



Análise Do Risco E Da Composição De Diversos Parques Eólicos

Eduardo Hahn de Castro ¹, Mauricio Cantão ²

1 PPGERHA/DHS

UFPR

2 PPGERHA/DHS

UFPR

Centro Politécnico – sala PH 14 - Bloco V – CEP 81.530-090 Curitiba, PR, Brasil

Eduardohahncaastro@gmail.com

RESUMO

A expansão da fonte eólica é proeminente e inevitável no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), as rupturas tecnológicas nos equipamentos como a redução dos custos dos aerogeradores foram fatores determinantes na expansão. Sabe-se que fonte possui um percentual máximo de penetração na matriz, decorrente de limitações energéticas e elétricas, variando para cada matriz em função das características do vento e da composição do restante da matriz elétrica. Logo, para uma expansão ótima e equilibrada da fonte, é necessário entender seus diversos comportamentos de ventos dispersos pelas diferentes localidades e alinhar a correta distribuição geográfica dos parques de modo a montar um sistema coeso e com pouca intermitência. Para isso, o presente artigo irá compor uma Carteira de Markowitz, utilizando todos os estados que hoje possuem geração eólica e através do mesmo método propor qual seria a alocação máxima de cada estado. Com isso é possível comparar a alocação atual com a fronteira eficiente proposta pelo Markowitz, podendo assim entender como se encontra o SEB na relação de risco x retorno. Além da Carteira de Markowitz, propõe-se a análise dos Conditional Value at Risk (cVar), analisando os valores para 95 e 99% de confiabilidade, mensurando assim os estados que possuem o maior risco, segundo a mesma métrica. Como resultado, estimasse a expansão geográfica ótima da fonte eólica bem como se mensura o risco de não ocorrência do vento, auxiliando assim o planejador otimizar a expansão do sistema.

Palavras-chave: Energia Eólica, Complementariedade, Planejamento Energético.



INTRODUÇÃO

A parcela da fonte eólica na capacidade instalada do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) está em constante ascensão, com uma perspectiva de continuar crescendo em um ritmo igual, ou superior ao atual (EPE,2017). Com a imensa extensão territorial que o Brasil possui e inúmeros pontos com excelente potencial eólico, torna-se mais complexa a decisão de onde instalar um possível parque Eólico. O presente artigo visa entender e analisar o risco de geração de diferentes parques eólicos e como se comportam quando analisados dentro de uma “carteira”.

METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

Para entender o comportamento da geração e qual o seu risco atrelado, utilizaram-se dados de 8 estados distintos, sendo: Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Assim, assumindo que cada estado possui um vento típico, será possível inferir a melhor combinação para o sistema como um todo. Com isso é desejado entender o risco de geração de um parque como um conjunto, atrelando assim uma análise de risco para uma penetração máxima na matriz.

2.2 Base de dados

A base de dados adotada são os dados de geração do site do Operador Nacional do Sistema (ONS). A base oferece dados horários de geração de parques e análise conglomerada, na escala diária. Os dados foram extraídos de modo gráfico e em formato de planilha. A unidade utilizada é de MWmédio, logo, assumimos que o comportamento do vento tem uma relação estrita com a geração de energia, em outras palavras, assume-se que todas as curvas de geração dos diversos modelos de aerogeradores são similares, e assim a análise dos valores de geração de energia é representativa e igualmente correlata com o vento. Foram apenas utilizados os dados de geração de 2017, com o objetivo de pegar um período completo de sazonalidade e por ser o

ano que possui a maior representatividade de capacidade instalada como diversificação de estados. A Figura 1 apresenta a variação intra anual da geração eólica no subsistema Nordeste.

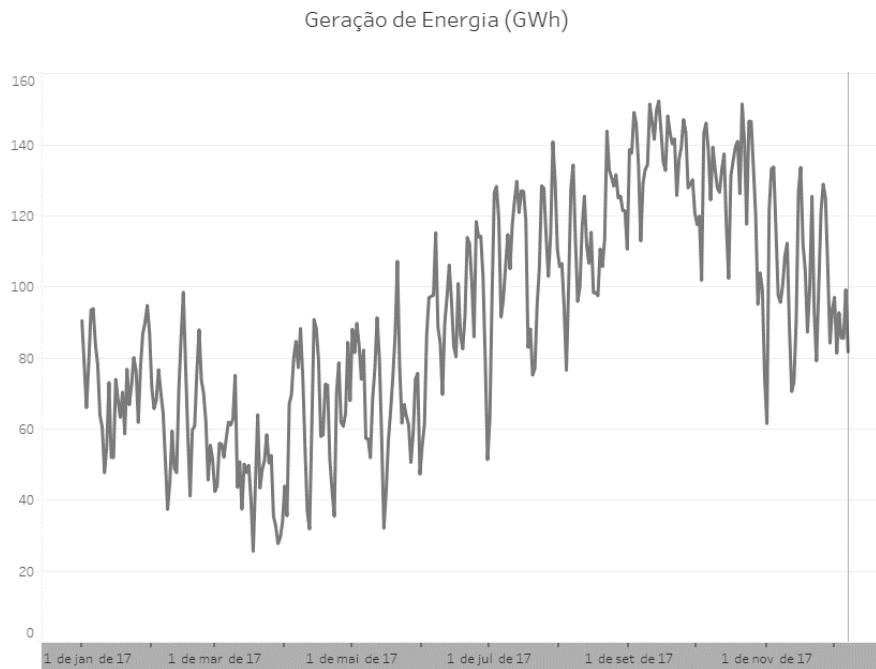


Figura 1 – Gráfico da geração eólica no subsistema Nordeste (ONS, 2018)

Os dados foram selecionados e agrupados por estado, de modo a tentar entender o comportamento do vento nas distintas regiões. Para que a análise comparativa possa ser

plausível, os dados de geração extraídos da base da ONS foram unitizados através da divisão da geração diária pela capacidade instalada do estado, que está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Capacidade instalada por estado (ANEEL, 2018)

| Estado | Capacidade Instalada (GW) | Participação no SEB |
|---------------------|---------------------------|---------------------|
| Bahia | 2,24 | 19% |
| Ceará | 1,76 | 15% |
| Pernambuco | 0,78 | 7% |
| Piauí | 1,44 | 12% |
| Rio Grande do Norte | 3,49 | 30% |
| Rio Grande Do Sul | 1,83 | 16% |
| Santa Catarina | 0,25 | 2% |

Evidente que a eólica representa uma parcela significativa na matriz Brasileira, e é interessante notar que alguns estados representam percentuais maiores. Vários fatores são os que influenciam, mas basicamente regimes de vento distintos, ponto de conexão e custo para aquisição de uma possível área para parques eólicos. Com isso objetiva-se entender qual seria a participação e participação ideal de cada estado perante o Sistema Interligado Nacional.

2.3 Análise de Riscos

A variabilidade das fontes é algo amplamente conhecido, tornando assim a decisão de operação muito mais complexa e intangível. Para isso, ferramentas de análise de risco serão utilizadas de modo a prever e mensurar um impacto da variabilidade da fonte eólica no subsistema Nordeste, utilizando métricas como o VaR (Value at Risk) e o cVaR (conditional Value at Risk).

O VaR é uma estimativa da máxima perda potencial, a um dado nível de confiança que uma instituição estaria exposta durante um período. Ou seja, com uma certa probabilidade, as perdas não excederão o VaR (JP Morgan 1996). Segundo Oliveira (2009), se o nível de significância é de 5% ($\alpha=5\%$), basta determinar o quinto percentil da distribuição empírica atual dos retornos, para



se obter o VaR de uma série de amostras. O primeiro passo para o cálculo do VAR é a escolha de dois fatores quantitativos: o horizonte de tempo da amostra e o intervalo de confiança (ou IC). O horizonte de tempo é definido de acordo com a natureza do fundo e para o IC deve ser escolhido um valor alto que calcularia uma perda raramente excedida. Existem dois métodos de análise passíveis, o método de simulação histórica, em que os dados são diretamente usados como cenários para o cálculo de risco, e o método de simulação Monte Carlo os cenários são gerados aleatoriamente, conforme a metodologia clássica largamente utilizada em várias áreas (ALEXANDER, 2010).

Para Markowitz (1952), o processo de selecionar uma carteira de ações pode ser dividido em duas etapas. A primeira tem início na observação e experiência do investidor e é finalizada com expectativas sobre o desempenho futuro dos títulos analisados e disponíveis para investimento. A segunda etapa, da qual trata o trabalho de Markowitz, inicia-se com as opiniões sobre o futuro e termina com a escolha de uma carteira de ações. A teoria de seleção de portfólios foi desenvolvida por Markowitz para aplicação em títulos financeiros.

De acordo com Markowitz, os investidores avaliariam portfólios apenas com base no valor esperado e na variância das taxas de retorno sobre um período. As únicas informações relevantes para a análise de investimentos seriam o valor esperado (média) e a variância (desvio padrão) dos retornos. Para o uso das medidas simétricas de risco, é assumido que os investidores apresentam um comportamento compatível com o conceito de simetria de risco e que seguem uma distribuição normal, assumindo assim que os investidores possuem uma função de utilidade quadrática. (MIGUEL, 2016).

O risco sistêmico é uma variável sempre presente e ativa, e sempre será encontrado em qualquer tipo de ativo. Pode-se ter a sua fonte dentro ou fora de uma crise do sistema financeiro ou pode

resultar da interconexão de instituições financeiras particulares e mercados financeiros e sua devida exposição na economia real (Szpunar, 2012).

Segundo SMAGA (2014),:

- a. O risco sistêmico representa uma grande participação dos sistemas financeiros e são responsáveis por interromper a sua performance como suas funções.
- b. O elemento chave do risco sistêmico é a conexão entre elementos interconectados de um sistema que podem sofrer um choque.
- c. Na literatura o risco sistêmico começou a aparecer na metade dos anos 90, mas sua citação se intensificou com a crise financeira global.

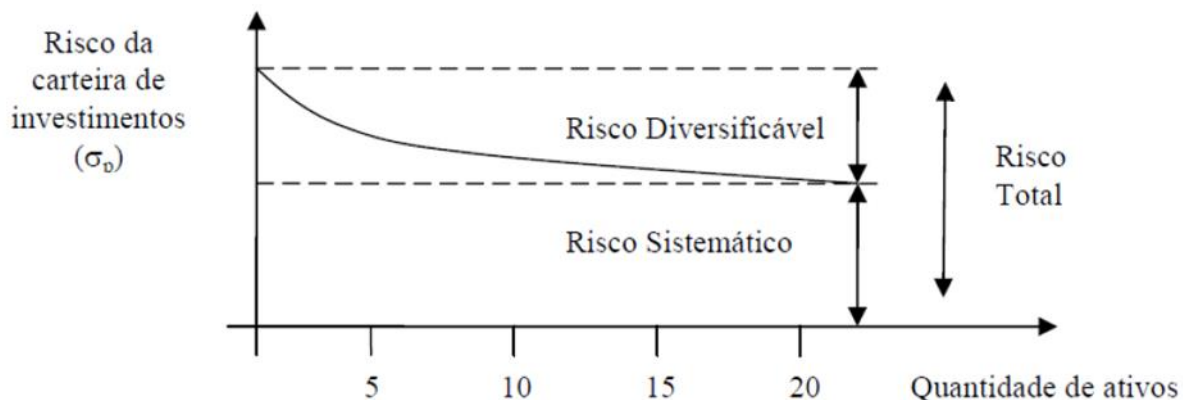


Figura 2 - Risco Sistemático

No presente estudo, o risco sistemático é intrínseco a fonte, ou seja o risco condizente com o padrão do vento na região estudada, sendo ilógico um cenário de geração sem risco, acontecendo somente em um ambiente controlado no qual o vento possuiria uma velocidade única.

RESULTADOS

Os dados de geração do ano de 2017 foram analisados de maneira cautelosa e apresentaram comportamentos diversos quando segregados por regiões e estados, como era esperado. Assim,

podemos estimar o comportamento da geração, prevendo sua estimativa de geração e a sua variabilidade.

Para melhor entender o risco de falha, utilizou-se o $cVaR$ e o Var para um intervalo de confiança de 95%. Os valores estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2 Valores de VaR e CVaR por estado

| Bahia | RN | CE | PE | PI | RS | SC |
|-------------|-----|----|-----|----|----|----|
| <i>vAR</i> | | | | | | |
| 12% | 17% | 6% | 17% | 6% | 7% | 3% |
| <i>CvAR</i> | | | | | | |
| 9% | 14% | 5% | 15% | 5% | 5% | 3% |

Apesar de serem ferramentas simples, fica evidente que o risco de falha de 5% é extremamente diferente em cada estado e que o $CvAR$ tbm se apresenta em uma faixa ampla. Logo, pode-se concluir que estados como o Rio Grande do Norte e Pernambuco apresentam uma maior probabilidade de falha ou baixa confiabilidade, quando comparado com os demais estados.

Como os valores apresentados na Tabela 2 são pouco conclusivos, foram elaborados diversos cenários considerando pares de estado (como se fossem pares de ativos) para elaboração e visualização do Portfólio de Markowitz e a fronteira eficiente atrelada a mesma carteira.

Para melhor se comparar, foram utilizados os estados da Bahia, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul para elaboração das combinações com todos os diversos estados. Os mesmos foram

escolhidos pois apresentam a maior participação da fonte eólica no SEB e por possuírem ventos com características distintas.

Como objeto de saída foram obtidos diversos dados com diversas combinações de carteiras de pares, ou seja, uma análise de risco dos estados que possuem a maior relevância. Na figura 3 estão expressos os cenários de combinação da Bahia com todos os estados.

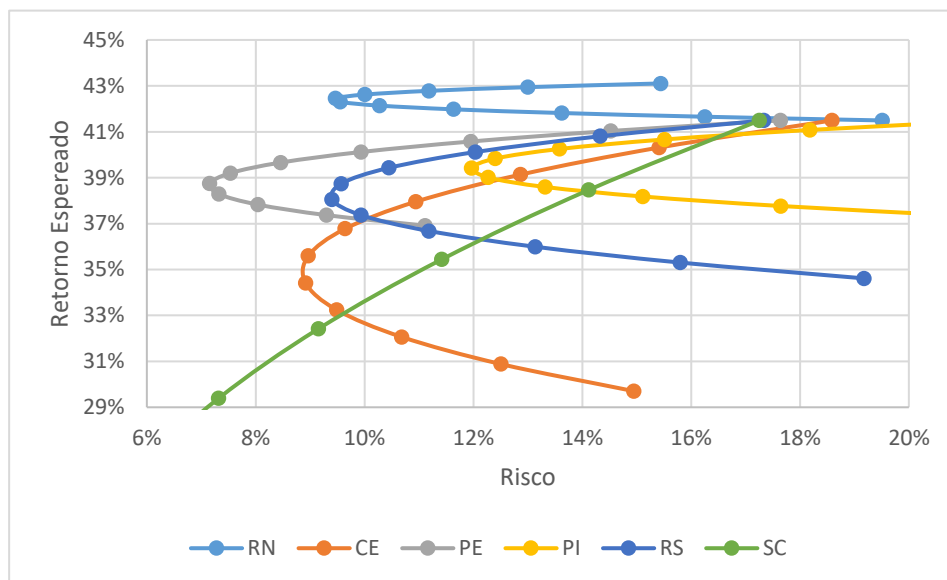


Figura 3 – Portfólio sugerido para a Bahia

Como observado nos outros cenários, Santa Catarina não auxilia em nenhum cenário a mitigar riscos para a faixa de retorno mostrada, apenas para esperanças próximas a 15%.

Como realizado para a Bahia anteriormente, está apresentado na Figura 4 a carteira de combinações recomendada para o Rio Grande do Norte.

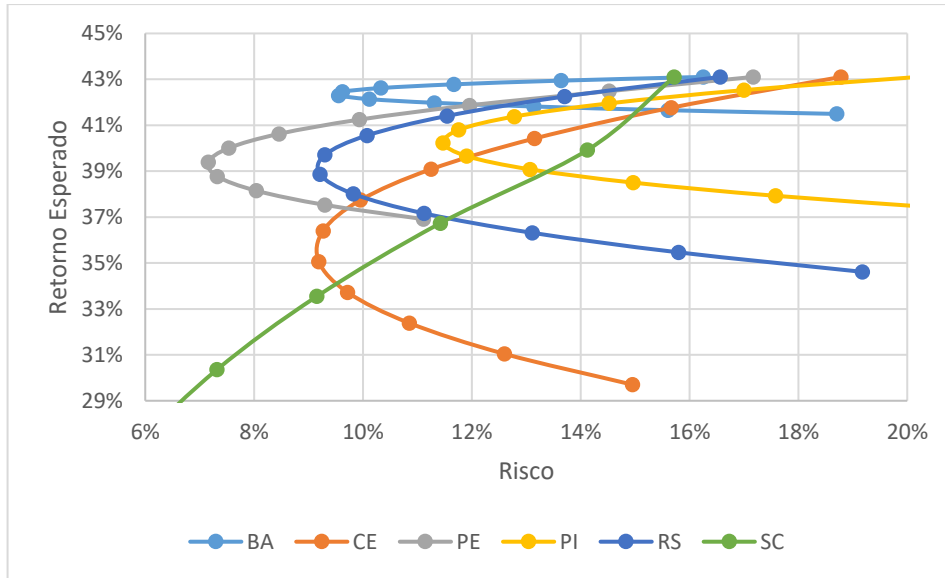


Figura 4 - Portfólio sugerido para o RN

Como no caso da Bahia, todas as carteiras propostas possuem uma combinação benéfica. Na Figura 5 está apresentado o mesmo cenário de combinações para o Rio Grande do Sul como feito para a Bahia e Rio Grande do Norte. O fato relevante é que devido aos distintos padrões de vento, essa carteira apresentou um retorno esperado significativamente diferente, quando comparado com o caso da Bahia e Rio Grande do Norte.

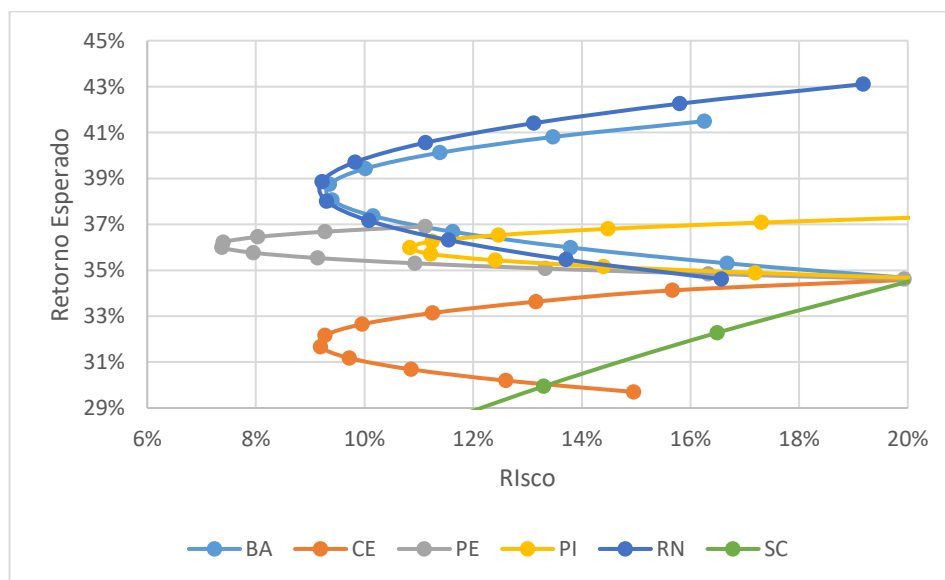


Figura 5 - Carteira Proposta para o RS



Considerando um portfólio macro com todos os estados que possuem parques eólicos em operação, foi otimizada uma carteira ideal com uma proporção ótima da contribuição de cada parque. Em outras palavras, a teoria de portfólio de Markowitz possibilitou estimar uma composição ideal de parques eólicos para um comportamento previsível e com um risco baixo, quando comparado a uma expansão em um estado singular.

E após a análise da carteira proposta foi estipulada a carteira que apresenta uma expectativa de retorno (E [C]) de 10% com um risco atrelado de 12%. Os cenários foram obtidos com o uso do método de Monte Carlo. A tabela abaixo apresenta o percentual de participação de energia eólica de cada estado para que se maximize o retorno minimizando o risco.

Tabela 3 Carteira Otimizada

| Bahia | RN | CE | PE | PI | RS | SC |
|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 25,17% | 5,58% | 24,29% | 12,01% | 21,03% | 5,45% | 6,48% |

CONCLUSÃO

Interessante observar que os diversos cenários de participação dos estados geraram uma carteira muito mais eficiente, porém o risco pouco variou quando comparado com a expectativa de retorno. O risco analisado é referente a geração, causando momentos de geração abaixo da estimativa ou a não geração, expondo assim o empreendedor devido a cláusulas contratuais. Pode-se assumir que a carteira possui um risco sistêmico em volta de 9%, logo não existe um cenário que possua um risco menor. Deve-se assumir o risco como uma característica intrínseca do projeto e com isso tomar decisões de expansão, operação e contratuais na venda de energia em leilões do ambiente regulado e no mercado livre.

As ferramentas utilizadas quantificam e conseguem comparar os distintos riscos, porém recomenda-se a procura e o uso de outras ferramentas para melhor entender a particularidade e os detalhes inerente da fonte eólica.

Como expresso na análise de histogramas, é sensitivo que a polarização da fonte é extremamente benéfica podendo assim a auxiliar na sua expansão. Os resultados aqui expressos podem ser um indicativo de expansão ideal, mas recomenda-se o detalhamento de análises distintas, avaliando inclusive diferentes períodos e intervalos de tempo.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, C. *“Market Risk Analysis”*, Vol I-IV John Wiley & Sons Ltd.; 2010.

CAMARGO, L.A.S.; *“Estratégias de comercialização e investimento, com ênfase em energias renováveis, suportadas por modelos de otimização especializados para avaliação estocástica de risco x retorno; 2015”*.

JP MORGAN. *“Risk Metrics”*. New York: Technica Document; 1996.

Macro-prudential Commentaries Issue No: 4, ESRB, 5

MIGUEL, F.K.; *“Aplicação da Teoria de Portfólio de Markowitz para a geração de energia elétrica proveniente de empreendimentos Eólicos no Brasil”*; 2016.

ONS; *“Base de dados de geração”*, 2017

OLIVEIRA, F. A. *“Estratégia de comercialização de energia elétrica através da otimização de portfólio de contratos utilizando projetos de experimentos de misturas”*. ISEE. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá; 2009.

SZPUNAR, P. J. and GŁOGOWSKI, A. *“Lending in foreign currencies as a systemic risk”*; 2012.

SMAGA, P. *“The concept of systemic risk”*; 2014.

.

BIOGRAFIAS

Eduardo Hahn de Castro – Engenheiro civil formado pela UFPR, atuando no setor de energia na concepção e prospecção de projetos. Amplo conhecimento regulatório, de gestão e análise de riscos. Mestrando no PPGERHA - UFPR, estudando planejamento energético, especificamente o Setor Elétrico Brasileiro.

Maurício Pereira Cantão – Doutor em Ciências pelo Instituto de Física da Unicamp. Pesquisador sênior do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) de 1994 a 2010, tendo exercido os cargos de Pesquisador Sênior, Gerente de Departamento e Superintendente de Tecnologia. Tem experiência em síntese de amostras e técnicas de caracterização de materiais. Atua na área de Fontes Alternativas de Energia, com ênfase em células a combustível e produção de hidrogênio a partir do etanol. Atualmente executa atividades de pesquisa em nível de pós-doutorado na UFPR/DHS, com o tema de Fontes Alternativas e Tecnologias de Armazenamento de Energia no Planejamento da Operação do Setor Elétrico Brasileiro. Professor visitante do



PPGERHA/DHS/UFPR e professor permanente do PRODETEC (Mestrado Profissional), tendo sido coordenador deste programa de 2007 a 2010.