



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GCR/08
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – VI

GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA - GCR

IMPACTOS DOS RISCOS SISTEMÁTICOS E NÃO SISTEMÁTICOS NA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE PROJETOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Alexia de F. Rodrigues¹ Fabio R. S. Batista^{1,2} Luiz G. B. Marzano¹ Albert C. G. Melo^{1,3}

¹ CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

² DEI/PUC-Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

³ UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro

RESUMO

Nas análises de viabilidade econômica de projetos, dois tipos de risco devem ser devidamente considerados, os riscos próprios (ou não sistemáticos), e os riscos de mercado (ou sistemáticos). Os riscos não sistemáticos consistem nos riscos específicos do projeto, enquanto os riscos sistemáticos são aqueles que influenciam a economia como um todo, e, conseqüentemente, a viabilidade de investimentos ligados a diversas indústrias. Este trabalho se propõe a verificar o impacto dos fatores de risco de mercado, aqui representado pela aleatoriedade da taxa de câmbio, na análise de viabilidade de um empreendimento eólico desenvolvido no Brasil. Para tanto, considerou-se que os movimentos da taxa de câmbio podem ser modelados por um Movimento de Reversão à Média.

PALAVRAS-CHAVE

Empreendimento Eólico, Risco próprio, Risco de mercado, Movimento de Reversão à Média, Ambiente de Contratação Livre

1.0 - introdução

No atual modelo do setor elétrico brasileiro existem três ambientes onde as relações comerciais se estabelecem: o Ambiente de Contratação Regulada – ACR, o Ambiente de Contratação Livre – ACL e o Mercado de Curto Prazo. No ACR ocorrem os leilões de compra de energia elétrica onde são estabelecidos contratos com regulação específica para aspectos como preço, vigência e volume de suprimento. O ACL é um ambiente no qual o consumidor pode comprar energia diretamente dos geradores e comercializadores, nesse caso os contratos são feitos livremente entre compradores e vendedores. Os contratos celebrados no mercado, tanto no ACR quanto no ACL, devem ser registrados na CCEE, que é o órgão responsável pela medição dos montantes efetivamente produzidos. As diferenças apuradas devem ser contabilizadas e liquidadas no MCP, valorada ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2013-2023 [1], a expansão da potência instalada agregará 71 GW ao Sistema Interligado Nacional, representando um acréscimo de 57% na oferta de eletricidade, partindo de aproximadamente 125 GW em 2013 para cerca de 196 GW em 2023. Tal expansão requer investimentos da ordem de R\$ 220 bilhões. Parte destes investimentos refere-se às usinas já autorizadas, entre elas, as usinas contratadas nos leilões de energia nova no ACR. No entanto, o montante a investir em usinas novas, ou seja, usinas ainda não contratadas ou planejadas, é da ordem de R\$ 143 bilhões, sendo 40% em hidroelétricas, 49% em outras fontes renováveis (PCH, biomassa, eólica e solar) e 11% em termoeletricas.

Esse montante de investimento em novas usinas refere-se, em grande parte, às relações comerciais estabelecidas no ACR, através dos leilões de energia elétrica. No 20º Leilão de Energia Nova A-5, realizado em novembro de 2014, foram habilitados 577 projetos de fonte eólica, somando uma oferta de energia de 14.155 MW. Deste total,

(*) Av. Horácio Macedo, n° 354 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – Rio de Janeiro – RJ – Brasil – CEP 22941-911 Tel: (+55 21) 2598-6011 – Fax: (+55 21) 2598-6482 – Email: alexia@cepel.br

cabe registrar que apenas 36 projetos foram contratados, somando um total de 925,95 MW de potência. No mesmo ano, considerando apenas os de fonte eólica, o Leilão A-3 teve 248 projetos habilitados (6159 MW), dos quais, apenas 21 foram vencedores que realizaram contratos de energia. Esses números indicam que existe, neste momento, uma sobre oferta de projetos potencialmente viáveis do ponto de vista econômico-financeiro, e que podem ser desenvolvidos não apenas no ACR, mas também no ACL.

De acordo com Costa [2] um dos principais condicionantes para a viabilização de parques eólicos voltados para o mercado livre é o financiamento. O financiador natural dos projetos eólicos no Brasil é o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), entretanto, as regras exigidas pelo mesmo limitam os investimentos na construção de parques com venda exclusiva no mercado livre, pois exigem, entre outros, a existência do lastro do contrato que comprove geração de caixa previsível durante o prazo do financiamento. Sendo assim, uma das opções para os projetos que não conseguem ter acesso às linhas de crédito do BNDES, seria a captação de recursos junto a outras instituições financeiras nacionais e/ou internacionais.

Apesar da atuação predominante do BNDES no financiamento de projetos de geração de energia elétrica, operações de crédito junto a instituições financeiras internacionais também são observadas no Brasil. Por exemplo, recentemente o complexo eólico de Cerro Chato teve aproximadamente 80% do seu custo financiado, em euros, pelo banco alemão KfW Bankengruppe. Para o investidor, além de uma oportunidade, tais operações também representam um fator de risco adicional, que deve ser levado em consideração nas análises de viabilidade do projeto. Nestes casos, além dos riscos próprios, geralmente relacionados às indisponibilidades não programadas e ao risco de falta de combustível (água, vento, gás, etc) nos parques geradores, os riscos de mercado, relacionados a questões macroeconômicas, tais como PIB, inflação, taxa de juros e taxa de câmbio, também ganham relevância nas análises de viabilidade, e devem ser devidamente considerados.

Neste contexto, com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão de investimentos realizados à luz das regras atualmente vigentes no setor elétrico brasileiro, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) tem desenvolvido o sistema computacional ANAFIN. Este modelo representa, de forma mais sofisticada, os riscos próprios (não sistemáticos) associados ao projeto. Entretanto, tal como descrito anteriormente, é possível que os riscos de mercado (ou sistemáticos) também tenham impacto significativo na sua viabilidade econômico-financeira, justificando a importância da sua consideração.

Sendo assim, destaca-se como principal objetivo deste trabalho avaliar o impacto de fatores de risco de mercado na análise de viabilidade econômico-financeira de um empreendimento de geração de energia elétrica desenvolvido no Brasil. As análises realizadas consideraram o desenvolvimento de um parque eólico, integralmente contratado no ACL, e parcialmente financiado em moeda estrangeira. Neste caso, o risco de mercado se encontra representado pela aleatoriedade da taxa de câmbio, cujos movimentos foram modelados por um Movimento de Reversão à Média. Adicionalmente, o risco próprio será representado pela aleatoriedade das séries de velocidade dos ventos. Resultados determinísticos, resultados probabilísticos associados apenas ao risco de mercado, e resultados probabilísticos associados à consideração conjunta dos fatores de risco próprio e de mercado, serão objeto de análise e comparação.

2.0 - Geração de cenários para a taxa de câmbio

Tal como descrito na seção 1, parâmetros macroeconômicos como os índices de inflação, taxas de juros, taxas de câmbio são usualmente considerados significativos para a avaliação do impacto que os fatores de mercado possuem na viabilidade de um projeto de geração de energia elétrica. Com relação à variação cambial, fator de risco específico considerado neste trabalho, a mesma se torna relevante na análise de projetos que possuem a sua estrutura de capital composta por diferentes moedas. Neste caso, a consideração do risco cambial nas análises de viabilidade econômico-financeira passa, obrigatoriamente, pela geração de cenários futuros que representem possibilidades para a evolução da taxa de câmbio no país em que o projeto é desenvolvido.

Dentre os principais modelos atualmente empregados para a geração de cenários, tanto de taxa de câmbio, quanto de outras variáveis macroeconômicas, destacam-se duas categorias: os modelos de séries temporais da família Box-Jenkins, e os processos estocásticos usualmente utilizados na precificação de derivativos financeiros, tais como o Movimento Geométrico Browniano (MGB) e o Movimento de Reversão à Média (MRM).

No que tange aos modelos de séries temporais, Maceira [3] verificou a possibilidade de se obter cenários futuros de taxa de câmbio e de taxa de juros utilizando os modelos Box-Jenkins, confirmando a sua adequação para a modelagem das variáveis consideradas. Adicionalmente, Bonno [4] comparou os modelos estruturais (filtro de Kalman) e o modelo SARIMA para a previsão da inflação, concluindo que o modelo SARIMA se mostrou superior para o período e horizonte considerados. Muta e Figueiredo [5] também utilizaram o modelo SARIMA para a previsão da inflação, atestando a adequabilidade do modelo para tal fim.

Com relação à utilização de processos estocásticos, tais como o MGB e o MRM, destaca-se o trabalho da Comissão do Mercado de Valores Mobiliários [6], o qual avalia a probabilidade de ganhos e/ou perdas de produtos financeiros complexos, associada a diferentes cenários de inflação e taxa de juros. Neste caso, para projetar

cenários de inflação, o autor utiliza o modelo de reversão à média, uma vez que este modelo seria mais adequado do que o MGB, pois reverte para um valor de equilíbrio de longo prazo. Ainda de acordo com o referido trabalho, a reversão à média seria a característica que melhor representa variáveis como a taxa de juros, a inflação e a taxa de câmbio. Já em Gomides [7], o autor utiliza o MGB para gerar cenários de inflação, e o MRM para gerar cenários da taxa de juros de curto prazo. Cabe destacar que neste trabalho a geração de cenários é feita considerando as correlações entre as diferentes variáveis.

Finalmente, considerando as análises realizadas nos trabalhos descritos anteriormente, a adequação de cada modelo para a representação das oscilações da taxa de câmbio, assim como a simplicidade de cada modelo na sua utilização, optou-se por utilizar o movimento de reversão à média para as análises deste trabalho. Em particular, o processo adotado é aquele descrito por Dixit & Pindyck [8].

2.1 Movimento de Reversão à Média (MRM)

O MRM aritmético, ou processo de Ornstein-Uhlenbeck [8], pode ser definido segundo a seguinte equação:

$$dx = \eta(\bar{x} - x)dt + \sigma dz \quad (1)$$

onde η representa a velocidade da reversão à média da variável aleatória x , \bar{x} representa o nível de equilíbrio ou média de longo prazo de x , σ representa a sua volatilidade, dt representa um incremento temporal, e dz representa o incremento de Wiener, onde $dz = \epsilon\sqrt{dt}$, e $\epsilon \sim N(0,1)$.

A ideia por trás deste processo estocástico é que, se o preço do produto estiver muito abaixo da média de longo prazo, os agentes do mercado deixarão de produzir/negociar este produto, fazendo com que o seu preço suba devido à queda da oferta total. Por outro lado, caso o preço esteja muito acima da média, os agentes deste mercado tenderão a elevar a produção/negociação daquele produto, fazendo com que o seu preço caia devido à sobreoferta do mesmo. Neste trabalho, seguindo o sugerido em [6], utilizou-se a equação (1) para representar os movimentos da taxa de câmbio do Real frente ao Dólar no mercado brasileiro.

Segundo Dias (vide <http://marcoagd.usuarios.rdc.puc-rio.br/>), a equação para a simulação da variável x , que segue o processo estocástico descrito pela equação (1), pode ser escrita como:

$$x_t = x_1(t-1)e^{(-\eta\Delta t)} + \bar{x}(1 - e^{(-\eta\Delta t)}) + \sigma\sqrt{((1 - \exp(-2\eta\Delta t))/2)}\eta * N(0,1) \quad (2)$$

onde x_t representa a realização da variável x em um instante t qualquer.

Uma vez conhecidos os parâmetros η , \bar{x} e σ , é possível utilizar a equação (2) para simular diversos cenários de evolução temporal para a taxa de câmbio. Tais parâmetros podem ser estimados com base em dados históricos da variável em questão. Por exemplo, neste trabalho foi utilizada a série histórica mensal da taxa de câmbio do Real frente ao Dólar, desde Janeiro de 1999 até Dezembro de 2014. Segundo Dixit & Pindyck [8], os parâmetros η , \bar{x} e σ podem ser estimados por meio da regressão da seguinte equação:

$$x_t - x_{t-1} = \bar{x}(1 - e^{-\eta}) + (e^{-\eta} - 1)x_{t-1} + \epsilon_t \quad (3)$$

Assim, a partir dos coeficientes a e b obtidos na regressão dados históricos contra a equação (3), os parâmetros η , \bar{x} e σ podem ser estimados da seguinte forma:

$$\eta = -\ln(b+1) \quad (4); \quad \bar{x} = -\frac{a}{b} \quad (5); \quad \sigma = \sigma_\epsilon * \sqrt{\frac{\ln(1+b)}{(1+b)^2 - 1}} \quad (6)$$

onde σ_ϵ representa o erro padrão da regressão.

3.0 - Abordagem Metodológica Proposta

Neste trabalho, a abordagem metodológica proposta tem como principal característica a união de conceitos e metodologias, conhecidos e aplicados na literatura, em uma abordagem capaz de estimar os indicadores de viabilidade do projeto considerando tanto o risco próprio quanto o risco de mercado a que ele está exposto. A Figura 2 ilustra a abordagem metodológica proposta.

Uma vez conhecidos os dados gerais do projeto, ou seja, as características técnicas e econômicas da usina de geração eólica, o primeiro passo consiste em decidir o tipo de análise de investimento a ser realizada. Na análise

determinística apenas um cenário de fluxo de caixa é projetado, e, consequentemente, existe apenas um valor de VPL e TIR associados.

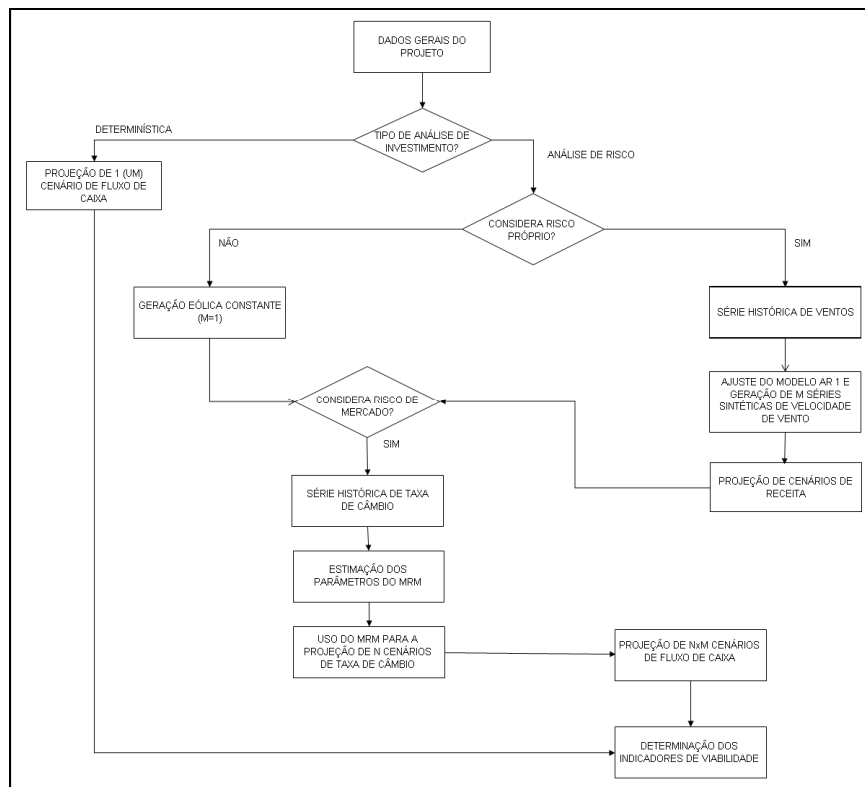


FIGURA 2 – Fluxograma da Abordagem Metodológica

Caso a opção seja pela análise de risco, o passo seguinte será decidir se apenas o risco de mercado será considerado, ou se serão considerados os riscos próprio e de mercado. A não consideração do risco próprio implica na utilização de apenas um cenário de geração de energia pela usina, e a análise de risco irá refletir apenas o risco de mercado.

O primeiro passo na consideração do risco de mercado consiste na estimação dos parâmetros do movimento de reversão à média com base na série histórica da taxa de câmbio, tal como descrito na sessão 2.1. A partir destes parâmetros serão simulados 1.000 cenários de taxas de câmbio por meio da equação (2). De posse dessas informações serão projetados 1.000 cenários de fluxo de caixa, todos obtidos com base em apenas um cenário de geração, o que leva a uma distribuição de 1.000 valores de VPL e TIR.

Por fim, caso a opção seja considerar de forma conjunta o risco próprio e o risco de mercado do projeto, as análises serão realizadas considerando 1.000 séries sintéticas de velocidades de vento e 100 cenários de taxa de câmbio. Neste trabalho, foram utilizados os mesmos cenários de velocidade de vento gerados por Batista [9], quando um modelo auto-regressivo de ordem 1 foi ajustado à série de velocidades médias mensais do município de Triunfo, estado de Pernambuco. Tal como descrito em Batista [9], a equação encontrada para a simulação das velocidades de vento foi:

$$y_t = 0,5304y_{t-1} + \epsilon_t \quad (7)$$

onde y_t representa a velocidade média mensal padronizada no mês t , e ϵ_t representa uma variável aleatória com realizações independentes e identicamente distribuídas tal que $\epsilon_t \sim N(-0,017, 0,692)$.

De posse das séries de vento e dos cenários de taxas de câmbio, gerados de forma independente, são projetados os cenários de fluxo de caixa para o projeto através da combinação dos cenários de velocidade de vento com os cenários de taxa de câmbio. Por exemplo, para o caso em que são considerados 1000 cenários de velocidade de vento e 100 cenários de taxa de câmbio, tem-se 100.000 diferentes cenários de fluxo de caixa, VPL e TIR para o projeto.

Finalmente, é importante ressaltar que, neste trabalho, todas as análises descritas anteriormente são realizadas utilizando-se o sistema computacional ANAFIN [9].

4.0 - estudo de caso

Considera-se um parque gerador de energia eólica cuja potência total agregará 402 MW ao sistema, contratando a sua garantia física por meio da celebração de contratos bilaterais praticados no ambiente de contratação livre.

Considerou-se que os investimentos necessários para a construção dos novos empreendimentos seja da ordem de 3.800,00 R\$/kW, sendo que a garantia física contratada é remunerada a 160,00 R\$/MWh. Ambos os valores são compatíveis com os verificados nos leilões de empreendimentos eólicos realizados em 2014.

A referência locacional escolhida foi a mesma utilizada por Batista [9], ou seja, o município de Triunfo, localizado no estado de Pernambuco, assim como as informações sobre os dados do aerogerador, curva de potência e séries de vento. Sobre as características técnicas do aerogerador, considerou-se nesta análise os aerogeradores Wobben modelo E-82, com potência nominal de 3.000kW, diâmetro do rotor igual a 82 metros, altura do cubo igual a 98 metros, velocidade de início de operação igual a 2,5 m/s, e velocidade de parada (cut-off) igual a 34 m/s. A curva de potência é disponibilizada pelo fabricante (vide <http://www.wobben.com.br/aerogeradores>).

As demais premissas técnicas, econômicas e financeiras do estudo de caso se encontram descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Demais Premissas do Estudo de Caso

Descrição	Un.	Valor	Descrição	Un.	Valor
Período de Construção	meses	24	Taxa de Câmbio	R\$/US\$	2,66
Início da Operação Comercial	-	jan/17	Perdas na Transmissão	%	3,00
Início da Vigência do Contrato Bilateral	-	jan/17	Taxa de Depreciação	%	5,00
Período de Vigência do Contrato Bilateral	anos	20	Rendimento Eletromecânico do Aerogerador	%	98,00
Proporção Equity/Debt	%	30/70	O&M Variável	R\$/MWh	15
Custo do Capital Próprio	% a.a.	10,00	TUST	R\$/kW.mês	2,5
Financiamento em US\$			Aluguel do Terreno	% Receita	1,00
Custo do Capital de Terceiros (Libor)	%	3,00	Seguro Operacional	% Investimento	0,30
Prazo de Amortização	anos	10	Fiscalização ANEEL	%	0,50
Final do Período de Carência	-	jan/17	Benefício Econômico	R\$/kW.ano	484,21
Sistema de Amortização	-	SAC	PIS	%	1,65
Financiamento em R\$			COFINS	%	7,60
Custo do Capital de Terceiros	%	5,00	Deduções PIS/COFINS	-	O&M / Depreciação
Prazo de Amortização	anos	15	Imposto de Renda	%	25,00
Final do Período de Carência	-	jan/17	CSSL	%	9,00
Sistema de Amortização	-	SAC			

Para a estimação dos parâmetros da taxa de câmbio, foi utilizada a série histórica da taxa de câmbio nominal de janeiro de 1999 à dezembro de 2014. Prévio à realização da regressão definida na equação (3), a série nominal foi deflacionada pelo INPC, caracterizando a inflação brasileira no período, e inflacionada pelo IPC dos Estados Unidos, caracterizando a inflação americana. As séries históricas da taxa de câmbio e dos índices de inflação interna e externa (INPC e IPC) foram retirados do Sistema Gerenciador de Séries Temporais (SGS) do Banco Central (vide <http://www4.bcb.gov.br/pec/series/port/aviso.asp>).

Na Figura 3 as séries de taxa de câmbio nominal e real são ilustradas, assim como as estatísticas da regressão e os parâmetros estimados. Os resultados da regressão determinam os valores do coeficiente angular, do coeficiente de interseção, e do erro padrão da regressão. A partir destes valores, as equações (4), (5) e (6) são utilizadas para estimar a velocidade da reversão à média da variável estocástica (η), a média de longo prazo (\bar{x}) e a volatilidade da variável estocástica (σ). Os valores encontrados se encontram descritos na Figura 3.

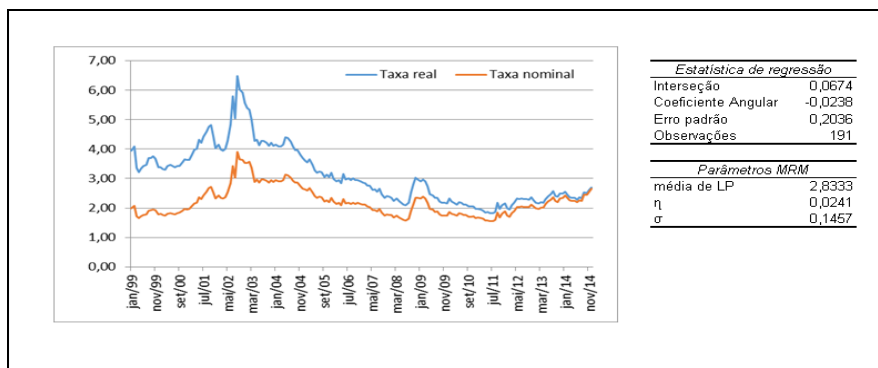


Figura 3 – Estatísticas e Parâmetros da Simulação

Utilizando-se a equação (2) é possível gerar cenários de taxas de câmbio, tal como ilustrado na Figura 4. Um total de 1.000 cenários foram gerados, dos quais 10 cenários se encontram em detalhe no lado direito da figura, ilustrando o processo de reversão para a média de longo prazo igual a 2,83 R\$/US\$.

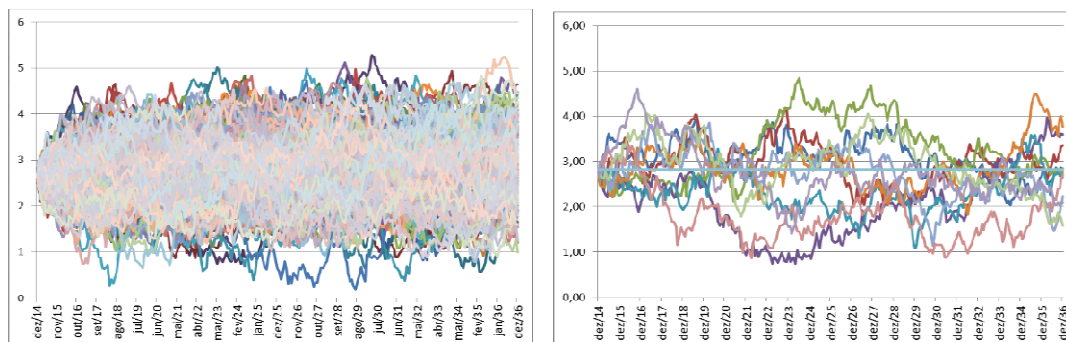


Figura 4 – Cenários de Taxa de Câmbio

5.0 - resultados

Com base no descrito na Figura 2, inicialmente a viabilidade do projeto foi analisada com base em uma análise determinística, e em uma análise de risco considerando apenas o risco de mercado. Tal como pode ser observado na Tabela 2, na análise determinística, foram obtidos VPL próximo à zero e TIR igual a 10% a.a. Estes resultados eram esperados, uma vez que foram consideradas premissas de investimento, preço, e demais condições compatíveis com a realidade do setor elétrico brasileiro. Ao incluir a aleatoriedade da taxa de câmbio nestas análises, verifica-se que o pior cenário apresenta um VPL negativo de 340,24 milhões de reais, enquanto o melhor cenário apresenta um VPL positivo de 203,19 milhões de reais. Adicionalmente, também se observa que o desvio padrão das distribuições de VPL e TIR são respectivamente iguais a R\$93,19 milhões e 1,65%, e que os valores de CVaR 95% são iguais a R\$221,34 milhões negativos e 6,44%. Tais valores evidenciam a relevância da consideração do risco associado à taxa de câmbio em análises de projetos similares ao descrito neste trabalho.

Tabela 2 – Resultados Determinístico x Risco de Mercado

	ANÁLISE DETERMINÍSTICA	ANÁLISE DE RISCO DE MERCADO				
	valor observado (R\$ milhões)	valor médio (R\$ milhões)	Mínimo (R\$ milhões)	Máximo (R\$ milhões)	Desvio Padrão (R\$ milhões)	CVaR 95% (R\$ milhões)
VPL	0,081	(19,23)	(340,24)	203,19	93,19	(221,34)
TIR	10,00	9,73	4,93	14,10	1,65	6,44

A Figura 5 representa as distribuições encontradas para os 1000 valores de VPL e TIR associados aos cenários de taxa de câmbio. Nelas, observa-se que 57% dos resultados apresentam VPL negativos, mostrando que as oscilações da taxa de câmbio, segundo o considerado neste trabalho, além de possuírem impacto relativamente simétrico em relação ao resultado determinístico, podem representar um importante fator de risco para o projeto. O mesmo pode ser observado para a distribuição das TIRs.

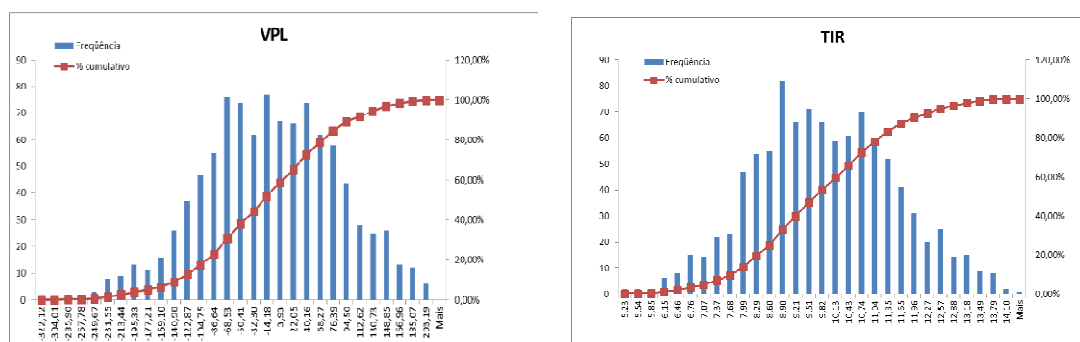


Figura 5 – Histograma VPL e TIR - Risco de Mercado

Os resultados mostrados anteriormente consideram que 70% do investimento foi realizado em moeda estrangeira. Uma vez que esta condição não necessariamente caracteriza a situação mais comumente observada para os investimentos realizados no ACL, realizou-se uma análise de sensibilidade com relação a alavancagem do projeto, alterando os percentuais do capital de terceiros comprometidos com financiamentos externos. Os resultados destas sensibilidades são apresentados na Tabela 3. No caso base temos que 30% do investimento corresponde ao capital próprio e 70% ao capital de terceiros, sendo este, integralmente financiado em moeda estrangeira (US\$). Nos cenários seguintes incluímos no capital de terceiros um novo financiamento em moeda nacional (R\$), onde a

participação deste financiamento vai aumentando na medida em que a participação do financiamento em dolar decresce. As condições de ambos os financiamentos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 3 – Análise de Sensibilidade – VPL

Alavancagem (30% Kp - 70% Kt)	ANÁLISE DETERMINÍSTICA	ANÁLISE DE RISCO DE MERCADO				
	VPL (R\$ milhões)	VPL Médio (R\$ milhões)	VPL Mínimo (R\$ milhões)	VPL Máximo (R\$ milhões)	Desvio Padrão (R\$ milhões)	CVaR 95% (R\$ milhões)
70% US\$	0,081	(19,23)	(340,24)	203,19	93,19	(221,34)
60% US\$ - 10% R\$	24,282	27,43	(244,73)	215,04	78,64	(142,98)
50% US\$ - 20% R\$	48,506	72,38	(150,83)	226,06	64,30	(66,98)
40% US\$ - 30% R\$	72,714	115,04	(59,40)	238,65	50,18	6,28
30% US\$ - 40% R\$	96,932	154,56	28,17	246,36	36,39	75,76
20% US\$ - 50% R\$	121,156	189,85	109,96	253,95	23,28	139,78
10% US\$ - 60% R\$	145,358	220,82	183,11	252,76	11,25	196,98

Na análise determinística, a taxa de câmbio é constante ao longo do período de estudo e o valor utilizado foi o de 2,66 R\$/US\$. Tal como esperado, nota-se uma redução no risco a que o projeto está exposto, a medida que se diminui a participação dos financiamentos em moeda estrangeira. A partir da sensibilidade 40% financiamento em US\$ e 30% financiamento real, nota-se que o CVaR 95% passa a assumir valores positivos. Os resultados das sensibilidades para a TIR confirmam os observados anteriormente para o VPL, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise de Sensibilidade – TIR

Alavancagem (30% Kp - 70% Kt)	ANÁLISE DETERMINÍSTICA	ANÁLISE DE RISCO DE MERCADO				
	TIR (%a.a.)	TIR Média (%a.a.)	TIR Mínima (%a.a.)	TIR Máxima (%a.a.)	Desvio Padrão (%a.a.)	CVaR 95% (%a.a.)
70% US\$	10,00	9,73	4,93	14,10	1,65	6,44
60% US\$ - 10% R\$	10,53	10,58	6,06	14,51	1,50	7,54
50% US\$ - 20% R\$	11,09	11,49	7,36	14,90	1,33	8,76
40% US\$ - 30% R\$	11,67	12,47	8,87	15,28	1,11	10,13
30% US\$ - 40% R\$	12,28	13,47	10,58	15,67	0,86	11,63
20% US\$ - 50% R\$	12,91	14,45	12,47	16,02	0,58	13,21
10% US\$ - 60% R\$	13,57	15,36	14,39	16,18	0,29	14,75

Entretanto, como mencionado anteriormente, também constitui um dos objetivos do presente trabalho analisar os indicadores de viabilidade do projeto considerando tanto o risco próprio do projeto quanto o risco de mercado. Para tal, foram estimados 1000 cenários de velocidade de vento e 100 cenários de taxas de câmbio, obtendo-se uma matriz para cada um dos indicadores de viabilidade do projeto. A Tabela 5 apresenta os principais resultados.

Tabela 5 – Resultados Determinístico x Risco de Mercado

	Valor médio (R\$ milhões)	Mínimo (R\$ milhões)	Máximo (R\$ milhões)	Desvio Padrão (R\$ milhões)	CVaR 95% (R\$ milhões)
VPL Risco Mercado	(19,23)	(340,24)	203,19	93,19	(221,34)
VPL Risco Próprio e Mercado	(3,15)	(507,35)	452,11	121,92	(341,71)
TIR Risco Mercado	9,73	4,93	14,10	1,65	4,64
TIR Risco Próprio e Mercado	10,06	2,56	19,58	2,19	6,44

Observa-se que o valor médio do VPL passa de cerca de R\$19 milhões para R\$3 milhões negativos. O valor mínimo passa de R\$304 para R\$507 milhões negativos, e o CVaR 95% de R\$221 para R\$341 milhões negativos, indicando o ganho de robustez ao se incorporar nas análises, além do risco de mercado, o risco próprio.

A Figura 6 apresenta o histograma dos resultados encontrados para o VPL em ambas as análises realizadas. A figura a esquerda corresponde aos resultados quando se considera o risco conjunto (próprio e mercado). Já o gráfico a direita corresponde aos resultados que consideram apenas o risco de mercado no caso base. Observa-se que, ao considerar os riscos próprio e de mercado, 53% dos casos encontram-se com VPL menor do que 4 milhões de reais. Por outro lado, ao considerar apenas o risco de mercado, esse percentual passa para 58,6% dos casos.

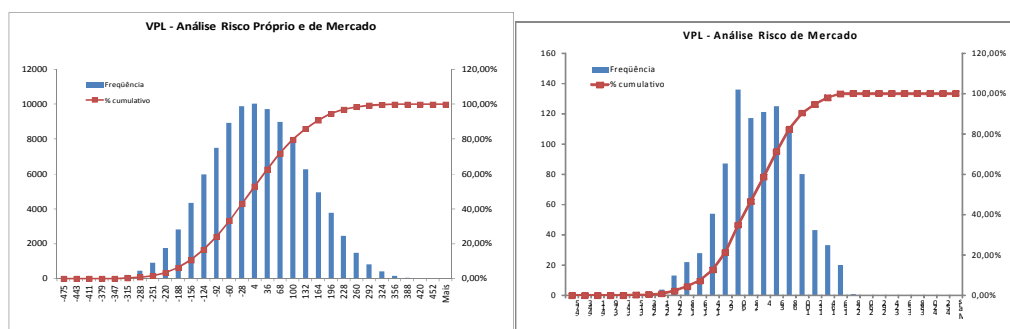


Figura 6 – Histograma VPL

Os resultados verificados para a TIR também seguem a mesma linha do que foi apresentado para o VPL, tal como pode ser observado na Figura 7. A TIR da análise de risco conjunta varia entre 2,56 e 19,58 % a.a., sendo obtido um valor médio de 10% a.a. De acordo com o histograma, em 60% dos casos o valor da TIR é inferior à 10,5 % a.a. Na análise de risco de mercado, para o mesmo intervalo, 67,30% dos casos apresentaram tal comportamento.

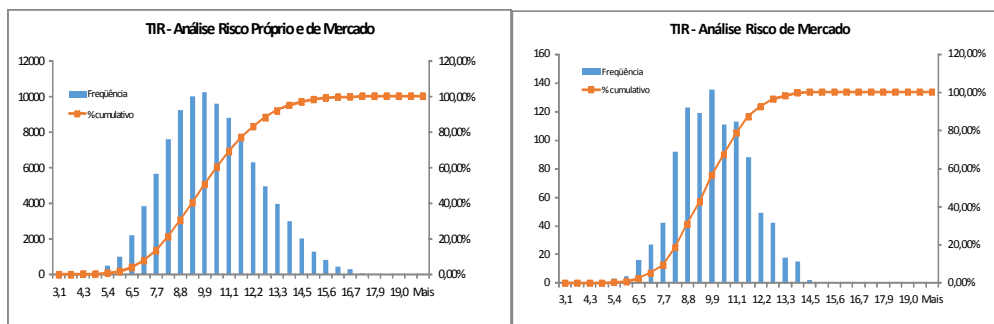


Figura 7 – Histograma TIR

6.0 - conclusões

As análises realizadas neste trabalho mostram a importância da consideração dos diferentes fatores de risco para a avaliação financeira de projetos de geração de energia elétrica. Considerando as premissas adotadas neste trabalho, os resultados evidenciam a relevância da consideração do risco associado à taxa de câmbio em análises de projetos de geração de energia elétrica desenvolvidos no Brasil, em particular para aqueles que não possuem acesso às linhas de financiamento interno com condições similares às atualmente praticadas pelo BNDES.

Tal como esperado, os resultados mostram uma redução no risco a que o projeto está exposto a medida que se diminui a participação dos financiamentos em moeda estrangeira. Mesmo nas situações em que o CVaR 95% da distribuição de VPLs assumiu valores positivos, ou seja, a partir da sensibilidade 40% financiamento em US\$ e 30% financiamento real, entende-se que a realização de uma análise que considere adequadamente os fatores de risco do projeto é necessária. Neste caso em particular, ao se substituir o financiamento em dólar por um financiamento em real, a melhora do CVaR se deve, entre outras coisas, ao maior prazo de amortização considerado para o financiamento em real.

Finalmente, o estudo aponta como possibilidade de trabalhos futuros a inclusão de outras variáveis financeiras na análise de risco de mercado, além do tratamento das possíveis correlações entre as mesmas. Adicionalmente, outros processos estocásticos, ou modelos, podem ser testados para a modelagem dos movimentos da taxa de câmbio.

7.0 - referências BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**, MME/EPE, Brasília, Brasil, 2014.
- [2] Costa, M. **Eólicas Avancam para o Mercado Livre**, Brasil Energia, disponível em <http://brasilenergia.editorabrasilenergia.com/news/renovaveis/eolica/2014/03/eolicas-avancam-para-o-mercado-livre-449604.html>. Último acesso em 29/03/2015.
- [3] Maceira, M.E.P; Jardim, D.L.D; Melo, A.C.G; Falcão, D.M. **Modelagem Estocástica de Séries Financeiras para a Aplicação em Projetos de Investimentos do Setor Elétrico**, XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, Brasil, 1999.
- [4] Bonno, S.J.P. **Previsão de Inflação Utilizando Modelos de Séries Temporais**, Dissertação de mestrado em Economia e Finanças, FGV, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- [5] Muta, A.A; Figueiredo, C.C. **Um modelo de previsão para o IPCA: como a modelagem econométrica pode ser útil para estimá-lo antes das apurações oficiais**, SEMIC, São Paulo, Brasil, 2014.
- [6] Comissão do Mercado de Valores Mobiliários - CMVM. **Produtos Financeiros Complexos Metodologia para sua Avaliação**, Lisboa, 2010.
- [7] Gomides, A.T.R. **Avaliação de Riscos em Estratégias de Investimentos de Longo Prazo: Aplicação Prática em um Fundo de Pensão**, Dissertação de mestrado em Economia e Finanças, EPGE/FGV, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- [8] Dixit, A.K; Pindyck, R.S. **Investment under Uncertainty**, USA, 1994.

[9] Batista, F.R.S; Rodrigues, A; Marzano, L.G.B; Melo, A.C.G; Adães, I.M.A. **O Impacto das Diferentes Modalidades de Contratação dos Empreendimentos Eólicos sobre a sua Rentabilidade Global**, XXII SNPTEE, Brasília, Brasil, 2013.

8.0 - dados biográficos

Alexia de Freitas Rodrigues é graduada em Economia pela Universidade Federal Fluminense, possuindo o título de mestre em Planejamento Energético e Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). Desde 2003 é pesquisadora do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), onde tem trabalhado na avaliação dos impactos sócio-econômicos da eletrificação rural, e em projetos relativos a análise de risco de investimentos em geração e transmissão de energia elétrica.

Fabio Rodrigo Siqueira Batista é graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (1999), possuindo o título de mestre (2002) e doutor (2007) em Engenharia de Produção pela PUC-Rio, onde é professor adjunto desde 2007. Desde 2001 é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), onde tem trabalhado na coordenação e desenvolvimento de projetos e modelos computacionais relativos a análise de risco de investimentos em geração e transmissão de energia elétrica, assim como em projetos associados ao planejamento da operação energética de médio prazo em sistemas hidrotérmicos interligados.

Luiz Guilherme B. Marzano obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ) em 2004. Trabalha no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) desde 1996, desenvolvendo projetos e estudos relacionados ao planejamento da expansão da geração, análise de investimentos e gerenciamento de riscos em sistemas de geração.

Albert C. Geber de Melo é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (1983), possuindo o título de mestre (1986) e doutor (1990) em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Desde 1985, trabalha na coordenação e no desenvolvimento de projetos e sistemas computacionais nas áreas de confiabilidade em sistemas de potência, planejamento da geração e da transmissão sob incerteza, métodos de alocação eficiente de custos, e análise de risco econômico-financeira de projetos. Também é professor associado da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, um membro ativo do IEEE e Cigré, e atualmente atua como Diretor Geral do Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL).