

# ANÁLISE DE PROJETOS EM CONDIÇÕES DE RISCO COM A UTILIZAÇÃO DA ARBITRAGE PRICING THEORY (APT): UMA APLICAÇÃO NO SETOR ENERGÉTICO.

Vinícius Montgomery de Miranda  
Edson de Oliveira Pamplona

Escola Federal de Engenharia de Itajubá  
e-mail: [vinicius@iee.efei.br](mailto:vinicius@iee.efei.br), [pamplona@iem.efei.br](mailto:pamplona@iem.efei.br)

## *Abstract*

*Uncertainty is intrinsic to every project to be done. In project analysis, the traditional methods do not consider this uncertainty. Otherwise, modern methods like CAPM and APT calculate the return-risk relationship of projects.*

*This paper analyses energy efficiency projects presented in Khan and Fiorino (1992) case study, using the APT approach and comparing it with traditional methods. The results of this cross analysis lead to different economic conclusions. The APT can help the decision-maker make use of risky opportunities while the traditional methods are conservative and robust.*

**Keywords** : *Arbitrage Pricing Theory, return and risk, investment*

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é mostrar como o modelo APT, desenvolvido na década de 70 (Ross, 1976), pode ser aplicado em análise de investimentos, sendo uma alternativa aos métodos tradicionais utilizados para este fim. Para se atingir este objetivo, parte-se de um estudo realizado por Khan e Fiorino (1992), onde é feita uma comparação dos métodos tradicionais com o método CAPM, desenvolvido na década de 60 (Sharpe, 1964). Os dados aqui utilizados são os mesmos deste estudo, porém, serão utilizados três fatores para o modelo multifatorial APT: inflação e produto nacional bruto (PNB) norte-americanos e a taxa de juros (representada por letras do tesouro americano), ao invés do índice de mercado por eles utilizados no modelo CAPM.

## **1. Introdução**

Khan e Fiorino (1992) analisam a viabilidade de projetos de eficiência energética, que também estão sujeitos a riscos sistemáticos de um portfólio de investimentos bem diversificado contendo ações, títulos, terrenos, plantas industriais, equipamentos, etc. Os métodos tradicionais utilizados nesta análise comparativa com o CAPM são: a taxa interna de retorno (TIR) e o método *payback*. Os riscos sistemáticos a que seus portfólios estão sujeitos são as taxas de câmbio, preço de *commodities*, taxas de juros, ciclicidade da economia, acordos de comércio, desregulamentação, reformas tributárias, etc. Porém, os efeitos dos riscos sistemáticos na maioria dos investimentos em geral e nos investimentos de eficiência energética em particular, podem ou não ter efeitos similares. Por exemplo, a eliminação do crédito de imposto no investimento reduz a atratividade de ambos: investimentos em geral e

investimentos em melhorias de eficiência energética. Ao passo que a queda no preço do petróleo aumenta a atratividade dos investimentos dos negócios em geral, mas não dos projetos de eficiência energética. No entanto, a estimativa de variação deste risco sistemático é complexa e não pode ser negligenciada na seleção de projetos e orçamento de capital. Por isso, faz-se necessário o uso de métodos modernos de análise de investimentos que relacionem retorno e risco.

## **2. Breve descrição dos projetos em análise**

Os projetos de eficiência energética considerados neste estudo são independentes e não mutuamente exclusivos, com investimentos de capital inicial entre US\$ 25 e US\$ 50 mil, vida útil de 8 anos e não há necessidade de se fazer empréstimos para a realização destes. A seguir, descreve-se cada um dos quatro projetos em análise:

### **Projeto 1**

Consiste da substituição de motores padrão por motores de alta eficiência energética em sistemas de ar condicionado e exaustores, sendo:

- 6 motores de 20 hp operando continuamente para o ar condicionado;
- 6 motores de 15 a 50 hp operando continuamente para o sistema de exaustão.

Os motores de alta eficiência energética utilizam de 5 % menos eletricidade e geram uma economia anual de 49.829 kWh. O preço de compra total dos novos motores é de US\$ 22 mil, além de US\$ 3,6 mil necessários para suas instalações. Portanto, o investimento inicial total do projeto é de US\$ 25,6 mil, com manutenção anual de US\$ 400.

### **Projeto 2**

Consiste da colocação de uma película de proteção solar de baixa emissividade, num total de 1.789 m<sup>2</sup>, proporcionando uma economia de 173.700 kWh de eletricidade no condicionamento de ar durante o verão e aproximadamente 12.743 m<sup>3</sup> de gás natural no aquecimento durante o inverno. O custo total de instalação da película é de US\$ 34.950, sendo sua manutenção anual de US\$ 350.

### **Projeto 3**

Consiste da instalação de trocadores de calor entre o sistema de ventilação e os dutos de exaustão de ar. A necessidade de ventilação do prédio é de aproximadamente 829 m<sup>3</sup>/minuto na condição ambiental de 40° C (seco), ou 27° C (úmido) no verão e - 18° C (seco) no inverno. A necessidade de exaustão do prédio é de 746 m<sup>3</sup>/minuto em 24° C (seco), ou 17,5° C (úmido) em ambos: verão e inverno. No verão os trocadores de calor expulsam o calor antes do ar ventilado entrar no sistema de ar condicionado do prédio. Esta pré-refrigeração economiza 25.900 kWh de eletricidade anualmente. No inverno, os trocadores aproveitam o calor do ar de exaustão antes de sua expulsão e o transferem ao ar renovado que entra no sistema de ar condicionado. Este pré-aquecimento economiza 64.979 m<sup>3</sup>/ano de gás natural. O investimento total, incluindo a instalação dos trocadores de calor é de US\$ 45.140, com manutenção anual de US\$ 450.

### **Projeto 4**

Consiste da instalação de refletores especulares e da retirada de lâmpadas das luminárias de teto do prédio. O sistema de iluminação do prédio tem 1.047 luminárias em centros de 6 m<sup>2</sup>, operando 60 horas/semana. Cada luminária tem 3 lâmpadas fluorescentes de 40 W. A instalação dos refletores de alumínio anodizado nas luminárias com a remoção de uma lâmpada de 40 W resulta nos mesmos níveis de iluminação de antes desta remoção. Esta medida proporciona uma economia de 130.666 kWh/ano de

eletricidade. O investimento total deste projeto, incluindo instalação, é de US\$ 31.410, com manutenção anual de US\$ 314.

### **3. Cenários econômicos possíveis**

Khan e Fiorino (1992) consideram três cenários econômicos possíveis para o período de vida útil dos projetos, com probabilidade igualitária de ocorrência (1/3) para cada um deles. Um dos cenários apresenta preços internacionais do petróleo abaixo daquele observado na época de seus estudos. Outro cenário apresenta preços de petróleo elevado e o terceiro cenário apresenta preços intermediários.

#### **Cenário 1: baixo preço do petróleo**

Neste cenário é considerado um baixo preço mundial do petróleo, resultando uma tendência de um maior crescimento econômico, com menor inflação. Neste caso, há necessidade de importação de petróleo em consequência de maior consumo interno e da queda natural de produção que já vem ocorrendo nos Estados Unidos da América (EUA). A necessidade de importação passaria da ordem de 4,5 milhões de barris diários em 1985, para aproximadamente 10 milhões de barris por dia em 1995.

#### **Cenário 2: preço do petróleo estável (caso base)**

Neste cenário é considerado o preço base do petróleo. Ou seja, aquele valor estável entre o cenário possível de uma redução de seu preço mundial e uma possível elevação do mesmo. Também são levados em consideração, a produção média americana de petróleo, seu consumo e a consequente importação, decorrente da diferença entre produção e consumo. Neste cenário, o crescimento da economia e a inflação também são considerados em seus valores médios.

#### **Cenário 3: preço elevado do petróleo**

Neste cenário, o preço mundial do petróleo é considerado em um valor elevado, aumentando de US\$ 23/barril em 1990, para US\$ 28/barril em 1995. É considerada também, a queda natural de produção interna e um crescimento anual de consumo à taxa de 0,4 %, resultando numa importação crescente de 4,5 milhões de barris diários em 1985, para quase 8 milhões de barris/dia em 1995. Em consequência, a economia cresce a uma taxa mais moderada, com inflação mais elevada.

### **4. Análise dos projetos pelos métodos tradicionais**

Khan e Fiorino (1992) utilizam-se de métodos tradicionais de análise de viabilidade econômica de projetos e apresentam seus resultados conforme *tab. 1*. Estes métodos são: a TIR e o tempo máximo de retorno do capital inicial investido (*payback*). Nesta tabela, nota-se a peculiaridade dos projetos de eficiência energética que se correlacionam negativamente com o crescimento da economia. Isto é, quando a economia tem maior crescimento em decorrência de menor custo do petróleo, os benefícios dos dispositivos de eficiência energética são menores e portanto, o retorno destes projetos é menor (caso retratado no cenário 1 de cada projeto). O contrário também se observa, isto é, quando o preço do petróleo se eleva, os projetos de eficiência energética têm maior retorno (cenário 3). Esta é uma importante característica de projetos como parte de uma carteira de investimentos de empresas, pois a correlação negativa proporciona o efeito *hedging* a esta carteira.

Projetos	Cenários	TIR (%)	Payback (anos)
1	1	16,3	4,43
	2	17,1	4,35
	3	17,5	4,31
2	1	28,9	3,17
	2	29,7	3,12
	3	30,2	3,10
3	1	18,9	4,44
	2	19,3	4,41
	3	19,6	4,38
4	1	18,8	4,14
	2	19,5	4,07
	3	19,9	4,04
Tabela 1 - Análise de projetos por métodos tradicionais Fonte: Khan e Fiorino (1992)			

Na **tab. 2** a seguir, tem-se a média da TIR e *payback* para cada projeto, considerando os três cenários apresentados equiprováveis. Tem-se ainda, nesta tabela, a variância de cada projeto.

Projetos	TIR	Payback	$\sigma_i^2$
1	16,97	4,36	0,249
2	29,60	3,13	0,287
3	19,27	4,41	0,082
4	19,40	4,08	0,207
Tabela 2 – Parâmetros dos projetos			

## 5. A Análise de projetos utilizando a APT

Com base nos dados dos projetos apresentados no trabalho de Khan e Fiorino (1992), utilizar-se-á a APT para a análise de viabilidade econômica dos mesmos, considerando três fatores sistemáticos no modelo multifatorial. Estes fatores são: inflação, produto nacional bruto e a taxa de juros da economia americana.

A **tab. 3** a seguir, apresenta valores para os três fatores, calculados como média simples dos índices dos anos escolhidos para cada cenário. Por exemplo, para os cenários 1 e 3, tomou-se a média da inflação dos três anos indicados em cada um deles. No cenário 2, tomou-se a média de todos os dados disponíveis dos três fatores (1929 a 1994). Os dados de inflação e letras do tesouro americano de 1926 a 1994 são apresentados por Ibbotson e Sinquefeld (1995) apud Ross (1998), enquanto que os do produto nacional bruto (PNB) de 1929 a 1995 estão disponíveis nas estatísticas do US Department of Commerce (1997).

Cenários	Períodos	Letras do tesouro	PNB	Inflação
1	1955, 61 e 86	3,287%	4,100%	0,723%
2	1929 a 1994	3,700%	3,436%	3,200%
3	1940, 47 e 80	3,913%	2,367%	7,457%

Tabela 3 - Índices médios dos três fatores considerados na aplicação da APT

O retorno do investimento em cada um dos quatro projetos analisados, em função destes três fatores de risco sistemático é dado pela **equação 1** a seguir:

$$r_i = \bar{r}_{INF} + \beta_{i,INF}(r_{INF} - \bar{r}_{INF}) + \bar{r}_{PNB} + \beta_{i,PNB}(r_{PNB} - \bar{r}_{PNB}) + \bar{r}_J + \beta_{i,J}(r_J - \bar{r}_J) \quad (1)$$

onde:

- $\bar{r}_{INF}$ ,  $\bar{r}_{PNB}$  e  $\bar{r}_J$  são as taxas de inflação, de crescimento do produto nacional bruto e de juros esperados para estes fatores de risco sistemático;
- $\beta_{i,INF}$ ,  $\beta_{i,PNB}$  e  $\beta_{i,J}$  representam a sensibilidade de retorno de cada projeto  $i$  em relação à variação de cada um dos fatores de risco sistemático;
- $(r_{INF} - \bar{r}_{INF})$ ,  $(r_{PNB} - \bar{r}_{PNB})$  e  $(r_J - \bar{r}_J)$  representam a diferença entre o valor estimado e o efetivo de cada fator de risco, para o período de vida útil do projeto. Ou seja, é a surpresa, ou a variação inesperada que se revela em cada fator de risco.

Para se obter os parâmetros das **tab. 4 e 5**, utiliza-se das equações **2 a 5** a seguir e os parâmetros das **tab. 1, 2 e 3** (Miranda, 1998):

$$\bar{r}_j = \sum p r_j \quad (2)$$

$$\sigma_j^2 = \sum p (r_j - \bar{r}_j)^2 \quad (3)$$

$$\sigma_{i,j} = p (r_i - \bar{r}_i)(r_j - \bar{r}_j) \quad (4)$$

$$\beta_{i,j} = \frac{\sigma_{i,j}}{\sigma_j^2} \quad (5)$$

onde:

- $r_j$  é o valor de cada fator, em cada cenário;
- $p$  é a probabilidade de ocorrência de cada cenário;
- $\bar{r}_j$  é a média ponderada do valor de cada fator, considerando os três cenários;
- $\sigma_j^2$  é a variância de cada fator;
- $\sigma_{i,j}$  é a covariância do projeto  $i$ , com o fator  $j$ ;
- $\beta_{i,j}$  é a sensibilidade do projeto  $i$ , em relação ao fator  $j$ ;
- $(r_i - \bar{r}_i)$  é o desvio de retorno de cada projeto, em relação à média;
- $(r_j - \bar{r}_j)$  é o desvio do valor de cada fator em relação a sua média ponderada.

Fator	$\bar{r}_j$	$\sigma_j^2$
Inflação	3,793	7,733
Taxa de juros	3,633	0,068
PNB	3,301	0,510

Tabela 4 – Parâmetros dos fatores

Projetos	Inflação	Juros	PNB	Inflação	Juros	PNB
	$\sigma_{i,j}$			$\beta_{i,j}$		
1	1,307	0,130	-0,338	0,169	1,920	-0,662
2	1,429	0,139	-0,369	0,185	2,058	-0,723
3	0,776	0,074	-0,200	0,100	1,098	-0,392
4	1,205	0,118	-0,311	0,156	1,749	-0,610

Tabela 5 – Parâmetros dos projetos em relação aos fatores

Na **tab. 6**, observa-se que o valor efetivo de cada fator, revelado após transcorrido o período de vida útil dos projetos, foi calculado como sendo a média simples entre os índices de 1987 a 1994.

Fatores	Valor efetivo médio de 1987 a 1994 (%)
Inflação	3,871
PNB	5,489
Taxa de juros	2,338

Tabela 6 – Valores médios efetivos dos fatores durante a vida útil dos projetos.

Tomando a **equação 1** e substituindo os valores obtidos das tabelas anteriores, tem-se os seguintes resultados:

$$r_1 = 3,793 + 0,169(3,871 - 3,793) + 3,633 + 1,920(5,489 - 3,633) + 3,301 - 0,662(2,338 - 3,301) = 14,941 \quad (6)$$

$$r_2 = 3,793 + 0,185(3,871 - 3,793) + 3,633 + 2,058(5,489 - 3,633) + 3,301 - 0,723(2,338 - 3,301) = 15,257 \quad (7)$$

$$r_3 = 3,793 + 0,100(3,871 - 3,793) + 3,633 + 1,098(5,489 - 3,633) + 3,301 - 0,392(2,338 - 3,301) = 13,150 \quad (8)$$

$$r_4 = 3,793 + 0,156(3,871 - 3,793) + 3,633 + 1,749(5,489 - 3,633) + 3,301 - 0,610(2,338 - 3,301) = 14,573 \quad (9)$$

## 6. Considerações finais

Os retornos obtidos pela APT, conforme calculados acima, podem ser adotados como o retorno mínimo necessário para o nível de risco de cada um dos projetos. Por exemplo, devido ao seu menor grau de risco, representado por sua variância (**tab. 2**), o projeto 3 apresenta retorno mínimo necessário menor que os outros projetos. Assim, cada projeto utilizará taxa de descontos de acordo com seu nível de risco.

Comparando a TIR média de cada projeto com sua taxa de descontos (obtida pela APT), observa-se que há um excesso de retorno positivo ( $e_i$ ), conforme mostrado na **tab. 7**. Este excesso de retorno positivo nada mais é que a diferença entre o retorno obtido pela TIR média e a taxa de descontos obtida pela APT. Isto permite concluir que, por este método, todos os projetos analisados são considerados viáveis, concordando com análise de Khan e Fiorino (1992) para o CAPM e discordando dos métodos tradicionais que originalmente não incorporam o risco na análise de investimentos. Por exemplo, no método tradicional da TIR, a comparação é realizada com uma taxa mínima de atratividade única, que independe do grau de risco de cada projeto, ao contrário da APT que considera o risco de cada projeto, no cálculo de seu retorno.

Assim, a decisão de investimentos baseada na APT aprova (A) a execução de todos os projetos, enquanto a decisão baseada nos métodos tradicionais, reprova (R) a maioria (TIR), neste caso, por apresentar retornos abaixo da taxa mínima de atratividade considerada de 20%, ou a totalidade deles (*payback*), por apresentar retornos além do tempo máximo considerado de 3 anos.

Projetos	APT		CAPM		TIR		Payback	
	$e_i$	Decisão	$e_i$	decisão	taxa (%)	Decisão	anos	decisão
1	2,03	A	11,43	A	16,97	R	4,36	R
2	14,34	A	24,09	A	29,60	A	3,13	R
3	6,12	A	13,53	A	19,27	R	4,41	R
4	4,83	A	13,82	A	19,40	R	4,08	R

Tabela 7 – Comparação de métodos

Ao se comparar os resultados da análise pela APT com a análise pelo CAPM, observa-se que o excesso de retorno do primeiro é inferior ao do segundo método. Isto é atribuído à maior precisão da APT. Como muitos fatores entram na composição da *equação 1*, a APT tem possibilidade de medir com maior precisão o retorno esperado de um projeto que o CAPM (Bower, 1984). Ressalta-se porém, que outros valores de excesso de retorno poderiam ser encontrados na utilização de outros fatores diferentes destes adotados. Contudo, o resultado da análise de viabilidade parece definitivamente recomendar a aceitação de todos os quatro projetos.

Assim como Khan e Fiorino se utilizaram do CAPM, utiliza-se aqui a APT - uma teoria criada para aplicações em mercado de capitais - na análise de alternativas de investimentos produtivos. Isto é possível e, conforme se constatou, traz a vantagem de relacionar ao retorno de cada projeto analisado, os riscos a que estão sujeitos.

Uma das vantagens da APT é poder lidar com fatores múltiplos que representam melhor a realidade, ou a prática diária de empresas. Assim, cada projeto de investimento em empresas diferentes, em ramos industriais diferentes e setores econômicos distintos teria seu retorno calculado de forma mais realista. Na análise de projetos futuros, os especialistas poderiam, “arbitrariamente,” escolher os fatores de risco sistemático mais apropriados que afetariam determinado projeto. Eles poderiam calcular a sensibilidade à variabilidade do retorno de projetos aos seus fatores de risco (de acordo com suas estimativas), e ainda, o grau de aversão ao risco dos investidores. Bernstein (1997) afirma ser raro encontrar dois investidores com carteiras significativamente semelhantes, o que realça a importância da APT em considerar a arbitragem.

Goetzmann (1997) explica que a maior diferença prática entre o CAPM e a APT é que o primeiro usa apenas uma variável de risco no modelo, que é o mercado, enquanto que a APT usa várias variáveis ou fatores que influenciam o mercado. Portanto, o fator único do CAPM refletirá ponderadamente as variações dos fatores da APT.

Por permitir que tipos múltiplos de riscos sistemáticos, ao invés de um único risco sistemático, influenciem no cálculo do retorno de ativos, Ross (1995) considera que o modelo APT seja uma espécie de generalização do modelo anterior.

No caso de análise de projetos isolados, isto é, de projetos não incluídos no portfólio de investimentos de uma empresa, os fatores a serem escolhidos para uso no modelo multifatorial da APT devem incluir além dos fatores relativos aos riscos sistemáticos, aqueles relativos aos riscos não sistemáticos. Ou seja, os riscos peculiares a cada projeto. Por exemplo, se os projetos energéticos aqui apresentados estivessem sendo analisados isoladamente, um dos fatores a ser considerado na APT poderia ser o preço internacional do petróleo.

Observa-se que nas *equações 6 a 9* do modelo APT, calcula-se o retorno de projetos passados. Isto é, o valor efetivo de inflação, PNB e taxas de juros no período de vida útil dos projetos, já são conhecidos. Poder-se-ia também utilizá-lo para a análise de futuros projetos. Neste caso, ao invés de substituir o valor efetivo dos fatores nas respectivas equações, dever-se-ia “arbitrar” valores para cada um dos fatores. Isto é feito baseado nas estimativas de especialistas. Então, proceder-se-ia ao cálculo de retorno de cada projeto.

Apesar da necessidade de maiores estudos comprovando a eficácia dos métodos modernos (CAPM e APT), recomenda-se a utilização destes como auxiliares e complementares na tomada de decisão, caso contrário, poder-se-ia estar descartando projetos economicamente viáveis com a utilização dos métodos tradicionais, que são mais conservadores (Miranda e Pamplona, 1997).

Neste contexto, em virtude do acirramento da competição e da escassez de recursos da economia brasileira, a decisão racional de investimento, através da APT, pode ser decisiva para a sobrevivência da empresa, frente à concorrência.

Ao contrário dos EUA que têm economia solidamente estável e dados estatísticos confiáveis, o Brasil vem de uma estabilização recente, após um período de hiperinflação. Neste cenário seria possível utilizar a APT, desde que tomados alguns cuidados adicionais que são explicitados em Miranda, 1998.

## 7. Bibliografia

BERNSTEIN, P.L. *Desafio aos Deuses - A Fascinante História do Risco*. Trad. de Ivo Korytowski. Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda., 1997.

BOWER, D.H.; BOWER, R.S. and LOGUE, D.E. A Primer on Arbitrage Pricing Theory. *The Midland Journal of Corporate Finance*. v.2, n.3, p. 31-40, 1984.

GOETZMANN, W. N. *An Introduction to Investment Theory*, Yale School of Management, <http://viking.som.yale.edu/will/finman540/classnotes>, 1997.

KHAN, A.M.; FIORINO, D.P. The Capital Asset Pricing Model in Project Selection: A Case Study. *The Engineering Economist*. v.37, n.2, p.145-60, Winter, 1992.

MIRANDA, V.A.M.; PAMPLONA, E.O. *Um Estudo do Modelo APT Aplicado na Determinação da Taxa de Desconto*. XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção e III Congresso Internacional de Engenharia Industrial. Anais. Gramado-RS, Out. 1997.

MIRANDA, V.A.M. *Abordagem do Risco em Análise de Investimentos com a Utilização da Arbitrage Pricing Theory (APT)*. Itajubá-MG, Agosto, 1998. **Dissertação (Mestrado) - Escola Federal de Engenharia de Itajubá.**

ROSS, S. A. The Arbitrage Theory of Capital Asset Pricing. *Journal of Economic Theory*. Dez, 1976.

ROSS, S.A.; WESTERFIELD, R.W.; JAFFE, J.F. *Administração Financeira - Corporate Finance*. São Paulo, Ed. Atlas, 1995.

ROSS, S.A.; WESTERFIELD, R.W.; JORDAN, B.D. *Princípios de Administração Financeira: Essentials of Corporate Finance*. São Paulo, Ed. Atlas, 1998.

SHARPE, W. F. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk. *Journal of Finance*. Set, 1964.

US DEPARTMENT OF COMMERCE. Bureau of Economic Analysis Website. *Summary National Income and Product Series, 1929-96*. <http://www.bea.doc.gov/bea/scb/0597nip1.pdf>. May, 1997.