper discusses the analysis of investment in projects where the hypothesis of increasing risk is not adequate. This is particularly the case of investment in research projects where each completed stage decreases the risk of following stage failure. Projects of this kind are almost always rejected where evaluated by the discount cash flow methods which use discount rates including risk premium. It is presented here a case study based on an actual experience conducted inside a private firm solved by the application of decision tree theory.*

Rec. 05/91    Rev. 05/91    Apr. 06/91

## Introdução

Este trabalho, partindo de um situação real analisada para uma empresa, procura mostrar como a técnica usual de análise de investimentos deve ser aplicada com cuidado, em se tratando de projetos que tenham fases de risco diferenciadas. Este é o caso de projetos que envolvam decisões de investimentos em pesquisa. Pode-se dizer que as considerações realizadas neste trabalho se aplicam a quaisquer projetos de pesquisa ou de desenvolvimento. Mas, para facilidade de exposição vamos nos ater a um projeto específico que contempla a utilização de um processo metalúrgico conhecido a nível teórico, mas ainda não testado na produção de um ferro liga.

A análise de investimentos em projetos que envolvem gastos em pesquisa (1), tem sido objeto de diversas propostas metodológicas. Nosso objetivo neste trabalho não é o de discutir estas metodologias, mas tão somente mostrar como a tradicional técnica de análise do fluxo de caixa descontado tem sido mal utilizada pelos analistas de projetos e de como torná-la um efetivo instrumento para tomada de decisão numa empresa.

O trabalho será desenvolvido sob a ótica da empresa privada. Isto não significa que os conceitos aqui desenvolvidos se restrinjam a esta esfera de análise. Com pequenas adaptações (basicamente a de passar dos preços de mercados para os preços "sombra") pode-se, com facilidade, usar a mesma metodologia para análises mais globais dos projetos enfocando sua contribuição para o bem estar social.

Pretende-se mostrar que a aplicação inadequada do método tradicional de análise do fluxo de caixa descontado tem levado muitas empresas a rejeitarem investimentos com as características abaixo descritas, refletindo no longo prazo, em uma tremenda perda de oportunidades de crescimento e desenvolvimento de novas linhas de negócio.

Consideramos desnecessário caracterizar o desenvolvimento e crescimento empresarial dos países que optaram por altos investimentos em pesquisa tecnológica como o Japão. Como foi observado por Hayes e Abernathy (1980), os Estados Unidos quase que perderam a trilha do desenvolvimento econômico ao enfatizarem a rentabilidade de curto prazo visa a vis a postura japonesa de rentabilidade de longo prazo. Deixaremos este assunto fora da presente discussão.

O projeto a que se refere o caso prático será simplificado e descaracterizado quanto a seus valores financeiros e resultados esperados. Quer-se, com isto, preservar a confidencialidade dos dados e da empresa. Deste mesmo modo a descrição do contexto da análise não corresponde exatamente ao caso real.

## Contexto da análise

Trata-se de um projeto que contempla a produção de um certo tipo de ferro liga. A tecnologia convencional tem como característica um alto consumo de energia. A região onde se situa o minério é carente deste fator

(1) Optamos no texto por uma distinção entre projetos de pesquisa e que envolvam gastos em pesquisa. Enquanto que o primeiro se refere a projetos cujo produto é o resultado da pesquisa (que pode ser utilizado com várias finalidades), no segundo esta aparece como uma etapa do projeto, sendo o produto final um bem normalmente comercializado no mercado. Nossas considerações se aplicam a ambos os casos, porém, para o primeiro, seria necessário estender a análise.

de produção, podendo ser obtida somente a altos custos, o que inviabiliza o projeto segundo esta concepção tradicional.

A empresa se envolveu num projeto de pesquisa para obtenção do produto por outro processo, cuja característica é o baixo consumo de energia elétrica com significativa redução do custo operacional, mesmo com geração própria de energia, e ainda descêr-cimos de investimento em capital fixo em relação ao projeto convencional. Este novo processo ainda não foi utilizado para a produção industrial deste ferro liga em particular, envolvendo riscos de diversas naturezas (tecnológicas).

Os resultados obtidos pela pesquisa indicaram que é possível utilizar este processo na produção do ferro liga, sendo cogitado pela empresa um projeto envolvendo gastos de US\$ 10 MM, com uma geração líquida anual de caixa de US\$ 1.6 MM, após consideração dos impostos, num horizonte de planejamento de 20 anos.

Sob a ótica da empresa gestora o projeto é de pequeno porte, mas as incertezas associadas à nova tecnologia levam-na a adotar uma postura conservadora, limitando a escala do empreendimento.

A empresa considera atraente um retorno de 9,5% a.a. se de pequeno (livre) risco e, devido às incertezas associadas ao projeto, adicionaria um prêmio de risco (multiplicativo) de 5%, sendo então em torno de 15% a.a. a taxa mínima desejada para o empreendimento.

Quer-se analisar a conveniência da implantação imediata do projeto ou se deve prosseguir com os investimentos em pesquisa, cuja próxima etapa seria a de construção de um forno piloto para experimentações e ajuste do processo envolvendo mais US\$ 2 MM, delongando a implantação do projeto

por mais 1 ano. Dados complementares serão fornecidos adiante.

## A análise de projetos envolvendo gastos em pesquisa

Sob a ótica da empresa privada um projeto que envolva gastos em pesquisa para desenvolvimento de um produto é normalmente analisado pelo fluxo de caixa descontado. A regra utilizada tem sido a de comparar a taxa de retorno do projeto com uma taxa mínima de retorno que considera uma rentabilidade livre de risco mais um prêmio de risco do empreendimento. Em termos do método do valor atual isto equivale a calcular o valor presente líquido dado por:

$$VA(i_c) = - \sum_{t=0}^{t_0} \frac{I(t)}{(1+i_c)^t} + \sum_{t=t_1}^T \frac{R(t) - C(t)}{(1+i_c)^t} \quad (1)$$

onde:

$i_c$  - taxa mínima de retorno do empreendimento;

$I(t)$  - investimentos do projeto (capital fixo, pesquisa, capital de giro etc., no ano  $t$ ;

$R(t)$  - receitas oriundas do projeto no ano  $t$ ;

$C(t)$  - custos (operacionais, administrativos, financeiros etc.) do projeto no ano  $t$ ;

$(0, t_0)$  - período de implantação;

$(t_1, T)$  - período de operação.

e comparar com o valor nulo, sendo projetos com valor atual positivo (negativo) aprovado (reprovado).

Consideramos em (1) os valores expressos em moeda constante tal que a taxa mínima de retorno seja formada por apenas dois componentes:

$$(1+i_c) = (1+i_{lr}) \cdot (1+i_{re}) \quad (2)$$

ou simplesmente:

$$i_c = i_{lr} + i_{re} + i_{lr} \cdot i_{re} \quad (3)$$

onde:

$i_{lr}$  - taxa de retorno livre de risco  
 $i_{re}$  - prêmio de risco devido à natureza do empreendimento

A aplicação do método do fluxo de caixa descontado acima, sem maiores cuidados, poderia induzir o seguinte raciocínio: trata-se de um projeto cuja implementação imediata levaria a empresa a ter como expectativa uma taxa de retorno de cerca de 15% a.a. Esta taxa está em torno da mínima desejada pela empresa para este tipo de empreendimento. Desta maneira o projeto não se revela, nem atraente a ponto de entusiasmar os executivos da empresa, nem desestimulante o suficiente, para ser descartado. O investimento em pesquisa adicional delongaria a implantação do projeto e ainda exigiria mais capital gerando uma taxa de retorno de 10,6% a.a o que viria a inviabilizá-lo definitivamente.

A utilização deste tipo de procedimento tem levado as empresas a rejeitarem sistematicamente projetos de investimento que envolvam investimentos em pesquisa ou a aprovarem alternativas que limitam a competitividade da empresa em termos de custos, devido a questões de escala.

De fato, os projetos desta natureza têm fluxos de caixa bastante incertos, o que induz as empresas a considerarem apenas alternativas extremamente conservadoras (pequena

escala, mercado restrito, etc.) aliadas à exigência de taxas mínimas de retorno, elevadas ao incorporarem alto prêmio de risco. Como consequência da primeira postura, a alternativa selecionada, se alguma, perde sua competitividade e, como consequência da segunda, alternativas de longa maturação são prontamente rejeitadas. Em decorrência, projetos que envolvam investimentos em pesquisa são sistematicamente rejeitados. Primeiramente, porque este tipo de projeto tem, em geral, longa maturação, não suportando exigências de taxas elevadas e em segundo lugar porque alternativas conservadoras formuladas à luz das incertezas dificilmente remunerarão o capital investido. A desconsideração deste fato pelas empresas tem gerado uma postura extremamente pessimista quanto a gastos em pesquisa em geral.

Note-se que não queremos jogar sobre as empresas o ônus de assumir investimentos inviáveis pelo mérito destes incluírem gastos em pesquisa. Trata-se, antes de tudo, de uma falsa interpretação do conceito de fluxo de caixa descontado e da utilização do prêmio de risco incorretamente, com a empresa desprezando oportunidades atraentes de investimentos.

O uso de uma taxa mínima de retorno mais elevada, dada pela equação (2), implica em uma hipótese de incerteza crescente com o tempo da forma exponencial, isto é:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+i_{re})^t} = e^{-i_{re}^* t}$$

onde  $\alpha_t$  é o coeficiente de equivalente de certeza, definido como o quanto (percentualmente) a empresa está disposta a trocar de seu fluxo de caixa incerto no ano  $t$ , pelo fluxo certo, sendo  $i_{re}^*$  a taxa de juros contínua equivalente a  $i_{re}$  [ver Van Horne (1979)].

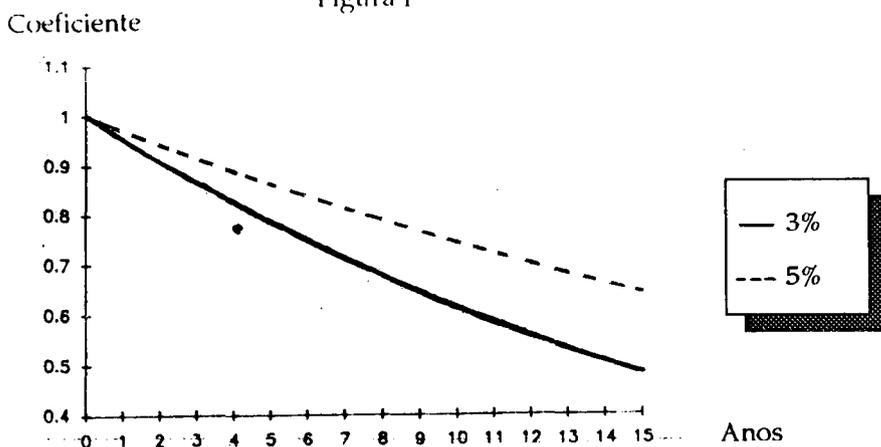
A figura 1 nos mostra o valor dos coeficientes de certeza para taxas de juros de 3% e 5%. Uma taxa adicional como prêmio de risco de 5% implica que a empresa está disposta a trocar 1 u.m. (uma unidade monetária) incerta prevista para o décimo ano por 0,61 u.m. garantida, também para o décimo ano.

Uma vez compreendida esta implicação, fica claro que a adição de um prêmio de risco para determinação da taxa mínima de retorno em projetos que envolvam investimentos

em pesquisa é inapropriada. Note-se que a pesquisa, uma vez bem sucedida, vem a diminuir as incertezas referentes ao projeto e incerteza decrescente no tempo é contraditória com a adição do prêmio de risco.

Não se trata ainda de utilizar simplesmente taxas diferenciadas para as diversas etapas do projeto. Isto, conforme bem advogado por Hodder e Riggs (1985), pode e deve ser feito, mas a não consideração explícita das diversas etapas pode obscurecer o processo

Figura 1



decisório. Ao término de cada etapa do projeto a empresa poderá ter caminhos alternativos a seguir. Caminhos que ficam embolados se não são tratados separadamente. Por exemplo, no caso em questão, após o término da etapa de pesquisa e em função de seus resultados a empresa poderá decidir se prossegue ou não com o projeto. A decisão econômica tem que ser avaliada por etapas. Na primeira etapa seriam analisadas as questões do tipo: "vale a pena investir no projeto de pesquisa?"; "até que valor?"; "para que taxa mínima de retorno?". Na segunda etapa as perguntas considerariam os resultados da pesquisa e seriam do tipo: "vale a pena prosseguir com o projeto?"; "para que taxa mínima de retorno?"; "quais os riscos da pesquisa ter dado indicações incorretas?".

A análise destas questões fica bastante simplificada com o auxílio da técnica da árvore de decisão.

### Uso das árvores de decisão na análise de investimentos

A técnica das árvores de decisão foi incorporada na análise de investimento já na década de 60 (ver Magee (1964)). Não nos deteremos na exposição desta metodologia, mas simplesmente em mostrar como a utilização desta técnica pode resolver satisfatoriamente o problema em questão (ver Neves (1981)).

A técnica foi inicialmente desenvolvida para o estudo de decisões sequenciais, sendo depois estendida para a análise do valor de uma informação, seja ela perfeita (clarividência) ou imperfeita (ver Costa Neto (1980)).

Pode-se perfeitamente considerar que pesquisas produzem conhecimento e como tal podem ser analisadas pela teoria da decisão, segundo o mesmo procedimento de avaliação de uma informação imperfeita. A outra maneira de obter informação é por consultas a especialistas.

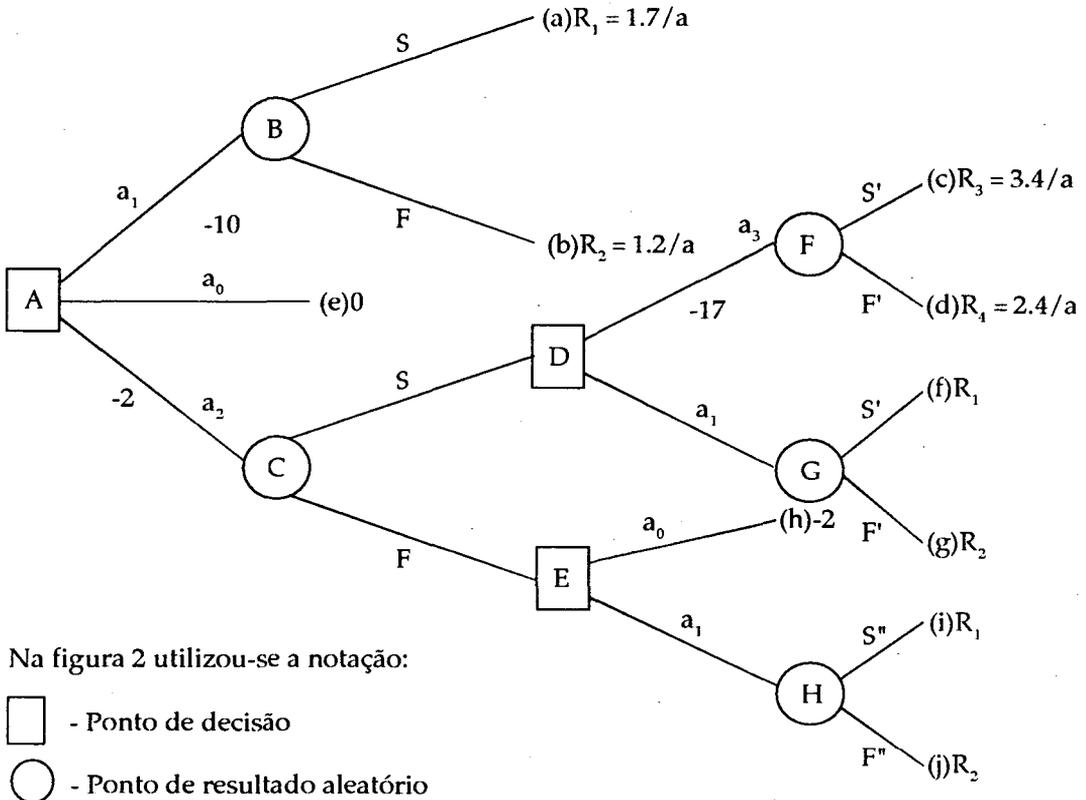
Uma outra observação, que pode passar desapercibida pela empresa, é que um resultado favorável da pesquisa pode levar a concepções mais arrojadas do projeto.

No caso em questão, o risco envolvido pôde ser considerado somente de natureza tecnológica, havendo mercado, capacidade gerencial, crédito etc., para projetos de maior escala que a da concepção inicial.

Assim sendo, considerou-se que, caso a pesquisa indicasse resultados favoráveis poder-se-ia simplesmente dobrar a capacidade do projeto aproveitando-se de uma economia de escala de 0,77 em relação aos investimentos. Suporemos uma estrutura de custos variáveis, dobrando-se a caixa gerada ao se duplicar a capacidade.

O projeto com suas concepções alternativas pode então ser representado pela árvore da figura 2.

Figura 2



A resolução da árvore, isto é, qual a sequência de decisões recomendadas, requer o conhecimento, que pode ser bastante aproximado, das probabilidades dos eventos aleatórios, bem como dos resultados esperados ao fim de cada ramo.

Para esta análise é necessário que se estime probabilidade de erro e acertos da pesquisa, mais especificamente:

- a probabilidade de se ter sucesso quando a pesquisa indica sucesso;
- a probabilidade de se ter sucesso quando a pesquisa indica fracasso;
- a probabilidade de se ter fracasso quando a pesquisa indica sucesso;
- a probabilidade de se ter fracasso quando a pesquisa indica fracasso;

Para simplificar reduzimos os resultados do projeto a "sucesso" e "fracasso", mas nada impede a consideração de vários possíveis resultados. Note-se ainda que estas probabilidades são condicionadas e sua determinação fica simplificada com a ajuda do teorema de Bayes de probabilidade condicionais:

$$P(E_i/A) = \frac{P(E_i) \cdot P(A/E_i)}{\sum_{E_i \in C} P(E_i) \cdot P(A/E_i)} \quad (5)$$

sendo:

- $P(E_i/A)$  - probabilidade do evento dado que A ocorreu;
- $P(E_i)$  - probabilidade (incondicional) do evento  $E_i$ ;
- C - espaço amostral (conjunto de possibilidades) do experimento.

A aplicação da fórmula de Bayes necessita do conhecimento das probabilidades incondicionais (a priori) do projeto vira a ser bem (sucesso) ou mal sucedido (fracasso) devido ao risco tecnológico. Consideramos no exemplo as probabilidades da tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Distribuição Prévia

Do projeto ter:	Probabilidade
Sucesso	0,80
Fracasso	0,20
após implantado (independentemente da pesquisa)	

É necessário caracterizar ainda as características da pesquisa em termos de resultados esperados, mais especificamente:

- a probabilidade da pesquisa indicar sucesso quando de fato o projeto será bem sucedido;
- a probabilidade da pesquisa indicar sucesso quando de fato o projeto será mal sucedido;
- a probabilidade da pesquisa indicar fracasso quando de fato o projeto será bem sucedido;
- a probabilidade da pesquisa indicar fracasso quando de fato o projeto será mal sucedido;

Estas probabilidades se referem ao agente responsável pela pesquisa naquele tipo de projeto caracterizando sua precisão ou ordem de grandeza de erros (chamados em estatística de erros tipos I e II)

No caso específico, o agente responsável pela pesquisa era uma conceituada empresa de consultoria. Deixaremos porém este aspecto sem maiores considerações e trabalharemos com as seguintes probabilidades para o caso em questão

Tabela 2 - Características do Experimento

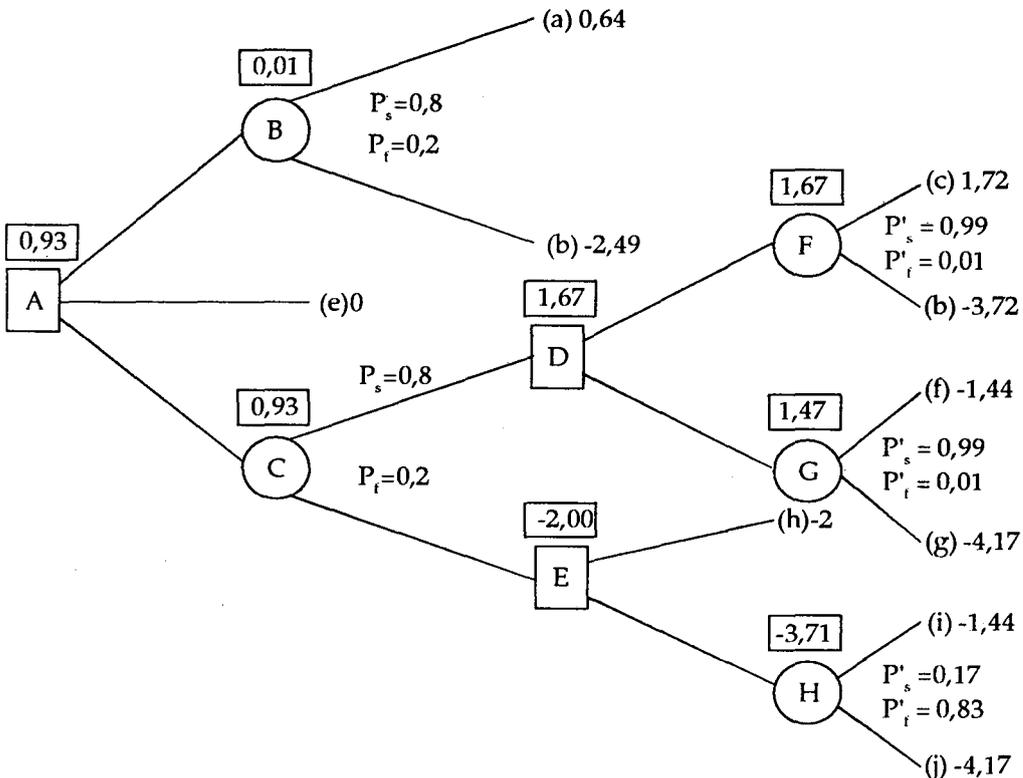
Probabilidade da consultoria indicar:		Sucesso		Fracasso	Total
		"S"	"F"		
Quando o projeto terá:					
Sucesso	S	0,95	0,05		1
Fracasso	F	0,03	0,97		1

A aplicação do teorema de Bayes nos dará as probabilidades condicionais:  $P(S/"S")$ ,  $P(F/"S")$ ,  $P(S/"F")$  e  $P(F/"F")$ , denotadas na figura 3, por  $p'_s$ ,  $p'_f$ ,  $p_s$  e  $p_f$ , respectivamente.

A resolução da árvore se dá de trás para frente: (i) primeiramente, se apurando o resultado líquido (Valor Presente) ao término

de cada ramo independentemente das probabilidades; (ii) especificando-se um critério de decisão (valor esperado, valor mais provável etc.); (iii) aplicando-se o critério em cada nó probabilístico; (iv) escolhendo-se a melhor opção em cada nó de decisão. Na figura 3 utilizou-se o critério do valor esperado, assinalado em retângulo acima de cada nó.

Figura 3

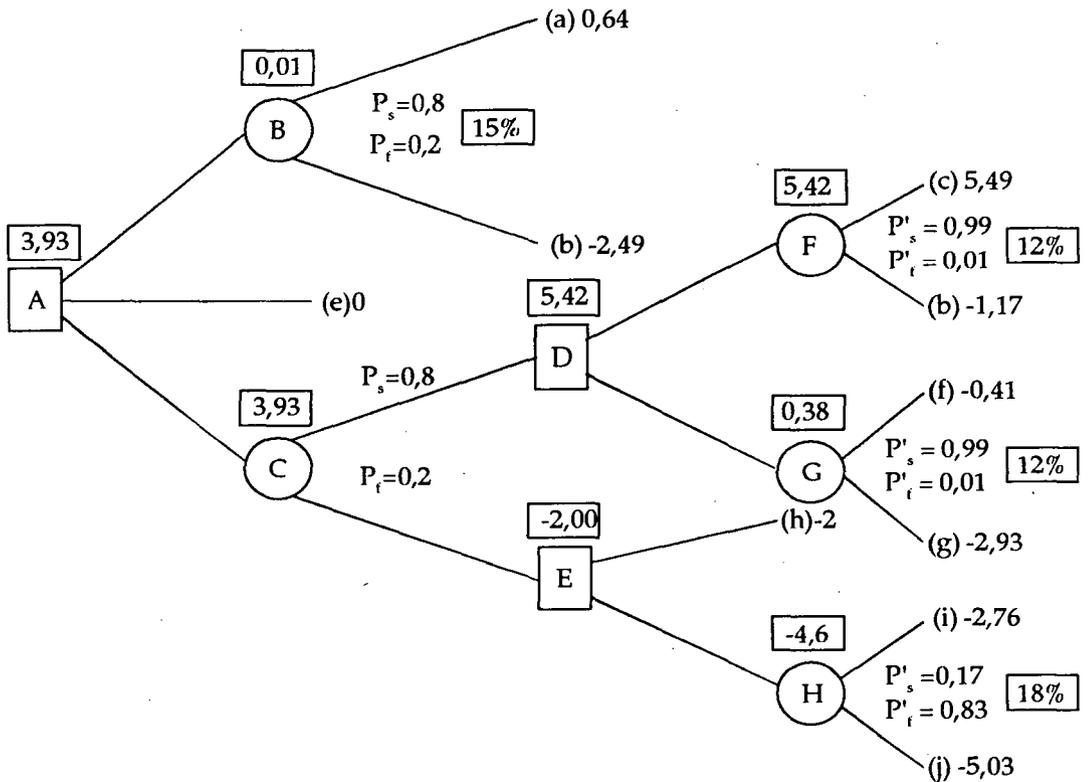


A análise desta figura nos mostra que vale a pena investir em pesquisa adicional melhor caracterizando os riscos tecnológicos do projeto. Caso a pesquisa dê resultados favoráveis, a empresa partiria para concepções mais arrojadas do projeto original. Caso contrário, o projeto deverá ser abandonado. Desta forma, a empresa estará maximizando seus resultados esperados.

### Consideração do risco diferenciado

A aplicação da teoria da decisão permitiu concluir que o investimento em pesquisa adicional para um melhor conhecimento dos riscos tecnológicos do projeto é viável devido à possibilidade de uma concepção mais

Figura 3



arrojada do projeto frente aos resultados favoráveis da pesquisa. Deve ser observado que, na resolução da árvore (figura 3), utilizou-se uma mesma taxa de retorno em todos os ramos. Conforme mencionado ante-

riormente, esta consideração pode ser inapropriada para certos tipos de análises, tais como a análise em questão, dado que o próprio resultado da pesquisa virá modificar o risco (tecnológico) do projeto.

(2) Estamos evitando considerar outros tipos de risco, tais como os mercadológicos, financeiros etc, para não obscurecer a presente análise. Os pontos aqui levantados podem ser facilmente estendidos a casos mais complexos.

Desta maneira, deve-se averiguar a taxa de desconto apropriada em cada ramo. Os riscos associados aos ramos (c), (d), (f) e (g) devem ser menores do que em (a) e (b). Do mesmo modo os riscos associados a (i) e (j) são maiores do que os de (a) e (b). Utilizando, 12%, 15% e 18% para os ramos (c), (d), (f), (g), (a), (b) e (i), (j), respectivamente e resolvendo novamente a árvore temos agora os resultados da figura 4.

O investimento em pesquisa tornou-se muito mais atrativo do que anteriormente detectado. Vê-se que esta é viável ainda que o projeto não permitisse uma concepção mais arrojada (inexistência dos ramos (c) e (d). Vale observar que o resultado da figura 4 difere completamente dos obtidos anteriormente, particularmente do derivado pela aplicação do método do fluxo de caixa descontado as alternativas diretamente sem consideração explícita das etapas e taxas de risco apropriadas.

### A questão da dificuldades de obtenção dos dados

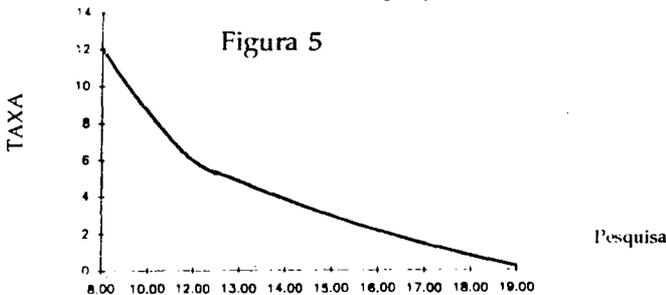
Uma questão final precisa ser discutida. Trata-se da dificuldade de obtenção dos dados para aplicação da técnica acima. Neste particular deve ser observado que, em geral, a solução obtida pela aplicação da teoria da decisão é robusta para variações nos parâmetros da análise, particularmente quanto às probabilidades. As demais informações são rotineiras a quaisquer estudos de projeto. Deste modo basta atribuir valores razoavel-

mente coerentes às probabilidades para se ter uma boa solução do problema.

Para o projeto em discussão as probabilidades da tabela 2 são as de maiores dificuldades de atribuição de valor. Estas são pertinentes ao experimento e poderiam ser obtidas de diversas formas: (i) por entrevistas com a consultoria (quais as chances de erros que esta atribui para seus resultados); (ii) com base em experiência passada (como têm sido as previsões de resultados desta empresa em relação à realidade) ou; (iii) mais subjetivamente poder-se-ia pensar nestas probabilidades como "graus de confiança" atribuíveis à empresa para este tipo de experimento.

É conveniente, em caso de grande desconhecimento dos parâmetros da análise, se proceder a uma análise de sensibilidade do problema. Pode-se averiguar uma série de questões do tipo: "até que nível de investimento se justifica a pesquisa?"; "para que variações das probabilidades a priori o investimento em pesquisa se justifica?"; "para que nível de prêmio de risco a opção mais arrojada se torna inferior à opção inicial mesmo após os resultados da pesquisa serem satisfatórios?"; "que valores máximos de erro são aceitáveis para a pesquisa se manter viável?"; etc.

Não nos é possível analisar todas as questões acima mencionadas aqui neste trabalho. Dá-se abaixo, na figura 5, o valor máximo que se pode gastar na pesquisa para variações na taxa de desconto nos ramos (c) e (d), correspondente à concepção mais arrojada do projeto.



## Conclusões

Discutiu-se neste trabalho a utilização do método do fluxo de caixa descontado com prêmio de risco adicionado à taxa de desconto para a análise de gastos em pesquisa. Tais projetos, de resultados incertos, não se prestam a este tipo de análise, devido a sua natureza de risco, que não se coaduna com a hipótese básica decorrente deste procedimento. Sua aplicação tem levado as empresas à rejeição sistemática de projetos de pesquisa, ou ainda a aprovarem concepções medíocres destes projetos perdendo importantes oportunidades de crescimento em novas linhas de negócio.

Apesar desta constatação não se deve atribuir à técnica em si estas limitações. Na realidade trata-se mais de sua utilização incorretamente do que propriamente de falhas metodológicas. A sua utilização conjugada com técnicas de teoria da decisão e taxas diferenciadas de risco a cada ramo da árvore mostrou que esta é capaz de avaliar com mais propriedade os projetos envolvendo gastos em pesquisa. Além da maior adequabilidade deste tipo de análise o método se mostra capaz de responder a uma série de questões dando maior profundidade às análises realizadas. Não se deve concluir que o método aqui exposto se presta a qualquer tipo de análise. Pelo contrário, quer-se aqui chamar a atenção, exatamente, de como apli-

cações automáticas de técnicas sem considerar se suas hipóteses básicas se adequam ou não ao problema a ser tratado, podem levar as empresas a tomarem decisões falhas.

## Bibliografia

- COSTA NETO - Análise Estatística da Decisão, Editora Edgard Blücher Ltda, 1980
- HAYES, ROBERT H AND WILLIAM J. ABERNATHY - Managing our Way to Economic Decline, Harvard Business Review, July-August 1980
- HODDER, JAMES E. AND HENRY E. RIGGS - Pitfalls in Evaluating Risky Projects, Harvard Business Review Jan-Febr, 1985
- MAGEE, JOHN F. - Decision Trees for Decision Making, Harvard Business Review, July-August 1964
- NEVES, CESAR DAS - Análise de Investimentos: Projetos Industriais e Engenharia Econômica, Zahar Ed. 1981
- VAN, HORNE, J.C. - Política e Administração Financeira, Coleção Univesitária de Administração, Ed. Universidade de São Paulo, 1974.