



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

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

GRUPO – VI

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

O USO DE PARÂMETROS CERTIFICADOS COMO BASE DA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA ESTOCÁSTICA PARA PARQUES EÓLICOS: A QUANTIFICAÇÃO PROBABILÍSTICA DO FATOR RISCO DE PRODUÇÃO

Antonio Camelo da Costa Perrelli(*)
Eletrobras Chesf

André Luis Krueger de Moraes
Eletrobras Chesf

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo expandir o escopo da análise econômico-financeira ao contemplar o *trade off* entre risco e retorno de projetos eólicos. O critério atual para tomada de decisão comumente utilizado é a comparação entre a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Taxa Marginal de Atratividade (TMA) com base em determinados pressupostos determinísticos. A inserção do risco probabilístico oferece uma análise baseada nos dois pilares financeiros de risco e retorno, transformando o processo de tomada de decisão em uma maximização da rentabilidade sujeita ao risco em determinadas fontes de incerteza com utilização do método de Monte Carlo.

PALAVRAS-CHAVE

Taxa Interna de Retorno, Monte Carlo, Estocástico, Análise Econômico-Financeira, Energia Eólica

1.0 - INTRODUÇÃO

Quando uma empresa realiza a análise econômico-financeira para tomada de decisão acerca de um empreendimento de energia, seja a compra de um parque eólico ou o arremate de um novo empreendimento via leilão, há uma exposição a diversos tipos de riscos. Dentre estes, há o risco sistemático (de mercado) e o não sistemático (gerenciável). O risco de mercado não é diversificável e está além da possibilidade de controle pela empresa, como a produção de energia e decisões governamentais que afetem diretamente o investimento. O risco não sistemático refere-se àquilo que a empresa pode gerenciar como tempo de construção da obra, financiamento bancário, despesas administrativas, entre outros. Ambos os fatores impactam diretamente na taxa de retorno do empreendimento. O presente estudo almeja a quantificação do impacto de determinados fatores de risco com ênfase ao risco certificado na produção de energia contido no documento de certificação.

O termo “risco” pode ser definido como a probabilidade do resultado efetivo ser maior ou menor do que o pretendido, sendo uma mistura de perigo e oportunidade. Embora teoricamente a TMA já deva conter o risco percebido pelo detentor do capital no negócio específico, a análise de risco sob a perspectiva da firma pode servir de instrumento estratégico e evitar que decisões incompletas, que possam não remunerar o detentor de capital pela TMA requerida, sejam realizadas e impactem os negócios da própria firma.

Entre as incertezas associadas a um empreendimento de energia eólica, temos como exemplo: geração, grau de alavancagem, prazo de construção, investimento, meio ambiente, índices macroeconômicos, entre outros. A quantificação exata do risco total assumido por uma empresa em determinado empreendimento é impraticável no mundo real, porém o mapeamento de alguns destes riscos pode ser inferido através de informações certificadas, dados históricos ou projeções de profissionais da empresa com experiência na área a qual determinado risco está relacionado.

(*) Rua Delmiro Gouveia, n° 333 – sala B116 - Bloco B – CEP 50761-901 Recife, PE, – Brasil
Tel: (+55 81) 3229-3628 – Email: aperrell@chesf.gov.br

A utilização de determinadas informações presentes no documento de certificação emitido por terceiros permite que seja realizada uma análise econômico-financeira de natureza estocástica. Esta análise é um complemento à determinística e proporciona uma inferência sob a ótica dos dois pilares básicos de tomada de decisão em finanças: **risco e retorno**.

1.1 Parâmetros certificados: Energia Eólica

Um empreendimento de energia eólica depende da velocidade do vento para gerar receita. Sendo esta velocidade uma variável aleatória, a probabilidade de excedência de 50% é quantificada e informada pelo certificador como P50 e a probabilidade de excedência de 90% como P90. O fator de capacidade a P50 é utilizado como **parâmetro oficial de geração** e o P90 como **parâmetro oficial de energia contratada**. Se a diferença entre a geração e contratação for positiva, o excedente será comercializado de acordo com a Regra EPE do Leilão em questão.

Para cada fator de capacidade informado na certificação há um determinado grau de incerteza associado **que não é utilizado** sob a ótica determinística. Se o Parque A tem fator de capacidade P50 de 55%, por exemplo, e possui uma incerteza certificada de 15% e o Parque B tem fator de capacidade P50 de 50% com incerteza de 7%, considerando que as demais características necessárias para simulação são idênticas entre os Parques, a maior TIR advinda da simulação do Parque A pode não ser a melhor escolha, pois embora a priori seja maior do que a do Parque B terá maior risco associado na geração do que o Parque A. Isto significa, em termos práticos, que a aceitação de um projeto com retorno esperado superior significa também uma maior incerteza.

O método estocástico difere da análise de sensibilidade que mede o impacto de uma variável em outra sob a premissa de manter todas as outras variáveis constantes. Por exemplo, o aumento no investimento em escalas de 1% e as Taxas Internas de Retorno decorrentes.

Se o empreendimento for inviável sob a ótica determinística e a TIR estiver consideravelmente mais baixa que a TMA, provavelmente também será inviável sob a ótica estocástica. Se o empreendimento for bom sob a ótica determinística, a análise estocástica pode quantificar um parâmetro de risco associado ao retorno esperado para que mediante isto seja tomada a decisão.

A análise estocástica proposta é de natureza econômico-financeira e não possui capacidade técnica de inferir se os dados certificados estão corretos ou não. A presente análise assume a hipótese de que se as empresas consideram ser confiável utilizar o P50 e o P90 certificado como parâmetro de análise, sendo o P90 adotado oficialmente pela EPE e pelas instituições financeiras provedoras de financiamento, então os dados de incerteza certificada também são confiáveis.

2.0 – METODOLOGIA

A metodologia deste estudo seguiu os seguintes passos:

1. **Criação de um modelo de análise econômico-financeira** em Excel, capaz de simular parâmetros probabilísticos de risco em projetos eólicos
2. **Extração dos dados certificados**, a partir de uma “certificação” produzida para fins específicos deste trabalho¹, dos dados de Produção Anual Média Líquida (MWh/ano), P50, P90 e incerteza
3. **Análise de Sensibilidade - Diagrama de Tornado**: Análise de Sensibilidade com Diagrama de Tornado é realizada antes da análise estocástica principal a fim de inferir o grau de impacto de riscos sistemáticos e não sistemáticos na TIR do Acionista Real. Para construção do mesmo, os seguintes parâmetros de incerteza foram inseridos no modelo:
 - a. Risco Sistemático: Incerteza na geração (Certificado)
 - b. Risco Não Sistemático: Atrasos na construção
 - c. Risco Não Sistemático: Alavancagem de financiamento
4. **Análise estocástica**: Simulação do modelo via método de **Monte Carlo**²
 - a. Risco Sistemático³: O modelo é simulado somente com o parâmetro de incerteza certificado como fator de risco
5. **Matriz de Decisão Conjunta**:

¹ Os documentos oficiais de certificação de ventos são de caráter sigiloso. A partir de dados fictícios, uma “certificação” para um parque eólico X foi criada.

² As simulações foram realizadas utilizando os softwares Oracle Crystal Ball e @Risk Decision Tools.

³ Para simulação do modelo, somente o risco sistemático foi utilizado.

- a. o pressuposto de Risco Sistemático é simulado conjuntamente com vários níveis de Investimento (R\$ Milhões/MW) para a criação da matriz de decisão conjunta.

3.0 – MODELO DE ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

O modelo criado utiliza diversas premissas para construir a Demonstração de Resultado do Exercício e o Fluxo de Caixa para um empreendimento eólico qualquer. A partir destes dados, a rentabilidade é calculada e reportada na tela principal. As Figuras 1 e 2 mostram algumas telas do modelo construído.

FIGURA 1 – Tela de Inserção de Dados – Premissas Econômico-Financeiras
Fonte: Modelo de Análise Econômico-Financeira elaborado pelo autor principal

FIGURA 2 – Tela de Inserção de Dados – Premissas de Engenharia

Fonte: Modelo de Análise Econômico-Financeira elaborado pelo autor principal

O modelo calcula a rentabilidade FCFE (*Free Cash Flow to Equity*) e a sua variante DDM (*Dividend Discount Model*). Esta, tem por base o fluxo gerado pelo *equity* investido e dividendos recebidos no período de concessão do empreendimento e representa a rentabilidade alvo deste estudo.

3.0 RISCOS

3.1 Produção de Energia

As certificações assumem que a velocidade dos ventos segue distribuição *Weibull* e a curva de risco decorrente segue distribuição normal. Esta é uma das distribuições estatísticas mais importantes pois descreve inúmeros fenômenos na área de ciências. Todos os parâmetros necessários para a construção da curva normal (média e desvio padrão) são informados na certificação.

É possível reproduzir a curva normal relatada pelo certificador com a utilização dos dados da Produção Anual Média Líquida (MWh/ano) e do P50. O termo “*Mean*” significa Média e “*Std Dev*” Desvio Padrão (Incerteza). Como a curva é simétrica, o desvio padrão pode ser caracterizado como parâmetro de risco. A Figura 3 representa os parâmetros certificados desenhados como uma distribuição normal no modelo.

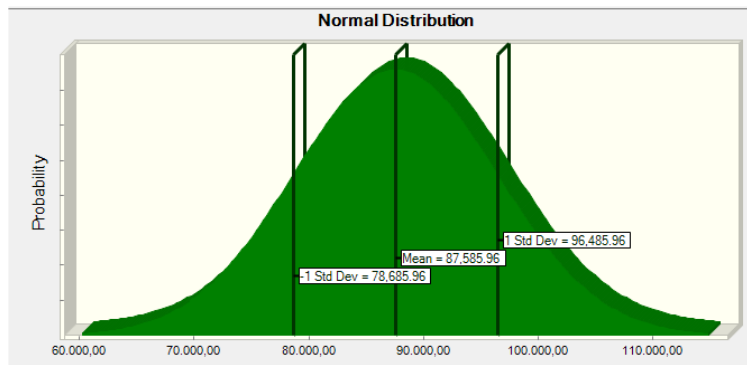


Figura 3 – Distribuição Normal (Gaussiana)

A produção de energia estocástica passa a assumir a seguinte função de densidade de probabilidade ($f(\text{ventos})$):

$$f(\text{ventos}) = \frac{\sigma(2\pi)^{1/2}}{\exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad (I)$$

3.2 Tempo de Construção

O pressuposto de atraso na construção só admite valores inteiros. Devido a isto, segue distribuição discreta (ver Figura 4) oscilando entre o período escolhido 12 meses (tempo normal da obra) e 24 meses (tempo máximo simulado em caso de atraso). A cada mês de atraso há a necessidade de compra de energia para cumprir obrigações contratuais ao valor vigente igual ao dobro do preço de venda (premissa otimista)

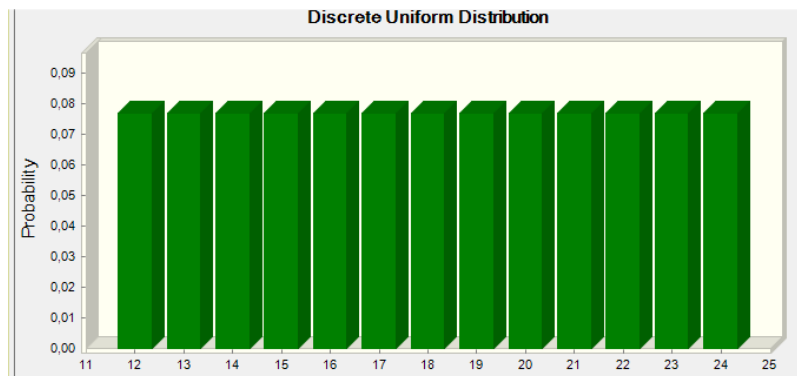


Figura 4 – Distribuição Discreta

O tempo de produção estocástico passa a assumir a seguinte função ($f(\text{construcao})$):

$$f(\text{construcao}) = \frac{x+1}{n+1} \quad (II)$$

3.3 Alavancagem

O pressuposto de alavancagem, embora na prática possa atingir valores não inteiros, para fins de simulação também seguirá distribuição discreta oscilando entre 55% e 80%.

4.0 GRÁFICO DE TORNADO

A análise de tornado utilizada calculou a sensibilidade de cada variável de risco em relação a TIR Acionista Real, *ceteris paribus*⁴. A Figura 5 demonstra que, dentre os pressupostos de incerteza escolhidos, o parâmetro de risco sistemático é o maior responsável na variabilidade da TIR Acionista Real seguido pelos parâmetros de risco não sistemático de tempo de construção e alavancagem.

Isto ressalta a importância da análise do impacto da incerteza certificada na produção de energia na TIR Acionista Real.

⁴ Mantendo todas as outras variáveis de risco constantes

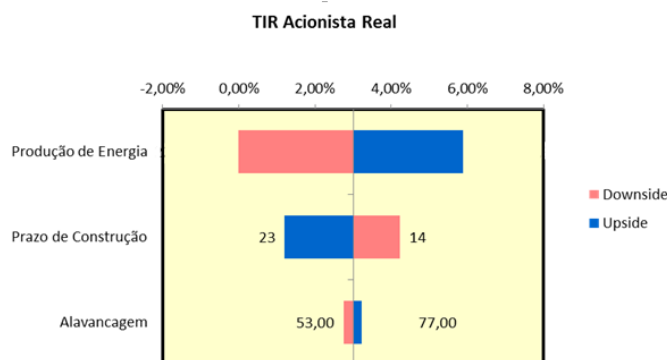


Figura 5 – Gráfico de Tornado

5.0 – ANÁLISE ESTOCÁSTICA VIA MONTE CARLO

Esta simulação é realizada pela inserção da distribuição de risco certificado de geração de energia no Modelo. Com isto, a probabilidade de geração não é um único número mas sim uma distribuição de probabilidade de acordo com a certificação. A variabilidade na Figura 6 deve ser entendida como o impacto do risco sistemático na TIR Acionista Real.

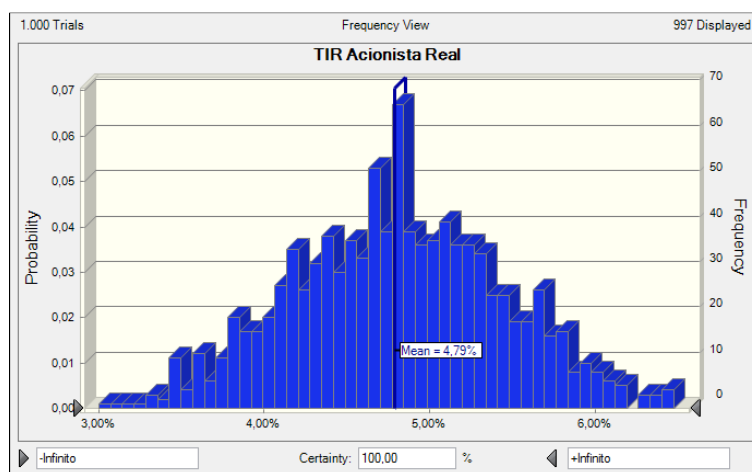


Figura 6 – Probabilidade TIR Acionista Real

A TIR Acionista Real no modelo determinístico (4,87%) está muito próxima dos valores gerados na análise estocástica, fato este que torna o número de simulações (1.000) executadas bastante representativas para análise⁵. O Quadro 1 representa o Risco Sistemático Acumulado. Se, por exemplo, o investidor desejar uma rentabilidade real de 4,55% neste projeto, o mesmo estará incorrendo em um risco de aproximadamente 35% em não atingir o seu objetivo. Com isto, o investidor procurará projetos semelhantes que produzam a mesma rentabilidade, porém a um nível de risco menor. Há uma clara correlação entre risco e retorno.

Quadro 1 – Risco Sistemático Acumulado

Risco Sistemático Acumulado	TIR Acionista Real
5%	3,74%
10%	3,96%
15%	4,12%
20%	4,23%
25%	4,35%
30%	4,45%

⁵ Não foram realizados teste de convergência e *bootstrap* para a análise de Monte Carlo

35%	4,55%
40%	4,65%
45%	4,72%
50%	4,87%
55%	4,90%
60%	4,94%
65%	5,04%

6.0 – MATRIZ DE DECISÃO CONJUNTA

Esta matriz probabilística pode ser utilizada para, dado o risco sistemático inerente ao projeto, calcular a que nível de investimento, por exemplo, o investidor poderia tomar a decisão de investir no projeto. Todas as análises foram feitas ao nível de investimento base de R\$ Milhões/MW 5,00.

6.1 – Estatísticas

O Quadro 2 mostra as principais estatísticas extraídas da simulação para cada nível de investimento utilizado como variável de decisão. O grifo em amarelo representa o grau de investimento atual e 4,87% a Mediana da TIR Acionista Real.

Quadro 2 – Estatísticas da Simulação

Estatísticas	Investimento R\$ Mil/MW												
	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00	5,20	5,40	5,60	5,80	6,00	6,20
Simulações	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Média	11,02%	9,74%	8,59%	7,52%	6,56%	5,63%	4,85%	4,01%	3,21%	2,42%	1,66%	0,91%	0,39%
Mediana	11,02%	9,78%	8,60%	7,53%	6,57%	5,65%	4,87%	4,03%	3,27%	2,45%	1,71%	0,87%	0,22%
Desvio Padrão	0,78%	0,76%	0,73%	0,74%	0,66%	0,63%	0,64%	0,65%	0,67%	0,65%	0,71%	0,62%	0,46%
Mínimo	8,36%	6,52%	6,18%	5,30%	4,22%	3,46%	2,54%	1,49%	1,10%	0,35%	0,00%	0,00%	0,00%
Máximo	13,24%	12,22%	10,53%	9,63%	8,65%	7,58%	6,65%	5,84%	5,05%	4,44%	4,08%	2,88%	2,86%
Intervalo	4,88%	5,71%	4,36%	4,33%	4,43%	4,13%	4,11%	4,34%	3,94%	4,08%	4,08%	2,88%	2,86%

6.2 – Matriz

Este quadro demonstra o risco sistemático acumulado a ser incorrido pelo investidor em vários níveis. Por exemplo, ao nível de investimento de R\$ Milhões/MW 3,80 há 95% de probabilidade de gerar uma TIR Acionista Real de pelo menos 9,68%. A menor TIR Acionista Real para este nível de investimento pode ser vista no quadro acima (8,36%). Se a rentabilidade requerida pelo investidor for de 8,50%⁶ e o limite de risco for 20%, o nível de investimento necessário deve ser menor que R\$ Milhões/MW 4,20.

Quadro 3 – Risco Sistemático x Níveis de Investimento

⁶ Situação hipotética

Risco Sistemático Acumulado	Investimento R\$ Mil/MW												
	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60	4,80	5,00	5,20	5,40	5,60	5,80	6,00	6,20
5%	9,68%	8,51%	7,34%	6,34%	5,42%	4,55%	3,74%	2,99%	2,00%	1,28%	0,40%	0,00%	0,00%
10%	10,01%	8,79%	7,61%	6,59%	5,69%	4,78%	4,07%	3,17%	2,31%	1,56%	0,73%	0,00%	0,00%
15%	10,21%	8,95%	7,79%	6,74%	5,87%	4,96%	4,21%	3,33%	2,47%	1,77%	0,91%	0,16%	0,00%
20%	10,35%	9,07%	7,97%	6,88%	6,02%	5,09%	4,34%	3,46%	2,62%	1,92%	1,03%	0,32%	0,00%
25%	10,51%	9,22%	8,13%	6,98%	6,13%	5,22%	4,45%	3,56%	2,78%	2,03%	1,15%	0,44%	0,00%
30%	10,60%	9,35%	8,23%	7,09%	6,22%	5,31%	4,55%	3,65%	2,91%	2,13%	1,28%	0,53%	0,00%
35%	10,73%	9,46%	8,32%	7,21%	6,33%	5,41%	4,64%	3,77%	3,00%	2,20%	1,38%	0,64%	0,00%
40%	10,84%	9,58%	8,42%	7,33%	6,42%	5,49%	4,72%	3,85%	3,08%	2,29%	1,48%	0,71%	0,03%
45%	10,92%	9,68%	8,51%	7,42%	6,49%	5,57%	4,80%	3,94%	3,18%	2,36%	1,60%	0,77%	0,13%
50%	11,02%	9,78%	8,60%	7,53%	6,57%	5,65%	4,86%	4,03%	3,27%	2,45%	1,71%	0,87%	0,22%
55%	11,13%	9,87%	8,69%	7,63%	6,66%	5,74%	4,95%	4,11%	3,35%	2,53%	1,77%	0,97%	0,31%
60%	11,23%	9,96%	8,79%	7,72%	6,74%	5,81%	5,02%	4,20%	3,44%	2,61%	1,87%	1,07%	0,39%
65%	11,33%	10,05%	8,88%	7,82%	6,85%	5,88%	5,09%	4,27%	3,52%	2,69%	1,98%	1,15%	0,50%
70%	11,44%	10,15%	9,01%	7,92%	6,91%	5,97%	5,17%	4,36%	3,60%	2,80%	2,08%	1,25%	0,59%
75%	11,56%	10,25%	9,11%	8,05%	7,01%	6,04%	5,27%	4,46%	3,68%	2,88%	2,17%	1,35%	0,68%
80%	11,68%	10,38%	9,20%	8,16%	7,11%	6,16%	5,37%	4,58%	3,77%	2,98%	2,27%	1,45%	0,77%
85%	11,83%	10,54%	9,37%	8,28%	7,23%	6,27%	5,50%	4,70%	3,88%	3,08%	2,41%	1,56%	0,89%
90%	12,02%	10,72%	9,53%	8,44%	7,37%	6,46%	5,65%	4,84%	4,00%	3,20%	2,58%	1,74%	1,08%
95%	12,31%	10,98%	9,75%	8,72%	7,55%	6,68%	5,82%	5,03%	4,24%	3,43%	2,80%	1,98%	1,26%

A Figura 7 representa os dados do Quadro 3 em forma de distribuições estatísticas. Somente duas distribuições (TIR Acionista Real (1) e (2)) produzem resultados acima de 8,50%.

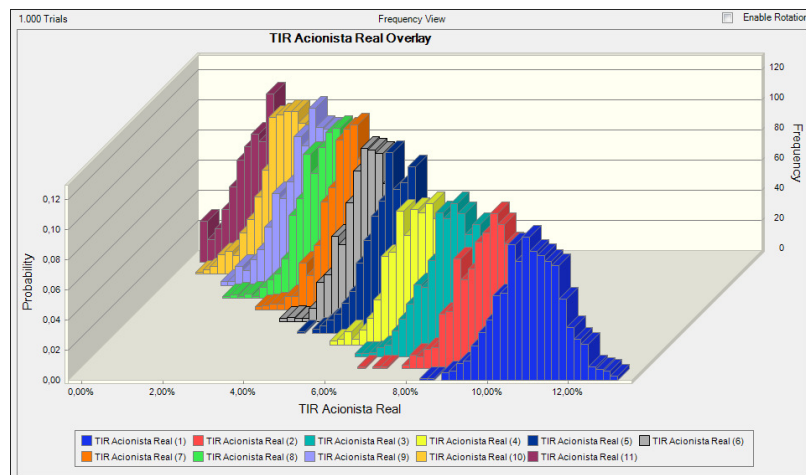


Figura 7 – Distribuições de Probabilidade

7.0- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de métodos estocásticos e de melhores práticas para a quantificação de risco requer das empresas um corpo técnico capacitado e a inserção da gestão de riscos no processo de tomada de decisões das empresas. A quantificação de riscos em um projeto permite que os dois pilares básicos da análise em finanças seja mensurado: risco e retorno. A decisão de investir em determinado parque eólico com base somente na rentabilidade faz com que todo o risco a ser percebido pelo investidor esteja alocado em seu custo de capital próprio.

O fator de capacidade P50 não representa o risco de produção. Este, é dado pelo parâmetro de incerteza disponibilizado na certificação associado a este P50. Diferentes parques eólicos podem ter o mesmo P50 e incertezas completamente distintas. Estes casos podem induzir a uma tomada de decisão incompleta quando analisada pela ótica determinística que somente captura a rentabilidade.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CHARNES, J. Financial Modeling with Crystal Ball and Excel; 2nd ed. Wiley, 2012.
- (2) JAECKEL, P. Monte Carlo Methods in Finance; 1st ed. Wiley, 2002.
- (3) MIAN, M. Project Economics and Decision Analysis, Volume 1: Deterministic Models; 2nd ed. PennWell Corp, 2011
- (4) MIAN, M. Project Economics and Decision Analysis, Volume 2: Probabilistic Models; 2nd ed. PennWell Corp, 2011
- (5) MORGAN, M. Uncertainty: A guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis; 2nd ed. Cambridge University Press, 1992
- (6) NERSESIAN, Roy. Energy Risk Modeling; 1st ed. Palisade Corporation, 2013

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Antonio Camelo da Costa Perrelli(*), nascido em Recife, Pernambuco, em 1982. Economista da Chesf desde 2009. Formado em Ciências Econômicas pela UFPE, em 2005, com MBA em Finanças Corporativas pelo IBMEC, em 2013. Profissional Certificado em Gestão de Riscos Corporativos pela Global Institute for Risk Management Standards, em 2015. Possui extensão em Análise Probabilística de Risco pela Palisade, em 2015.