



Estudo de Desempenho de Séries de Referência

Adriana Nunes, João Caldas, Paulo Campos, Vicente Ferrer

Departamento de Engenharia/Casa dos Ventos

Av. Brigadeiro Faria Lima 2055 12º Andar, São Paulo-SP, Brasil

joao.caldas@casadosventos.com.br

vicente.ferrer@casadosventos.com.br

Resumo: Sabendo a importância do estudo de extrapolação de longo prazo do recurso eólico para viabilização e mitigação de riscos do projeto, foi realizada uma comparação entre duas bases de reanálise globalmente reconhecidas no setor eólico, ERA5 e MERRA-2. O Desempenho em MCP (Measure-Correlate-Predict) para esses dados de reanálise foi avaliado com modelos de regressão lineares simples para medições de alta qualidade da velocidade do vento no Brasil. As bases foram utilizadas na extrapolação de velocidade de vento para o longo prazo de mais de 280 torres de medição anemométrica, sendo comparados os níveis de correlação e comportamento por região escolhida.

Palavras-chave: Geração Eólica, Extrapolação de Longo Prazo, Reanálise.

INTRODUÇÃO

A análise de viabilidade de um projeto eólico passa por diversas etapas, como o estudo do recurso eólico, de impacto ambiental, de custos de implantação, de financiabilidade, entre outros. Cada uma dessas etapas é de extrema importância para o projeto e devem ser realizadas de forma a minimizar o seu risco durante seu período de operação.

A etapa de análise do recurso por si só já passa por várias fases, que vão desde a análise prévia da região por simulação numérica, início de medições anemométricas, tratamento de dados e extrapolação das medições para o prazo de operação do projeto. Essa última fase é necessária pois o período de operação do projeto é na maioria das vezes 5 a 6 vezes maior do que o período das campanhas de medição. Dessa forma, a extrapolação para o longo prazo deve ser realizada com cautela pois é nesse momento que se define a característica e intensidade média do vento, ou do recurso, que irá atuar ao longo da vida do projeto. Essa cautela se faz

importante pois o recurso está diretamente ligado à geração de energia e logo à geração de receita do projeto. Uma análise do projeto equivocada poderia trazer uma realidade de receita diferente da esperada por seus acionistas.

Nesse contexto, a extrapolação de medições para o longo prazo é o foco deste trabalho. São comparadas duas bases de reanálise contendo séries de velocidade de vento no período de 2008 a 2018 (10 anos), testando sua correlação e erro em bases mensais com 287 torres anemométricas. O objetivo foi de tentar traduzir qual seria a base de melhor representatividade para o longo prazo nas áreas de melhor recurso eólico do Brasil.

ESTUDO DE CASO

Foi realizada a comparação entre duas bases de reanálise em termos de correlação e erro com 287 torres anemométricas espalhadas pelo Brasil. A representatividade de cada uma das bases foi testada, com o intuito de se estabelecer suas regiões de melhor atuação.

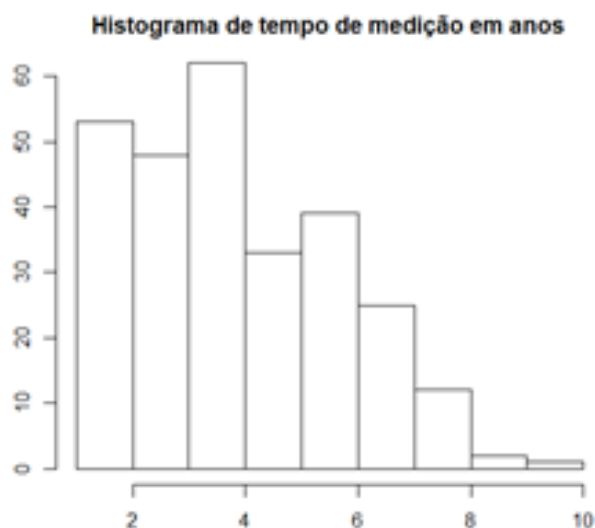


Figura 1 - Histograma em quantidade de torres anemométricas por tempo de medição das campanhas para avaliação de recurso eólico em regiões com potencial.

A velocidade do vento extrapolada/interpolada a 100m foi considerada nesse estudo. Para os diferentes períodos de agregação dos dados, considerou-se apenas períodos com taxa de recuperação dos dados acima de 85%.

As bases de reanálise testadas foram MERRA-2 e ERA5.

O MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2) é a base de reanálise fornecida pelo GMAO (Global Modeling and Assimilation Office), ligado ao programa de observações terrestres da NASA. O GMAO é o escritório responsável pela pesquisa, desenvolvimento e assimilação de modelos para as missões da NASA. Um de seus produtos é o MERRA-2, que provê, entre outros tipos de dados, séries horárias de vento zonal e meridional a 50m de altura desde 1980 na resolução de $0.625^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. O MERRA-2 teve a responsabilidade de substituir o MERRA, o qual teve seu sistema de assimilação congelado em 2008. O MERRA-2 possui um sistema de assimilação mais moderno, GEOS-5, que consegue utilizar os mais variados tipos de dados em seus modelamentos.

O ERA5 pertence ao ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), instituto de pesquisa europeu que fornece previsões climáticas e monitoramento atmosférico de todo o globo. O ERA5 utiliza o sistema de assimilação 4D-Var do ciclo CY41R2 do ECMWF IFS (Integrated Forecast System), fornecendo séries horárias de vento zonal e meridional a 100m de altura desde 1979 em resolução de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Para compor seus modelos, assim como o MERRA-2, o ERA5 também utiliza dados satelitais, de radiossondas, aeronaves, entre outros.

Abaixo seguem as distribuições de velocidade do vento para os pontos da malha de dados correspondente mais próximos das campanhas de medição anemométrica consideradas.

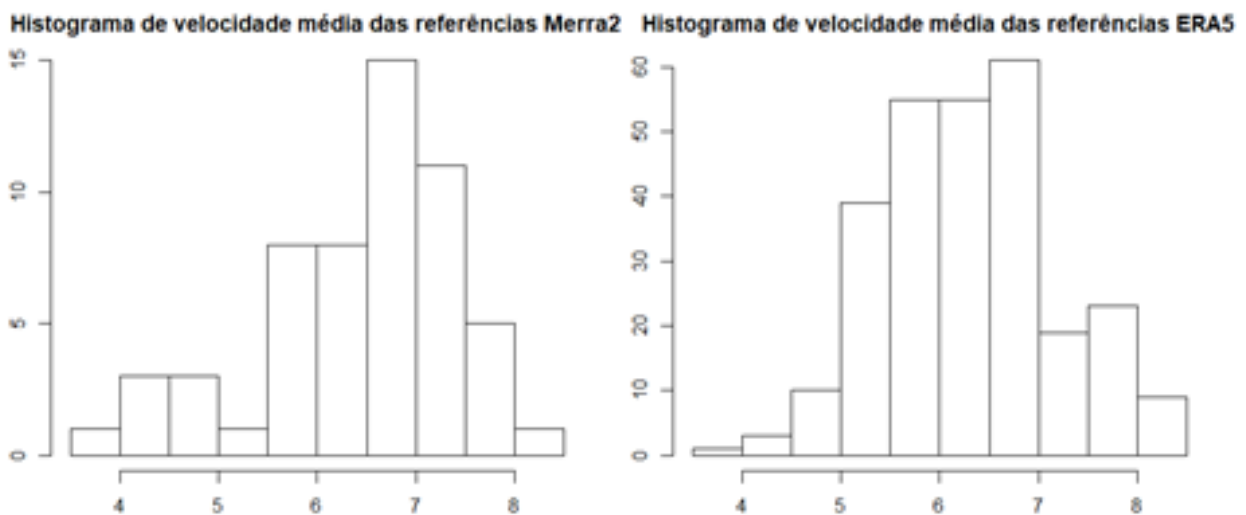


Figura 2 - Histogramas em quantidade de pontos da malha como série de referência mais próxima das campanhas anemométricas por velocidades média do vento (m/s).

MÉTODOS

Os pontos da malha de dados mais próximos foram correlacionados com as medições anemométricas, resultando em uma amostragem de 111 pontos ERA5 e 56 pontos Merra2 começando. Foi considerado período comum de dados de 2008 a 2018. Modelos de regressão lineares simples foram adotados por simplicidade para análise de desempenho com mínima interferência do modelo utilizado. Não foram adotadas exclusão de outliers de variáveis preditoras, nem remoção de pontos de influência. A métrica (*score*) de desempenho adotada foi o coeficiente de determinação, conhecido como R^2 , que indica, em porcentagem, o quanto um modelo de regressão consegue explicar a relação entre as variáveis. Quanto maior o R^2 , mais o modelo é explicativo, ou seja, melhor ele se ajusta à amostra. Considerando que será utilizado o mesmo modelo de predição, regressão linear simples, referências com maiores valores de R^2 , apresentaram melhor capacidade de previsão.

Definindo:

$$SQ_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad SQ_{exp} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

Tem-se que a soma total dos quadrados (SQ_{tot}) é igual à soma dos quadrados explicada (SQ_{exp}) com a soma dos quadrados dos resíduos (SQ_{res} ; parte não explicada pelo modelo), logo:

$$SQ_{tot} = SQ_{exp} + SQ_{res} \quad \text{e} \quad R^2 = \frac{SQ_{exp}}{SQ_{tot}} = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}}$$

Essas variáveis podem ser representadas no diagrama de Taylor.

A métrica de erro adotada foi o erro quadrático médio, dado por:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (\hat{y}_t - y_t)^2}{T}}$$

RESULTADOS

Foram obtidos resultados para modelos lineares entre observações (medições anemométricas) e séries de modelos de reanálise em diferentes períodos de agregação: médias diárias e mensais. Os resultados estão apresentados em diagramas de Taylor com desvio padrão normalizado. Neste gráfico, cada modelo (regressão linear entre uma torre anemométrica e a série de referência mais próxima) é representado por um ponto, de forma que pode-se comparar sua correlação, desvio padrão e métrica de erro.

Abaixo estão representados os modelos obtidos apenas com a série Merra2 para médias mensais (preto) e diárias (azul).

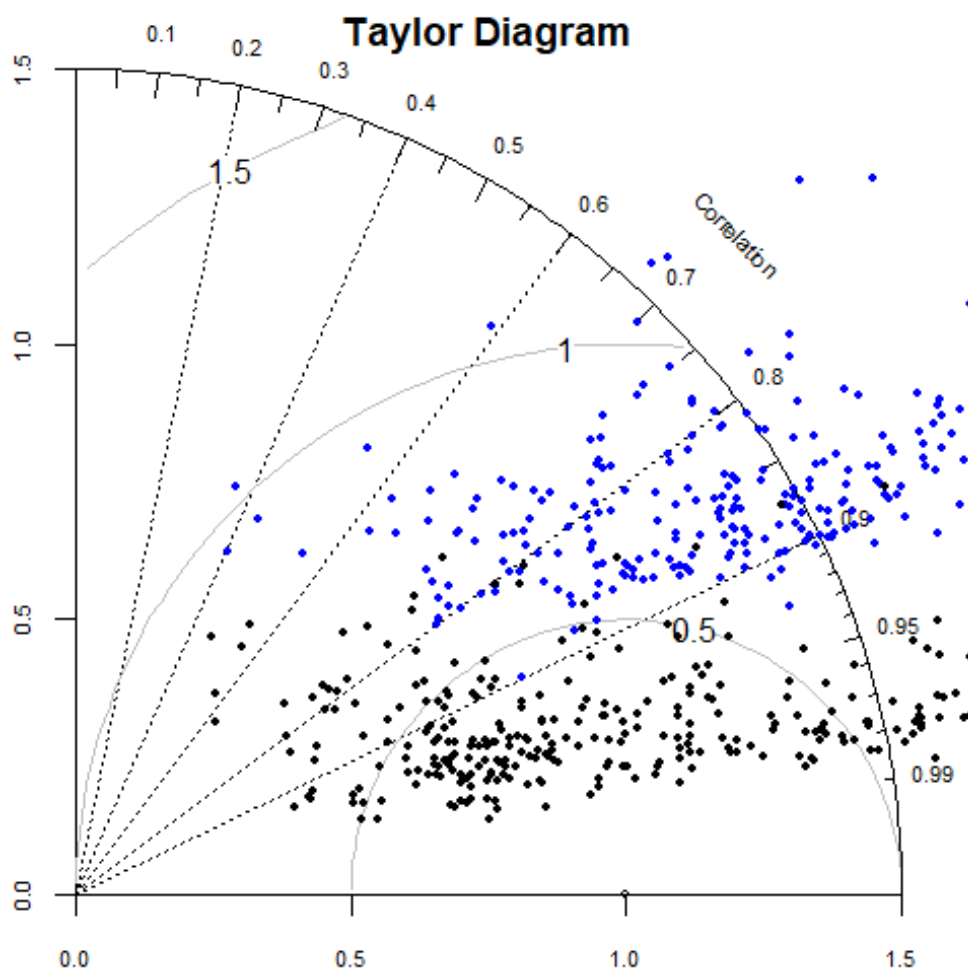


Figura 3 - Diagrama de Taylor para todos os modelos lineares obtido com Merra2, observando a sensibilidade de desempenho entre médias mensais (preto) e diárias (azuis).

Observa-se, portanto, um ganho expressivo de desempenho para modelos de regressão linear com médias mensais. Os modelos criados com médias mensais apresentam uma estimativa com erro significativamente menor, conforme o gráfico abaixo.

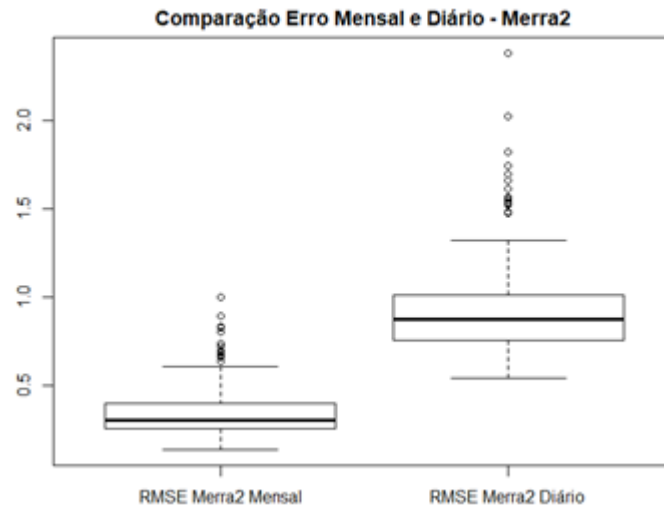


Figura 4 - Comparativo da distribuição do erro dos modelos lineares entre período de agregação (diário e mensal)

Erro quadrático médio de 0.35 m/s para modelos com médias mensais e 0,93 m/s para modelos com médias diárias.

No comparativo para se avaliar a eficiência das duas bases de reanálise. Das regressões lineares obtidas pelas médias mensais dos períodos comuns das torres e das respectivas bases, formulou-se o diagrama de Taylor mostrado na figura abaixo.

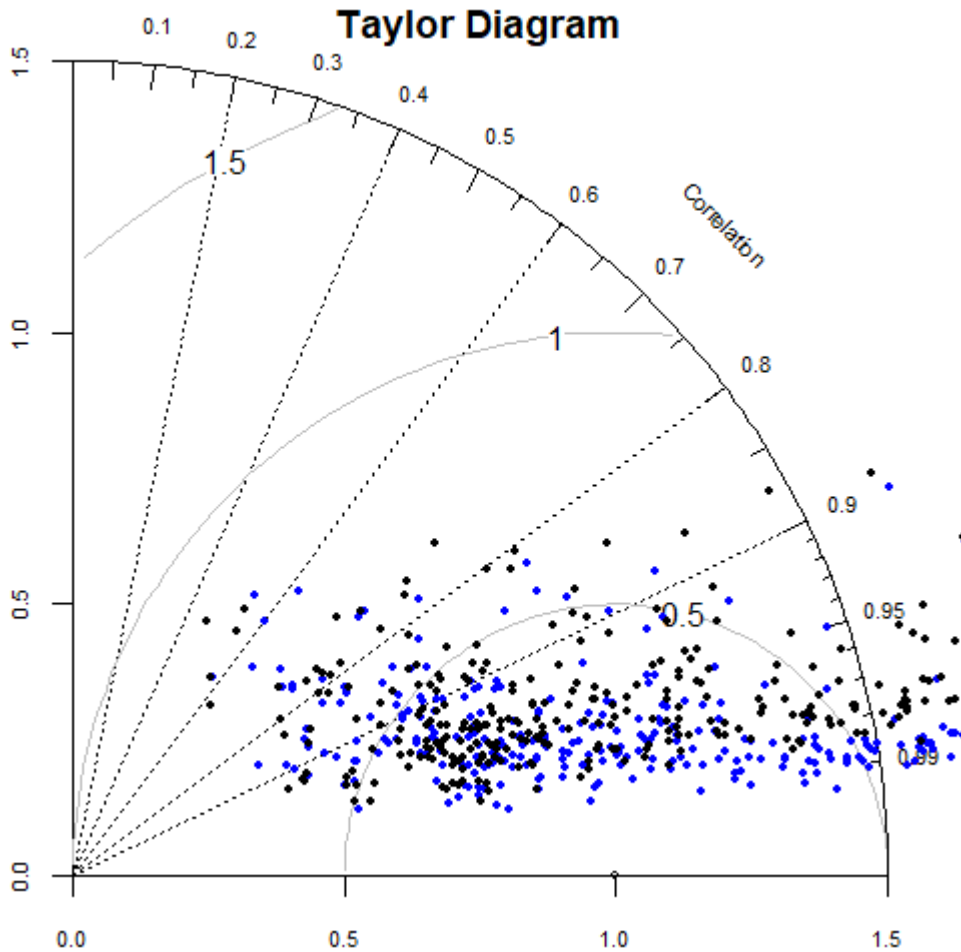


Figura 5 - Diagrama de Taylor obtido pela correlação entre as medições das torres com as bases de reanálise, em termos de médias mensais. Em preto, os resultados obtidos pelo MERRA-2. Em azul, são exibidos os resultados com ERA5.

Apesar de pequena diferença entre o desempenho dos modelos considerando as duas séries de referências distintas, é possível observar um pequeno ganho, de modo geral, na utilização do ERA5. Esta referência é mais moderna e constata-se, desta forma, sua maior aderência às medições meteorológicas de forma mais robusta no nordeste do Brasil, principalmente em áreas de grande interesse para desenvolvimento de novos projetos eólicos.

No gráfico abaixo é possível avaliar um ganho significativo na redução dos erros dos modelos com a utilização da série ERA5, apresentando não apenas valores de erro menores, mas uma distribuição de erros mais concentrada.

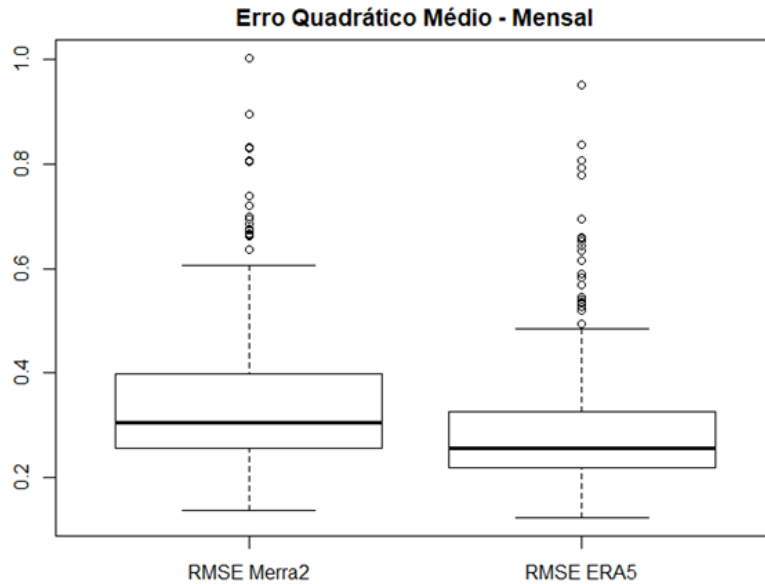


Figura 6 - Boxplot dos erros quadráticos médios calculados para o modelo linear com cada torre anemométrica considerando as duas séries de referência.

A média dos erros quadráticos médios dos modelos reduz de 0,35 m/s com Merra2 para cerca de 0,29 m/s com ERA5.

Em termos de R^2 , os modelos lineares obtidos com a base ERA5 (93%) superam em 3 pontos percentuais os resultados obtidos com MERRA-2 (cerca de 90%).

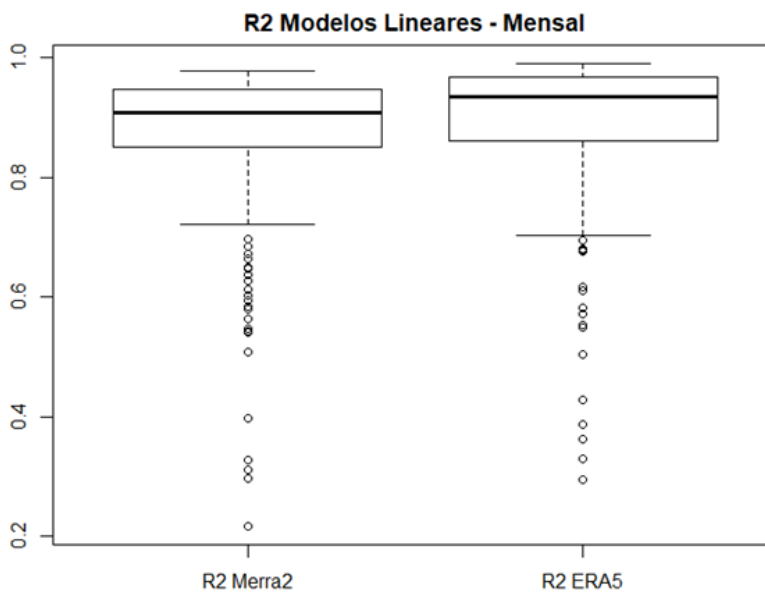


Figura 7 - Boxplot dos coeficientes de determinação dos modelos lineares com ERA5 e Merra2.



CONCLUSÃO

Foram comparadas as duas bases de reanálise de maior evidência no setor eólico nos processos de extrapolação de longo prazo de recurso. MERRA-2 e ERA5 são produtos de recentes atualizações de seus antigos modelos e já possuem quantidade considerável de dados disponíveis ao público em geral.

Do estudo, foram realizadas comparações do desempenho das duas bases com 287 torres anemométricas. A métrica utilizada foi o coeficiente de correlação R^2 e o desvio padrão da série obtida quando comparada com a série observada.

Os resultados trazem o ERA5 com resultados melhores aos encontrados pelas regressões com MERRA-2, obtendo um coeficiente de correlação três pontos percentuais acima das regressões obtidas pelo MERRA-2.

Ainda não tão divulgado no Brasil e pelo fato de há pouco tempo suas séries de dados só conterem o período de 2008 até os dias atuais, o ERA5 vem sendo validado em diversas regiões no Brasil, e já é razoável pensar que comece a ser utilizada em cada vez mais projetos eólicos brasileiros.

REFERÊNCIAS

- [1] Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): **ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate**. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), acesso em 01/03/2018. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- [2] MERRA-2 Overview: **The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2** (MERRA-2), Ronald Gelaro, et al., 2017, J. Clim., doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1
- [3] CROUHY, Michel; MARK, Robert; GALAI, Dan., **Risk Management**, 1ª ed, Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2000.



BIOGRAFIA

João Caldas – Natural de Recife/PE e nascido em 03 de julho de 1987, formou-se em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo ITA (2012). Trabalhou com modelagem CFD para turbinas à gás na *Alstom Power Switzerland*. Possui MBA em *BigData* e *Analytics* pela FGV. Com sete anos trabalhando no setor eólico, acumula experiência em prospecção *greenfield* de recursos eólicos e projeto de parques eólicos na Casa dos Ventos.

Vicente Ferrer – Natural do Rio de Janeiro/RJ e nascido em 23 de março de 1991, formou-se em Engenharia Aeronáutica pelo ITA (2014). Durante a graduação, trabalhou com vibrações no laboratório do VLS brasileiro e na Safran Aircelle, em Toulouse, França. É pós-graduado em energias renováveis pela UTFPR. Trabalhou quatro anos na consultoria Camargo-Schubert, acumulando experiência em prospecção *greenfield* de recursos eólicos, projeto e análise de operação de parques eólicos, e na elaboração de atlas solares e eólicos. Atualmente é gerente de projetos em desenvolvimento na Casa dos Ventos.