

O MODELO CAPM APLICADO À DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CAPITAL PRÓPRIO PARA AS EMPRESAS DO SETOR DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Ívila Marceley Alves Adães^{1,2}

ivila@cepel.br

Fabio Rodrigo Siqueira Batista^{1,3}

fabrsb@cepel.br

Carlos de Lamare Bastian Pinto²

bastian@iag.puc-rio.br

¹CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
Avenida Horácio de Macedo, 354, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ.

²IAG/PUC Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ.

³DEI/PUC Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ.

RESUMO

A relação entre risco e retorno de ativos financeiros está entre as principais discussões no que se refere às teorias existentes para a precificação de ativos de risco, as quais postulam que quanto maior o risco assumido, maior será o retorno requerido pelo investidor racional. Essa regra geral se aplica tanto a um investidor marginal como a corporações cujo objetivo consiste na maximização da riqueza de seus acionistas. No entanto, existem formas distintas de se apurar essa relação. Seguindo a prática usual, recomenda-se a adoção do modelo CAPM como forma de estimar a retorno adequado para um determinado ativo, dado o seu risco associado. Sendo assim, os principais objetivos deste trabalho são: (1) aplicar o modelo CAPM na determinação da rentabilidade mínima exigida pelo setor de geração de energia elétrica brasileiro no desenvolvimento de novos negócios; e (2) analisar a robustez deste modelo aos dados do mercado brasileiro.

PALAVRAS CHAVE. Custo do Capital. CAPM. Setor Elétrico Brasileiro

ABSTRACT

The relation between risk and return of financial assets has been extensively discussed through the use of the existing capital assets pricing models. In general, these models assume that the higher is the risk taken by rational investors, the higher must be the rate of return required by them. This general idea can be used both to individuals and corporations, whose intention is to maximize its shareholders profit. However, there are different ways to consider the relation between risk and return when pricing financial assets. The usual practice recommends the use of the CAPM. Thus, the main objectives of this paper are: (1) applying the CAPM in order to determine the minimum expected rate of return required by investors of the Brazilian electric power generation sector when new power plants are going to be developed, and (2) analyzing the robustness of this model when applied to the Brazilian market data.

KEYWORDS. Cost of Capital, CAPM, Brazilian Electric Power Generation Sector

1. INTRODUÇÃO

O custo do capital próprio de uma empresa pode ser definido como a taxa de retorno mínima requerida pelos seus acionistas ou donos do capital próprio. Esta taxa de desconto é determinada basicamente pelo custo de oportunidade do capital do acionista, o qual financia parte dos novos investimentos da empresa. Os acionistas apenas concordarão em deixar o seu capital com a empresa se eles tiverem a expectativa de receber através dos seus projetos um retorno igual ou superior ao que poderiam estar recebendo no mercado financeiro, pois, caso contrário, os mesmos optarão por tentar auferir os seus ganhos diretamente neste mercado.

A importância estratégica do custo de capital para as empresas que compõem as diversas indústrias da economia brasileira serviu de motivação para o desenvolvimento de um grande número de trabalhos apresentados nos meios acadêmicos e empresariais. Por exemplo, Camacho (2004) destacou a importância da determinação do custo do capital para uma indústria regulada, pois é por meio de uma taxa de retorno adequada que se torna possível manter a sustentabilidade e a expansão do serviço público. Já Reis (2006) analisou o desempenho do *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) e suas variações para estimar o retorno do mercado local de telefonia fixa no Brasil. Finalmente, Couto (2004) discutiu a metodologia empregada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para a determinação do custo de capital para as empresas de distribuição de energia elétrica no Brasil.

Em se tratando de projetos voltados para o setor elétrico brasileiro, a partir da Lei 10.848, de 15 de Março de 2004, quando um novo modelo institucional passou a vigorar no setor elétrico brasileiro, o preço de venda da energia gerada por novos empreendimentos passou a ser determinada em leilões públicos, o que acirrou ainda mais a competição entre os agentes. Tal fato fez com que uma determinação adequada do custo de capital do projeto passasse a ser fundamental para se evitar sobrecustos no preço da energia, e, conseqüente, perda de competitividade por parte dos mesmos.

Em se tratando do setor elétrico brasileiro, ainda existe uma grande expectativa com relação aos novos investimentos para a expansão da sua capacidade de geração, e para a diversificação da sua matriz energética. Embora a maior parte da energia elétrica produzida no Brasil seja proveniente da hidroeletricidade (a qual representa 71,7% da capacidade instalada nacional), o país ainda possui um grande potencial hídrico a ser explorado. Entretanto, vale observar que a maior parte dos novos projetos, de médio e grande porte, se encontram afastados dos grandes centros de consumo, o que onera o preço final da energia elétrica produzida e eleva a importância da consideração adequada dos custos envolvidos, inclusive o custo do capital do acionista.

Sendo assim, um dos objetivos deste trabalho consiste em aplicar o modelo CAPM para a determinação da rentabilidade mínima exigida pelo setor de geração de energia elétrica brasileiro no desenvolvimento de novos negócios. Dentre as suas vantagens, pode-se destacar a simplicidade metodológica do modelo, o que fez com que o mesmo passasse a ser amplamente utilizado no mundo corporativo, inclusive no setor elétrico brasileiro durante o processo de privatização das empresas de distribuição de energia elétrica ocorrida nos anos 90 (Couto, 2004).

Por outro lado, alguns trabalhos acadêmicos (vide Camacho, 2004 & Damodaran, 2002) indicam que o mercado de capitais de países emergentes não permite estimações consistentes do custo de capital, principalmente pela sua pouca liquidez, elevada concentração de poucos papéis na composição do índice de mercado, e pela insuficiência de dados históricos. Sendo assim, uma vez que dados do mercado brasileiro são utilizados neste trabalho, também se constitui como um dos seus objetivos verificar a robustez dos resultados encontrados à pequenas variações da janela de dados empregada.

Em resumo, o presente artigo se encontra organizado da seguinte forma: a seção 2 aborda os princípios básicos que permitem a construção do modelo CAPM, assim como a sua dedução matemática; a seção 3 apresentada as premissas adotadas, os desenvolvimentos realizados, e os resultados obtidos por meio da aplicação daquele modelo. Finalmente, a seção 4 traz as conclusões deste trabalho.

2. A CONSTRUÇÃO DO MODELO CAPM

Sabe-se que boa parte das decisões dos administradores financeiros tem por base a relação risco *versus* retorno, sendo considerado que as expectativas de retorno de um determinado ativo estão relacionadas ao seu nível de risco associado. Neste contexto, o modelo CAPM surge como uma opção para a determinação adequada do retorno esperado de ativos de risco, sendo que, para a construção do modelo, a medida de risco considerada é o desvio padrão da sua série de retornos.

Segundo Copeland (1992), além da consideração do desvio padrão como medida de risco, a construção do modelo CAPM parte de algumas premissas acerca do comportamento dos investidores, e do conjunto de oportunidades de investimentos disponíveis no mercado. São elas:

1. Os investidores são indivíduos com aversão ao risco, que maximizam a esperança da utilidade.¹ de sua riqueza no final de um período determinado;
2. Os investidores são tomadores de preços e possuem expectativas homogêneas.² sobre o retorno dos ativos, que têm uma distribuição conjunta de probabilidade normal;
3. Existe um ativo livre de risco de tal forma que os investidores podem aplicar ou captar recursos ilimitados à taxa de juros livre de risco;
4. A quantidade de ativos é fixa, e todos os ativos são comercializados e perfeitamente divisíveis;
5. Os mercados são racionais, as informações são gratuitas e simultaneamente disponíveis a todos os investidores; e, finalmente,
6. Não há imperfeições de mercado, tais como taxas, regulamentações ou restrições para se manter posições vendidas.

Tendo em vista o descrito anteriormente, o modelo CAPM pode ser construído considerando uma carteira **p** com **a**% do capital investido em um determinado ativo de risco **i**, e (1-a)% investido na carteira de mercado **m**, a qual contém o ativo **i** na sua formação. Desta forma, o valor esperado e o desvio-padrão da carteira **p** podem ser determinados da seguinte forma:

$$E(\tilde{R}_p) = a.E(\tilde{R}_i) + (1-a).E(\tilde{R}_m) \quad (2.1)$$

$$\sigma(\tilde{R}_p) = \left\{ E[\tilde{R}_p - E(\tilde{R}_p)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = \left[a^2\sigma_i^2 + (1-a)^2\sigma_m^2 + 2a(1-a)\sigma_{im} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

Onde σ_i^2 representa a variância dos retornos do ativo **i**, σ_m^2 representa a variância da carteira de mercado, e σ_{im} representa a covariância entre os retornos do ativo **i** e da carteira de mercado. Adicionalmente, a mudança na média e no desvio-padrão da carteira **p** devido à variação do percentual de recursos investido no ativo **i** (**a**%) pode ser determinada da seguinte forma:

$$\frac{\partial E(\tilde{R}_p)}{\partial a} = E(\tilde{R}_i) - E(\tilde{R}_m) \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial \sigma(\tilde{R}_p)}{\partial a} = \frac{1}{2} \left[a^2\sigma_i^2 + (1-a)^2\sigma_m^2 + 2a(1-a)\sigma_{im} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot [2a\sigma_i^2 - 2\sigma_m^2 + 2a\sigma_m^2 + 2\sigma_{im} - 4a\sigma_{im}] \quad (2.4)$$

Tal como mencionado anteriormente, note que a carteira **m** já contém o ativo **i** na proporção do seu valor de mercado. Sendo assim, outras carteiras podem ser formadas variando-se a proporção do ativo **i** na carteira **m**, cada qual com uma expectativa de retorno e um nível de

¹ Define-se como utilidade a medida de satisfação do consumidor ao adquirir algum produto ou exercer alguma atividade que lhe confere prazer (Baidya et. al., 2004).

² A hipótese de expectativas homogêneas diz que todos os investidores possuem as mesmas crenças em relação a retornos, variâncias e covariâncias dos ativos.

risco diferenciado da carteira de mercado original. O conjunto de oportunidades de investimento oferecido pelas várias combinações do ativo *i* e da carteira de mercado se encontra representado pela curva ImI' ilustrada na Figura 1.

Adicionalmente, note que diversas combinações de investimento também podem ser feitas a partir da combinação da carteira de mercado com o ativo livre de risco (R_f), as quais são definidas pela Linha de Mercado de Capitais (vide Figura 1). Uma vez que a carteira de mercado é considerada o conjunto mais eficiente³ de títulos com risco, a Linha de Mercado de Capitais (LMC) oferece, para um determinado nível de risco, as maiores rentabilidades esperadas.

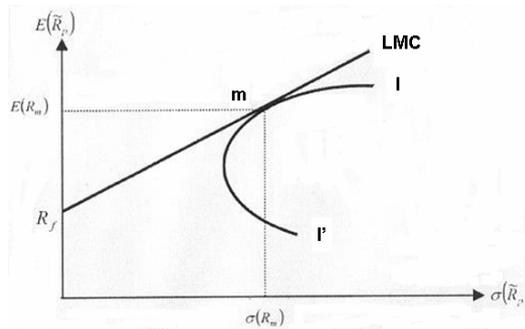


Figura 1 – Linha de Mercado de Capitais

Vale observar que na literatura de finanças o excesso de retorno por unidade de risco anteriormente mencionado é denominado Índice de Sharpe (Ross, et. al., 2009), o qual também fornece a medida da inclinação da LMC. Matematicamente o índice de Sharpe (IS) pode ser definido como:

$$IS = \frac{E(\tilde{R}_m) - R_f}{\sigma(\tilde{R}_m)} \quad (2.5)$$

Por outro lado, note que a inclinação da LMC também pode ser obtida a partir das equações 2.3 e 2.4 no caso particular em que o percentual investido no ativo *i* é igual a zero. Neste caso, as equações 2.3 e 2.4 podem ser reescritas da seguinte forma:

$$\left. \frac{\partial E(\tilde{R}_p)}{\partial a} \right|_{a=0} = E(\tilde{R}_i) - E(\tilde{R}_m) \quad (2.6)$$

$$\left. \frac{\partial \sigma(\tilde{R}_p)}{\partial a} \right|_{a=0} = \frac{1}{2} (\sigma_m^2)^{\frac{1}{2}} \cdot (-2\sigma_m^2 + 2\sigma_{im}) = \frac{\sigma_{im} - \sigma_m^2}{\sigma_m} \quad (2.7)$$

Sendo a inclinação da LMC então determinada pela equação 2.8 definida a seguir:

$$\left. \frac{\frac{\partial E(\tilde{R}_p)}{\partial a}}{\frac{\partial \sigma(\tilde{R}_p)}{\partial a}} \right|_{a=0} = \frac{E(\tilde{R}_i) - E(\tilde{R}_m)}{\frac{\sigma_{im} - \sigma_m^2}{\sigma_m}} \quad (2.8)$$

Igualando as equações 2.5 e 2.8 tem-se que:

³ Diz-se que a carteira de ativos (1) é mais eficiente do que a carteira (2) quando o excesso de retorno esperado por unidade de risco da primeira carteira for superior ao da segunda.

$$E(\tilde{R}_i) = R_f + \left[E(\tilde{R}_m) - R_f \right] \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} \quad (2.9)$$

A equação 2.9 define o modelo CAPM, segundo o qual a taxa de retorno exigida de um determinado ativo é igual à taxa de juros do ativo livre de risco acrescida de um prêmio pelo risco de mercado ao qual o ativo está exposto. Segundo a definição do modelo, o prêmio de risco deve ser precificado multiplicando-se o prêmio de risco de mercado pela sensibilidade dos retornos do ativo *i* em relação aos retornos da carteira de mercado. Tal sensibilidade é mais conhecida com o beta (β) do ativo, sendo definido conforme a equação 2.10 a seguir:

$$\beta_i = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)} \quad (2.10)$$

Uma vez que o beta de um determinado ativo representa a sensibilidade dos retornos deste ativo em relação aos retornos da carteira de mercado, pode-se concluir que o ativo livre de risco possui beta igual à zero, pois a sua covariância com a carteira de mercado é nula. Analogamente, conclui-se que a carteira de mercado possui beta igual a um, pois sua covariância consigo mesma é igual à sua variância. Sendo assim, o modelo CAPM pode ser enunciado em sua forma mais conhecida segundo a equação 2.11 a seguir:

$$E(\tilde{R}_i) = R_f + \left[E(\tilde{R}_m) - R_f \right] \beta_i \quad (2.11)$$

Finalmente, vale destacar que o retorno esperado determinado pelo modelo CAPM conduz a uma situação de equilíbrio de mercado, ou seja, não permitindo que operações de arbitragem (realização de lucros sem risco) possam vir a ocorrer (Sharpe (1964) e Lintner (1965)).

3. DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CAPITAL PARA O SETOR DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Nesta seção o modelo CAPM será empregado para a determinação da rentabilidade mínima (custo do capital) exigida pelo setor de geração de energia elétrica brasileiro no desenvolvimento de novos negócios. Para tanto, os seguintes passos devem ser seguidos: (1) determinação da janela temporal e dos ativos a serem estudados; (2) determinação do retorno médio de mercado e taxa de juros livre de risco; (3) determinação dos betas de cada ativo que representarão o setor estudado; e (4) determinação do custo do capital setorial por meio do CAPM.

3.1. Determinação da Janela Temporal e dos Ativos Analisados

A escolha das empresas para representar o setor de geração de energia elétrica brasileiro foi inicialmente baseada na representatividade das suas respectivas capacidades de produção de energia. Adicionalmente, dentre as empresas participantes deste setor, também foi adotado como critério de seleção o fato das mesmas possuírem capital aberto, ou seja, possuírem ações negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBOVESPA). A relação das empresas selecionadas assim como as suas respectivas capacidades instaladas para geração de energia elétrica se encontram descritas na Tabela 1.

Segundo informações disponíveis no *website* da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil possuía um parque gerador com 102.949 MW de capacidade instalada no ano de 2008. Isso significa que as empresas consideradas nesse trabalho representam aproximadamente 60,92% da potência instalada no país naquela ocasião, corroborando com a

representatividade da amostra utilizada⁴.

A seleção dos ativos financeiros para representar cada uma das empresas selecionadas teve como base o seu respectivo volume de negociação ao longo do período considerado, o qual foi obtido através do banco de dados do programa ECONOMÁTICA. Neste caso, sempre que encontrado mais de um ativo associado a uma determinada empresa, o ativo escolhido foi aquele que possuiu maior volume de negociação na BM&FBOVESPA. Note que a seleção dos ativos financeiros (vide Tabela 1) possui especial relevância na utilização do modelo CAPM, pois é a partir da série de retornos destes ativos que os betas individuais e o beta setorial são determinados.

Tabela 1 – Capacidade Instalada, Código dos Ativos das Empresas Selecionadas e Respetivos Volumes Negociados

EMPRESAS	PARQUE GERADOR (MW)	CÓDIGO DOS ATIVOS	VOLUME NEGOCIADO (R\$ milhões)
AES TIETÊ	2.645	GETI4	4.913,11
CEMIG	6.782	CMIG4	66.341,48
CESP	7.455	CESP5	3.183,14
COPEL	4.544	CPLE3	2.456,71
ELETRORBRAS	40.359	ELET6	47.555,33
EMAE	935	EMAE4	458,29
TOTAL	62.720	-	124.908,06

Por outro lado, o critério de escolha da janela de dados a ser considerada foi baseado tanto na extensão das séries de preços observadas como na liquidez dos ativos selecionados. Sendo assim, o período escolhido foi de Janeiro de 2000 a Março de 2009. Por exemplo, para a determinação desta janela de dados, as séries de preços dos ativos EMAE4 e GETI4 foram determinantes, uma vez que as suas séries de preços tiveram início em 03/1998 e 07/1999 respectivamente.

Finalmente, segundo Ross (2009), a janela de dados tem grande importância na utilização do modelo CAPM, uma vez que a precisão do estimador do beta é questionável quando poucas observações são utilizadas. Por outro lado, como as empresas podem mudar de setor com o passar do tempo, as informações do passado distante costumam ficar desatualizadas. Copeland & Weston (1992), consideram que o período mínimo de 5 anos é necessário para que se atenda aos pressupostos teóricos do cálculo do beta. Neste sentido, considera-se que a janela de dados adotada neste trabalho é adequada com os seus fins.

3.2. Determinação do Retorno Médio de Mercado e da Taxa de Juros Livre de Risco

Neste trabalho utilizou-se o Índice Bovespa (IBOVESPA) como *proxy* do mercado brasileiro. Tal escolha se justifica uma vez que o IBOVESPA retrata o comportamento médio dos papéis mais negociados na BM&FBOVESPA (por exemplo, de Janeiro a Abril de 2011, o índice foi composto por 69 papéis), caracterizando-se como o mais importante indicador de desempenho do mercado acionário nacional.

Segundo os dados disponibilizados pela própria BM&FBOVESPA (<http://www.bmfbovespa.com.br>), o índice Bovespa apurou uma rentabilidade média nominal igual a 9,89% ao ano, considerando o período de Janeiro de 2000 a Março de 2009. Em termos reais, ou seja, expurgando-se o efeito da inflação acumulada do período, a rentabilidade média apurada foi igual a 2,86% ao ano, tendo em vista que a inflação média para o período, medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), foi de 6,80% ao ano (vide

⁴ Uma vez que a série de preços de ativos da Tractebel Energia, DUKE Energy, entre outras empresas consideradas representativas do setor de geração de energia elétrica do Brasil não foram disponibilizadas pelo programa ECONOMÁTICA, as mesmas não foram utilizadas neste trabalho.

<http://www.portalbrasil.net/ipca>).

Analisando a equação 3.11, observa-se que o prêmio de risco de mercado empregado pelo modelo CAPM é obtido pela diferença entre o retorno médio do mercado e a rentabilidade do ativo livre de risco, cuja estimativa também se faz necessária. Sendo assim, seguindo a linha dos trabalhos de Oliveira & Salles (2006) e Silva et. al. (2004), utilizou-se neste trabalho a rentabilidade dos Certificados de Depósito Interbancário (CDI) como *proxy* da taxa de juros livre de risco no Brasil.

A rentabilidade nominal apurada para o CDI no ano de 2008 (último ano da janela de dados utilizada) foi de 12,38% ao ano (vide http://www.portalbrasil.net/indices_cdi). Uma vez que neste período a inflação apurada pelo IPCA foi igual a 5,90% (vide <http://www.portalbrasil.net/ipca>), tem-se que a rentabilidade real do ativo livre de risco no Brasil foi de 6,12% ao ano.

Note que os dados obtidos nesta seção levam a um prêmio de risco de mercado negativo, uma vez que o retorno médio do mercado (2,86% a.a.) é inferior à taxa de juros livre de risco (6,12% a.a.). Quando substituídos na equação 3.11, estes valores levam a um retorno esperado do ativo ($E(R_i)$) inferior à renda fixa, independente do coeficiente beta deste ativo.

Tal como dito anteriormente na seção 2, as expectativas de retorno de um determinado ativo estão relacionadas ao seu nível de risco associado, isto é, quanto mais arriscado o ativo no qual se investe, maior deve ser o retorno esperado deste ativo para que o investimento se justifique do ponto de vista financeiro. Sendo assim, níveis de rentabilidade inferiores à taxa de juros livre de risco não podem ser considerados adequados em se tratando de investimentos em ativos arriscados, tal como os ativos do setor de geração de energia elétrica no Brasil.

Sendo assim, optou-se neste trabalho por realizar uma análise de sensibilidade sobre o valor do retorno médio de mercado. Para tanto, a janela de dados utilizada no estudo foi sendo reduzida de tal forma que novos valores para o retorno médio de mercado pudessem ser obtidos. A Tabela 2 resume estes resultados.

Tabela 2 - Análise de Sensibilidade do Retorno Médio de Mercado

PERÍODO DE ESTUDO	RETORNO MÉDIO DE MERCADO
Janeiro de 2000 - Março de 2009	2,86%
Janeiro de 2001 - Março de 2009	5,38%
Janeiro de 2002 - Março de 2009	8,96%
Janeiro de 2003 - Março de 2009	15,98%
Janeiro de 2004 - Março de 2009	6,61%

Os valores apresentados na Tabela 2 já se encontram em termos reais, ou seja, descontados da inflação do período. Note que, a partir de Janeiro de 2002, o prêmio pago pelo risco de mercado passa a ser positivo, pois o retorno médio do mercado supera a rentabilidade da taxa de juros livre de risco.

Finalmente, vale destacar de desde o ano 2000, pelo menos dois eventos impactaram de forma relevante tanto a conjuntura econômica quanto o setor elétrico brasileiro: (1) o racionamento de energia ocorrido em 2001, e (2) a crise econômica mundial ocorrida em 2008. Para a janela de dados estudada, o baixo desempenho do mercado brasileiro nestes períodos é suficiente para justificar valores negativos observados para o prêmio de risco de mercado.

3.3. Determinação do Beta Setorial

Tal como definido na seção 2, sabe-se que o beta de um determinado ativo representa a sensibilidade dos seus retornos com relação às variações na rentabilidade da carteira de mercado. Estatisticamente, o beta é igual à covariância entre os retornos do ativo e os retornos da carteira de mercado, dividida pela variância dos retornos da carteira de mercado, tal como descrito pela equação 2.10.

$$\beta_i = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)}$$

Segundo Samanez (2007), uma forma de se estimar este parâmetro é a partir de dados históricos, considerando assim que betas passados contêm informações a respeito dos betas futuros dos ativos financeiros. Supondo que o beta não varie ao longo do tempo, é possível estimá-lo relacionando linearmente os retornos históricos do ativo considerado com os retornos do índice de mercado. Neste caso, tal relação pode ser estabelecida regredindo linearmente as séries de retornos anteriormente mencionadas. Matematicamente, o valor do beta seria obtido por meio da seguinte equação (Steverson, 2001):

$$\beta_i = \frac{n \sum (R_{m,t} \cdot R_{i,t}) - (\sum R_{m,t}) \cdot (\sum R_{i,t})}{n \sum R_{m,t}^2 - (\sum R_{m,t})^2} \quad (3.1)$$

Onde β_i representa o coeficiente beta do ativo i , $R_{m,t}$ representa o retorno do mercado no instante t , $R_{i,t}$ representa o retorno do ativo i no instante t , e n representa os números de observações da série de retornos utilizada. Vale observar que neste trabalho foram utilizadas séries diárias de retorno, sendo as mesmas devidamente deflacionadas e livres de proventos.

Considerando as mesmas janelas de dados empregadas para o cálculo do retorno médio de mercado, os betas obtidos para cada ativo estudado foram os seguintes:

Tabela 3 – Betas Individuais dos Ativos Selecionados

ATIVO	2000 a 2009	2001 a 2009	2002 a 2009	2003 a 2009	2004 a 2009
ELET6	1,0226	1,0309	1,0143	0,9769	0,9214
CPL3	0,7104	0,7179	0,7067	0,6819	0,6600
EMAE4	0,4766	0,4583	0,3962	0,3864	0,3570
CESP5	1,0962	1,1032	1,0680	1,0359	0,9826
CMIG4	0,8801	0,8735	0,8652	0,8175	0,7825
GETI4	0,3627	0,3423	0,3448	0,3654	0,3734

Analisando os valores apresentados na Tabela 3, nota-se que os ativos ELET6 e CESP5 são os que apresentam maior sensibilidade dos seus retornos com relação aos retornos da carteira de mercado. Por exemplo, para a janela de 2004 a 2009, o ativo ELET6 possui beta igual a 0.9214, o que significa que quando a carteira de mercado apresenta retornos da ordem de 10%, espera-se que o retorno deste ativo apresente uma tendência de alta igual a 9,214% (Samanez, 2007).

Uma vez que um dos objetivos deste trabalho é determinar o custo de oportunidade do capital do setor de geração de energia elétrica brasileiro, faz-se necessário a determinação do beta setorial. Segundo Damodaram (2002), uma vez determinados os betas individuais de cada ativo que representam o setor, a obtenção do beta setorial consiste em: (a) desalavancar os betas individuais a partir da estrutura de capital das empresas e suas respectivas alíquotas de impostos; (b) realavancar os betas individuais pela estrutura média de capital do setor estudado; e, (c) calcular a média dos betas realavancados.

Para desalavancar os betas individuais, o primeiro passo consiste em determinar a estrutura de capital de cada empresa considerada na análise. Seguindo a mesma linha do exposto por Rocha (2009), a estrutura de capital de cada empresa foi determinada a partir da média de endividamento das mesmas nos últimos três anos do período analisado. Para tanto, o percentual de capital próprio de cada empresa foi obtido a partir da relação entre o patrimônio líquido e o passivo total das empresas, tal como descrito na Tabela 4. Raciocínio análogo é válido para a determinação do percentual de dívida de cada empresa.

Tabela 4 – Patrimônio Líquido, Passivo Total e Estrutura de Capital das Empresas Analisadas

EMPRESAS	Passivo Total (R\$ milhões)			Patrimônio Líquido (R\$ milhões)			Capital Próprio (%)	Capital de Terceiros (%)
	2006	2007	2008	2006	2007	2008		
ELETROBRÁS	122,65	121,93	138,05	77,84	79,96	85,62	63,69	36,31
COPEL	11,99	12,47	13,25	6,38	7,24	8,05	57,32	42,68
EMAE	0,97	0,91	1,14	0,75	0,67	0,83	74,61	25,39
CESP	19,67	19,65	17,06	10,15	10,33	7,90	50,15	49,85
CEMIG	23,21	24,16	24,34	7,52	8,42	9,35	35,23	64,77
AES TIETÊ	2,39	2,50	2,51	0,48	0,50	0,50	19,94	80,06
MÉDIA	-	-	-	-	-	-	50,16	49,84

Uma vez determinada a estrutura de capital de cada empresa, é possível desalavancar os betas individuais originalmente obtidos por meio da seguinte equação:

$$\beta_0 = \left(\frac{\beta}{1 + (1 - T) \frac{D}{CP}} \right) \quad (3.2)$$

Onde β_0 representa o beta desalavancado, β representa o beta alavancado, D representa o percentual de dívida da empresa, CP o percentual de capital próprio da empresa, e T representa a alíquota do imposto de renda, neste trabalho igual a 34%. Seguindo o descrito por Damodaran (2002), os betas desalavancados obtidos pela aplicação da equação 3.2 devem ser realavancados pela estrutura média de capital do setor. Os resultados obtidos são então apresentados na Tabela 5. Vale ressaltar que a estrutura média de capital do setor estudado é composta por 50% de capital próprio e 50% de capital de terceiros, tal como foi demonstrado na Tabela 4.

Tabela 5 - Betas Individuais Realavancados pela Estrutura Média de Capital Setorial

EMPRESAS	2000 a 2009	2001 a 2009	2002 a 2009	2003 a 2009	2004 a 2009
ELETROBRÁS	1,0169	1,0252	1,2663	1,2196	1,1503
COPEL	0,5903	0,5965	0,7866	0,7590	0,7346
EMAE	0,5434	0,5225	0,5371	0,5238	0,4839
CESP	0,7803	0,7853	1,0705	1,0384	0,9849
CEMIG	0,4221	0,4189	0,6492	0,6134	0,5871
AES TIETÊ	0,0944	0,0891	0,1568	0,1662	0,1698

Finalmente, o último passo descrito por Damodaran (2002) consiste em determinar o beta setorial a partir da média dos betas individuais realavancados. Para tanto, os autores consideraram que o beta setorial médio seria melhor estimado ponderando os betas individuais pelos respectivos volumes de negociação do ativo, tal como sugerido por Silva et. al. (2004). Sendo assim, o beta setorial foi estimado por meio da seguinte equação:

$$\beta_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\beta_i, VN_i)}{\sum_{i=1}^n VN_i} \quad (3.3)$$

Onde β_s representa o beta setorial, β_i representa o beta individual realavancado do ativo i, e VN representa o volume de negociação do ativo ao longo do período considerado (vide Tabela 1). Os valores encontrados para representar o beta setorial em cada janela temporal

considerada no estudo são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Estimativa do Beta para o Setor de Geração de Energia Elétrica no Brasil

PERÍODO DE ESTUDO	BETA SETORIAL
Janeiro de 2000 - Março de 2009	0,6522
Janeiro de 2001 - Março de 2009	0,6501
Janeiro de 2002 - Março de 2009	0,8729
Janeiro de 2003 - Março de 2009	0,8293
Janeiro de 2004 - Março de 2009	0,7826

A partir destes resultados, nota-se que, dependendo do período de estudo considerado, o valor do beta setorial varia de 0,6501 a 0,8793, representando uma diferença igual a aproximadamente 35%. Adicionalmente, vale lembrar que os valores encontrados representam a sensibilidade dos retornos do setor de geração de energia elétrica (representado pelas empresas selecionadas) em relação aos retornos da carteira de mercado.

3.4. Determinação do Custo do Capital do Setor de Geração de Energia Elétrica no Brasil

Uma vez que o retorno médio do mercado, a taxa de juros livre de risco e o beta setorial foram devidamente determinados, a rentabilidade mínima exigida (ou custo do capital) para o desenvolvimento de novos negócios, pelas empresas que representam o setor de geração de energia elétrica brasileiro, pode ser determinada pela equação 2.11, tal como mostrada a seguir:

$$E(\tilde{R}_i) = R_f + [E(\tilde{R}_m) - R_f] \beta_i$$

Os resultados obtidos se encontram apresentados nas Tabelas 7.

Tabela 7 – Custo do Capital Setorial (%a.a.)

MODELO CAPM	2000 a 2009	2001 a 2009	2002 a 2009	2003 a 2009	2004 a 2009
Renda Fixa (R_f)	6,12%	6,12%	6,12%	6,12%	6,12%
Retorno Médio do Mercado ($E[R_m]$)	2,86%	5,38%	8,96%	15,98%	6,61%
Prêmio de Risco de Mercado	-3,26%	-0,74%	2,84%	9,86%	0,49%
Beta Setorial (β)	0,9133	0,9138	0,9010	0,8585	0,8150
Custo do Capital Setorial ($E[R_i]$)	3,14%	5,44%	8,68%	14,58%	6,52%

OBS: Todas as taxas de juros são expressas em base anual.

Analisando os resultados da Tabela 7, nota-se que o custo de capital determinado considerando as janelas de 2000 a 2009 e 2001 a 2009 foi inferior à rentabilidade do ativo livre de risco. Tal como descrito na seção 3.2, isto ocorre devido aos prêmios de risco de mercado associados à estas janelas serem negativos, os quais não podem ser considerados adequados para a precificação de ativos de risco. Adicionalmente, uma vez que as demais janelas consideradas apresentaram um prêmio de risco de mercado positivo, o custo do capital determinado por meio do CAPM se mostrou superior à renda fixa, tendo o seu valor variado entre 6,52% e 14,58% ao ano, o que preserva a intuição financeira do modelo.

Finalmente, mesmo para as janelas nas quais o custo de capital obtido foi superior à renda fixa, não é possível observar uma tendência ou estabilidade do seu valor, o que deixa dúvidas a respeito de qual é o valor adequado para o custo de capital do setor de geração de energia elétrica brasileiro, assim como também deixa dúvidas a respeito da robustez das estimativas realizadas.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo aplicar o modelo CAPM para a determinação da rentabilidade mínima (ou custo do capital) exigida pelo setor de geração de energia elétrica brasileiro no desenvolvimento de novos negócios, além de verificar a robustez dos resultados encontrados a partir de dados do mercado de capitais brasileiro.

Para tanto, considerou-se a rentabilidade do CDI como *proxy* para a rentabilidade dos ativos livre de risco no Brasil, e o Índice Bovespa como *proxy* do mercado brasileiro. As empresas, e os respectivos ativos financeiros selecionados para representar o setor de geração de energia elétrica nacional foram: Eletrobras (ELET6), Cemig (CMIG4), Cesp (CESP5), Copel (CPLE3), AES TIETE (GETI4) e EMAE (EMAE4). Ao final do período de estudo considerado neste trabalho, estas empresas representavam aproximadamente 61% da potência instalada do parque gerador nacional.

Tendo em vista a extensão da série histórica de preços dos ativos anteriormente mencionados, o período inicial escolhido para as análises foi de Janeiro de 2000 a Março de 2009. Para este período, o custo do capital determinado pelo modelo CAPM foi de 3,14% ao ano, ou seja, inferior à rentabilidade do ativo livre de risco, a qual foi estimada em 6,12% ao ano. Conclui-se que tal valor para o custo de capital não pode ser considerado adequado para a precificação de ativos de risco, pois vai de encontro tanto do princípio que leva os investidores racionais a investirem em ativos de risco, qual seja, investimentos mais arriscados só serão realizados se forem associados a maiores expectativas de retorno, quanto à prática atual do setor de geração de energia nacional, o qual teve 17.160 MW leiloados no ano de 2010.

Sendo assim, optou-se neste trabalho por reduzir a janela de dados utilizada no estudo, determinando-se os valores do custo de capital associado. Variando-se o início da janela de dados desde 2001 até 2004, os valores encontrados para o custo de capital do setor foram respectivamente 5,44%, 8,68%, 14,58% e 6,52% ao ano, o que leva a conclusão de que somente para as janelas com início após o ano de 2002 inclusive, o custo de capital estimado supera a rentabilidade dos ativos livre de risco. Adicionalmente, não é possível observar uma tendência ou estabilidade para os valores determinados, o que leva à conclusão de que os resultados do modelo CAPM podem ser bastante suscetíveis a pequenas variações na janela de dados do mercado de capitais brasileiro.

Segundo Camacho (2004) e Damodaran (2002), é possível que não se obtenha estimativas consistentes do custo de capital a partir de mercados de capitais de países emergentes, uma vez que em geral existe pouca liquidez, elevada concentração de poucos papéis na composição do índice de mercado, e insuficiência de dados históricos. Sendo assim, uma vez que dados do mercado brasileiro são utilizados neste trabalho, sugere-se como aprimoramentos do mesmo, a aplicação do modelo CAPM a mercados de capitais considerados mais maduros, tal como o mercado norte-americano, além da utilização de outros modelos de precificação de ativos de risco aos dados do mercado brasileiro empregados neste trabalho, afim de que se possa obter conclusões mais gerais a respeito da natureza dos resultados aqui encontrados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Informações Técnicas. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>.

Baidya, T.K.N.; Aiube, F.A.L.; Mendes, M.R.C. Introdução à Microeconomia, ed. Papel Virtual, 2004.

BM&FBOVESPA. Mercado de Ações. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br>>.

BRASIL. Lei 10.848, de 15 de Março de 2004.

Camacho, F. Custo de Capital de Indústrias Reguladas no Brasil. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v.11, n.21, p. 139-164, jun. 2004.

- Copeland, T. E. & Weston, F.J.**, Financial theory and corporate policy. 3. ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1992.
- Couto, S.** Determinação do Custo do Capital para Empresas de Distribuição de Energia no Brasil. Rio de Janeiro, 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Departamento de Engenharia Industrial: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004.
- Damodaram, A.** Avaliação de Investimentos para Determinação de qualquer ativo. São Paulo: Editora Qualitymark, 2002.
- Lintner, J.** The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets, *Review of Economics and Statistics*, (47), pp. 13-37. 1965.
- Oliveira, L. F.; Salles, A.A.** Considerações para Determinação do Custo de Capital do Setor Elétrico: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, CE, Outubro de 2006.
- Rocha, R.** Cálculo do Custo Médio Ponderado de Capital para o Segmento de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil através de dados da Economia Brasileira. Rio de Janeiro, 2009. 90 p. (Mestrado em Administração) - Departamento de Administração: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Samanez, C.P.** Gestão de Investimentos e Geração de Valor. São Paulo: Prentice Hall, 2007.
- Silva, C.; Steola, F.; Gonçalves, Jr.; Pamplona, O.** Ponderação do Custo do Capital Próprio para o Setor Elétrico Brasileiro. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004. Florianópolis-SC.
- Sharpe, F.** Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*. v.19, n.3, 1964.
- Software Economática** – Tools for investment analysis. Acesso em 16/05/2009.
- Steverson, W.J.** Estatística Aplicada à Administração, Ed. Harbra, 2001.
- Reis, C.** Generalização do CAPM Aplicada ao Cálculo do Custo do Capital do Setor de Telefonia Fixa no Brasil. São Paulo, 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas): Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- Ross, S. A. & Westerfield, R. & Jaffe, J. F.** Administração Financeira, Editora Atlas, 2ª edição. 2009.