

## ANEXO 10.1

### Aprimoramento de Potencial Eólico por meio de Conhecimento de Desvios de Geração e Filosofia de Manutenção Preditiva

#### 1. CONTEXTUALIZAÇÃO E CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor elétrico brasileiro está cada vez mais inserido em um processo de diversificação de sua matriz energética, com a incorporação estratégica de fontes renováveis de energia, como a energia eólica. Neste movimento de expansão, no entanto, a geração eólica enfrenta diferentes desafios ao seu amadurecimento, decorrentes, sobretudo, da intermitência inerente ao recurso natural, o vento, a saber: a previsão meteorológica do recurso eólico de longo prazo; o planejamento energético de médio prazo; a gestão da operação e manutenção no curto prazo e o aprimoramento da eficiência energética operacional dos aerogeradores de modo geral.

Nesse contexto, dois grandes temas despontam como possibilidades complementares e necessárias de desenvolvimento: previsão de recurso eólico e conversão de vento em energia. Tais elementos compõem a base de diversos processos no âmbito da geração eólica. No primeiro caso, há um esforço pelo aperfeiçoamento da modelagem climática e meteorológica, em que se buscam previsões de vento com horizonte temporal mais longo, resoluções temporal e espacial menores e maior precisão; já no segundo, almejam-se modelos de conversão cada vez mais completos, com a integração de variáveis sensíveis ao desempenho dos aerogeradores; adequados ao horizonte de tempo de interesse, seja de curto (horário, diário, semanal) ou médio prazo (mensal, anual); e capazes de antecipar resultados que se verificam na prática.

Realizado, majoritariamente, por meio de previsões incertas de recurso eólico de médio prazo e por modelos de conversão simplificados, o planejamento energético de médio prazo é um processo bastante relevante que fundamenta tanto o planejamento anual no mercado de energia, quanto o planejamento de curto prazo de operação e manutenção (O&M). Em ambos os casos, o recurso financeiro envolvido é expressivo e significativo. Por um lado, a previsão de geração para certo ano determina a necessidade de se complementar o portfólio comercial no mercado livre de energia; por outro lado, o cronograma preventivo de manutenções envolve a alocação dos serviços necessários, a exatidão do momento das paradas e intervenções, além da gestão de contratos com fabricantes e fornecedores.

Por sua vez, no planejamento de curto prazo, refina-se a previsão de geração eólica para que a gestão da O&M seja estabelecida de modo otimizado. Isto é possível através de um processo de conversão do recurso eólico em energia menos sujeito a erros e incertezas, resultante de, no curto prazo, as previsões de vento serem mais corretas e o modelo de conversão ser mais detalhado.

Internamente, conforme ilustrado na Figura 1, o processo de curto prazo de conversão de vento em energia ocorre da seguinte maneira:

- 1) A partir de uma modelagem climática e meteorológica, são obtidos dados de previsão de recurso eólico de curto prazo (resolução temporal de 10 minutos);
- 2) O modelo de conversão de vento em energia de curto prazo, por meio de Funções de Transferência (FTs), fornece dados brutos de geração potencial;
- 3) Em seguida, são introduzidas estimativas de ineficiências, perdas e indisponibilidades dos aerogeradores, resultando na geração esperada (dados líquidos).

De modo complementar, a operação dos aerogeradores – os quais concretamente possuem ineficiências, perdas e indisponibilidades – produz a geração observada a partir do recurso eólico presente (dados reais). Mediante a comparação entre a geração esperada e a geração observada, são derivados os desvios de geração. Levando-se em conta que naturalmente não é possível anular tais desvios, os esforços voltam-se à sua minimização.

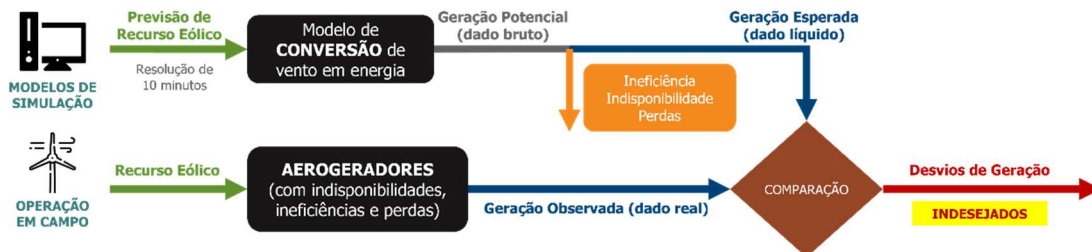


Figura 1 – Processo de comparação entre o planejamento energético de curto prazo e a operação.

A primeira questão de suma importância que se coloca é: qual a origem dos desvios de geração? Em outras palavras, quais são os fatores causadores de desvio entre a geração observada e a esperada? Identificadas as causas, qual seria a parcela de responsabilidade de cada uma perante o montante de desvio observado?

Para responder adequadamente a essa questão, é necessário que o monitoramento dos parques eólicos forneça dados relevantes para determinar o desempenho operacional dos aerogeradores e a qualidade do vento; esses dados devem ser suficientes para o conhecimento dos fatores causadores de desvio, bem como sua parcela de responsabilidade no desvio total. Comumente, o monitoramento de parques eólicos é um tema delicado, uma vez que o processo de medição e armazenamento dos dados monitorados costuma estar sob responsabilidade e domínio dos fabricantes. Isso dificulta significativamente a disponibilidade de tais dados, de modo que não só tenham que ser acessados sob demanda, como cada fabricante utiliza um formato específico (para seus respectivos modelos de equipamento), prejudicando sua integração nos processos próprios do Grupo CPFL.

Considerando este cenário, há um projeto na CPFL, atualmente em fase de contratação, voltado à construção de uma base de dados consolidada (Data Lake) que integrará os dados dos sistemas SCADA dos aerogeradores dos diversos fabricantes, padronizando seu formato e tornando-os disponíveis para utilização por outras aplicações.

Desta forma, encaminha-se a segunda questão central: dada a introdução de tal banco de dados, como usufruí-lo para aprimorar a eficiência e a disponibilidade dos aerogeradores e assim aumentar o aproveitamento do potencial eólico do Grupo?

A resposta perpassa por soluções de Inteligência Artificial (IA). A aplicação de soluções de IA sobre os dados viabilizados pelo Data Lake, conforme esquematizada na Figura 2, permitirá: mapear os fatores causadores de desvios de geração; aprofundar o entendimento sobre o comportamento e correlação de variáveis que impactam a eficiência energética dos aerogeradores; realizar um estudo de falhas desses equipamentos; e conceber uma filosofia de manutenção preditiva para os parques eólicos.

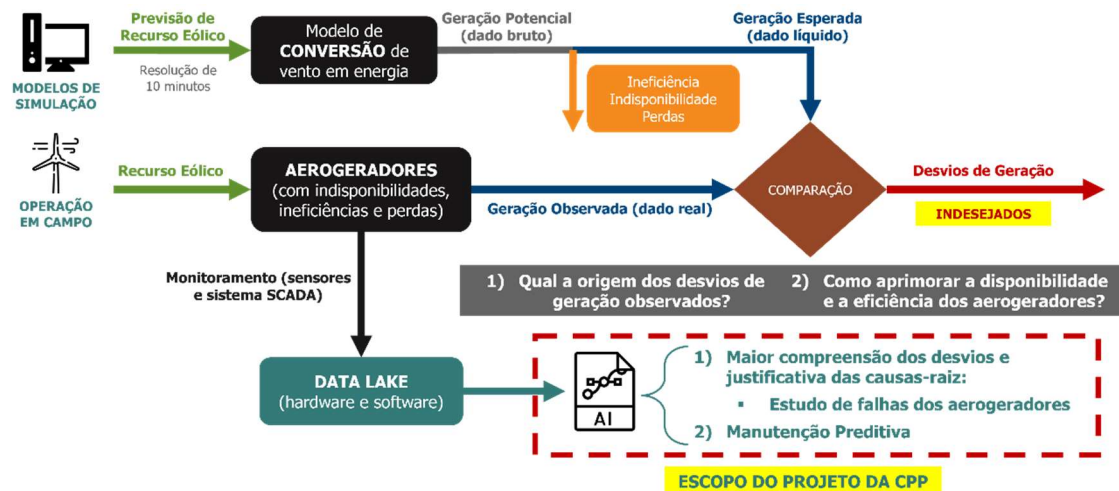


Figura 2 – Esquemático ilustrativo do escopo do projeto da Chamada Pública.

## 2. OBJETIVOS

Tendo em vista a contextualização anterior, esta Chamada Pública visa um projeto de PD&I que contemple os seguintes objetivos:

- 1) Dominar o potencial energético dos parques eólicos por meio do conhecimento dos **desvios de geração** observados:
  - Potenciais fatores causadores de desvio: recurso eólico; configuração do ambiente; eficiência e disponibilidade dos aerogeradores; modelagem e conversão de vento em energia; qualidade dos dados; entre outros a serem sugeridos ou descobertos e, assim, incluídos no escopo ao longo do projeto.
- 2) Realizar **estudo de falhas** dos aerogeradores:
  - Identificação da evolução temporal (trajetória) de variáveis de interesse até a ocorrência da falha dos equipamentos;
  - Correlação entre variáveis monitoradas e envolvidas nos eventos de falha;
  - Indicação de sensoriamento complementar.
- 3) Desenvolver **filosofia de manutenção preditiva** a partir do estudo de falhas dos aerogeradores:
  - Estabelecimento de parâmetros para a adaptação do cronograma de manutenção preventiva vigente com antecipação ou postergação de intervenções.

Em suma, almeja-se um projeto baseado em soluções de Inteligência Artificial capaz de analisar dados de monitoramento dos parques eólicos a fim de identificar fatores causadores de desvios de geração, estudar a ocorrência de falhas nos aerogeradores e desenvolver uma filosofia de manutenção preditiva.

### 3. REQUISITOS E RESULTADOS ESPERADOS

Considerando a contextualização retratada previamente, o projeto de PD&I proveniente desta Chamada Pública irá compor parte relevante de um processo de progresso e expansão da geração eólica na CPFL. Como mencionado, este projeto terá como eixo de desenvolvimento a aplicação de IA sobre os dados de monitoramento dos aerogeradores dos parques eólicos do Grupo (Figura 2). Trata-se de um Data Lake (base de dados única e consolidada) proveniente de outro projeto, atualmente em fase de contratação, com previsão de início, execução e encerramento no 1º semestre de 2022, contendo dados operacionais dos aerogeradores (potência, velocidade do vento, temperatura variadas, orientação, ângulos de passo, velocidade de rotação do rotor e do gerador, entre outros) com resolução de 10 minutos (conforme norma IEC 61400-12 e dados SCADA), além dos alarmes e eventos de cada unidade geradora.

Levando em conta o cenário proporcionado por este projeto de Data Lake aqui descrito, bem como os objetivos almejados, as seguintes funcionalidades, distribuídas por temas, que compõem o escopo básico de projetos submetidos a esta Chamada Pública são:

#### 1) Data Lake:

- a. Acessar os dados de monitoramento dos aerogeradores;
- b. Tratar os dados, quando necessário, para selecionar as variáveis de interesse;
- c. Analisar o comportamento temporal das variáveis selecionadas;
- d. Correlacionar variáveis e seus efeitos no desempenho dos aerogeradores;
- e. Preparar a análise dos fatores causadores de desvio de geração e o estudo de falhas dos aerogeradores, conforme itens a seguir.

#### 2) Desvios de geração:

- a. Identificar potenciais fatores causadores de desvio de geração;
- b. Estabelecer uma relação consolidada de fatores causadores de desvio de geração mais relevantes;
- c. Detalhar cada fator consolidado recorrendo a subdivisões;
- d. Atribuir parcelas de responsabilidade aos fatores causadores de desvio e às respectivas subdivisões.

#### 3) Estudo de falhas dos aerogeradores:

- a. Determinar as variáveis de interesse relacionadas às falhas dos aerogeradores;
- b. Identificar a evolução temporal dessas variáveis até a ocorrência das falhas;
- c. Correlacionar as variáveis monitoradas e envolvidas nos eventos;
- d. Estabelecer trajetórias de referência a serem tomadas como base para a introdução da filosofia de manutenção preditiva;
- e. Indicar eventuais sensores complementares aos já existentes nos aerogeradores de modo a aprimorar o monitoramento dos parques eólicos.

#### 4) Filosofia de Manutenção Preditiva

- a. Determinar os valores limiares nas trajetórias de falha de referência;
- b. Atribuir alarmes correspondentes aos valores limiares predefinidos;
- c. Estabelecer os parâmetros mais relevantes na adaptação do cronograma de manutenção atual;
- d. Indicar os momentos ótimos para a manutenção dos aerogeradores, com antecipação ou postergação de intervenções;
- e. Estimar o ganho de geração e financeiro da decisão pela filosofia preditiva em comparação à preventiva vigente.

## 5) Apresentação dos resultados

- a. Estruturação de dashboards por níveis;
- b. Ex.: Desvios de geração: Nível Macro corresponde aos fatores causadores de desvio e nível Micro às subdivisões.

Em meio a tais funcionalidades, a relação a seguir aponta um possível detalhamento tanto dos fatores causadores de desvio de geração quanto do estudo de falha dos aerogeradores:

### 1) Fatores causadores de desvio de geração:

- a. Recurso eólico: velocidade, direção, efeito esteira, turbulência;
- b. Configuração do ambiente: disposição espacial dos aerogeradores no parque, temperatura, pressão e densidade do ar, relevo e condições geográficas;
- c. Eficiência dos aerogeradores: desgaste mecânico do material de partes ou peças, aproveitamento aerodinâmico (desalinhamento de nacele, por exemplo), falhas ou erros em malhas de controle, perdas elétricas;
- d. Disponibilidade dos aerogeradores: previsto em cronograma, atraso ou descumprimento de planejamento por fornecedores, alteração de cronograma devido à previsão de curto prazo;
- e. Modelagem e conversão de vento em energia: horizonte temporal, premissas assumidas, disponibilidade de dados;
- f. Qualidade dos dados: precisão das medições, erros ou falhas de sensores (gerando desvios anemométricos, por exemplo).

### 2) Estudo de falhas dos aerogeradores:

- a. Detalhamento de questões mecânicas, aerodinâmicas ou de materiais referentes aos equipamentos;
- b. Localização georreferenciada dos aerogeradores potencialmente sujeitos a falhas;
- c. Compreensão sobre a frequência de falhas e eventuais padrões de ocorrência após a recorrência de eventos;
- d. Conhecimento de correlações entre variáveis e de outras naturezas como temporal, sazonal, espacial ou geográfica.

Vale salientar que ambas as relações anteriores – de funcionalidades e de detalhamento – são referências e não são exaustivas, de forma que a entidade proponente pode se sentir livre para sugerir a inclusão de novos elementos de análise na proposta, bem como outros podem surgir ao longo da execução do projeto, sendo incorporados ao escopo.

Em resumo, portanto, a presente Chamada Pública busca o desenvolvimento de um sistema de Inteligência Artificial capaz de analisar dados de monitoramento dos parques eólicos da CPFL e de fornecer subsídios para o domínio de seu potencial energético, por meio do conhecimento do comportamento de fatores causadores de desvios de geração, bem como pelo estabelecimento de uma filosofia de manutenção preditiva oriunda de estudo de falhas dos aerogeradores.

#### 4. PRAZO PARA EXECUÇÃO DO PROJETO E CRONOGRAMA DE MACRO ETAPAS

O prazo de execução do projeto faz parte da proposta. Todavia, a Tabela 1 apresenta um cronograma de macro etapas de referência com duração de 30 meses. Salienta-se que a duração decorrerá após o cadastro da data de início de execução do projeto no Sistema de Gestão de P&D ANEEL, conforme item 6.3 do Manual de P&D, versão 2012.

**Tabela 1 – Cronograma de Macro Etapas de Referência.**

<b>Macro Etapa</b>	<b>Intervalo de Execução (meses)</b>
Mapeamento de processos e recursos internos da CPFL	1 – 3
Preparação preliminar da integração da solução de IA com o Data Lake	1 – 3
Análise de dados para definir a relação de fatores de desvios de geração	4 – 15
Análise de dados para estudar falhas dos aerogeradores	4 – 15
Estabelecimento das parcelas de responsabilidade dos fatores de desvio	13 – 24
Desenvolvimento da filosofia de manutenção preditiva	13 – 24
Rollout das soluções / Treinamento das equipes envolvidas	25 – 30
Balanco dos resultados obtidos	28 – 30
Workshops e Divulgação de Resultados	30