

Código da Demanda: 2016.002

Órgão: Gerência de Pesquisa, Serviços e Inovação Tecnológica de FURNAS - GST.E

Título do Projeto: Metodologias e infraestrutura tecnológica para aperfeiçoamento das avaliações de confiabilidade e otimização de empreendimentos de energia.

Classificação: Pesquisa Aplicada

Apresentação

O referido projeto tem como objetivos gerais estudar os comportamentos de estruturas civis de empreendimentos de geração de energia elétrica, em particular de usinas hidrelétricas, parque eólicos e usinas solares fotovoltaicas, com o intuito de subsidiar a prospecção de projetos e estudos de implantação e planos de manutenção. O projeto também prevê a montagem de uma planta solar fotovoltaica experimental para monitoramento e análise de desempenhos mecânicos, ambientais e energéticos, com vistas na determinação de seu Fator de Capacidade (FC). Em resumo, o projeto tem foco na redução dos custos de implantação, com o maior domínio do comportamento das estruturas, bem como melhor estimativa de custos operacionais através da minimização do tempo e frequência de paralisação para manutenções.

Parte do escopo definido no projeto será executada diretamente por Furnas, com algumas aquisições e serviços desenvolvidos internamente pela equipe técnica da empresa. Portanto, os objetivos aqui descritos referem-se apenas à parte do escopo do projeto que demanda parceria para seu desenvolvimento. Destaca-se que a integração dos objetivos apresentados com os objetivos gerais do projeto é de responsabilidade da equipe técnica de FURNAS. Abaixo estão apresentados os objetivos especificamente relacionados a esta Demanda de P&D.

Título da Demanda: Modelagem de Sistemas Eólicos.

Objetivo

A presente demanda tem como objetivo desenvolver, selecionar, personalizar, integrar e validar modelos, com vistas às previsões de comportamentos básicos dos sistemas eólicos.

Resultados Esperados

Os resultados esperados são modelos teóricos codificados computacionalmente, devidamente validados, capazes de serem aplicados às previsões de comportamentos de sistemas eólicos do interesse de Furnas.

As codificações e aplicativos computacionais gerados nesta pesquisa devem estar associados à treinamentos, ensaios e protótipos validadores, permitindo que a equipe de Furnas consiga fazer as aplicações necessárias aos sistemas eólicos, com possibilidade de prever respostas, verificando-se ainda os níveis de confiabilidade das respostas obtidas em relação às teorias e modelagens empregadas.

Assim são especificados requisitos básicos para as várias frentes de desenvolvimento, sendo elas: MODELOS TEÓRICOS E PROGRAMAS COMPUTACIONAIS, TREINAMENTOS e PROTÓTIPOS INSTRUMENTADOS.

1- MODELOS TEÓRICOS E PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

1. Pesquisar as teorias necessárias ao desenvolvimento, seleção, personalização e integração de modelos, codificados computacionalmente na linguagem GFortran para o SO Linux, apresentando-se algoritmos e/ou pseudocódigos, considerando-se entradas de dados via arquivos-textos (TXT) formatados, para os seguintes processamentos e análises:

1.1. Em descrição euleriana, pelo Método dos Elementos Finitos, para cálculo dos seguintes sistemas estruturais independentes: treliças espaciais, pórticos espaciais (com e sem deformações por cortante), lâminas (placas e cascas) e maciços. Os retículos deverão comportar apenas materiais em cantoneiras de abas iguais, característicos de perfis metálicos laminados;

1.2. Comportando as modelagens: elástica, elastoplástica, visco-elastoplástica, termo-visco-elastoplástica; além dos comportamentos dinâmico (Beta-Newmark), com cargas impostas por séries temporais independentes em cada nó, nas seguintes escalas de tempo: durante 120 minutos, a cada 10 segundos; e, durante 20 minutos a cada 0,1 segundos. Os materiais ainda deverão ser representativos quanto aos comportamentos de concretos estruturais, solos tropicais e rochas, com não linearidades física e geométrica.

1.3. Determinação dos autossistemas (autovalores e autovetores) de todos os sistemas estruturais indicados acima.

2. Modelagem, via Dinâmica dos Fluidos Computacional (DFC), capaz de simular o sistema de 3 pás através da técnica de malhas imersas, e aplicando-se ao menos um modelo de turbulência. Neste caso, o vento deverá ser considerado como fluido newtoniano e incompressível. O rotor deve girar devido à pressão dinâmica dos ventos nas pás, a inércia do conjunto móvel e o atrito rotor-estator. O modelo característico do sistema eólico para fins de modelagem deve ser conforme o ANEXO_02, bem como os protótipos indicados a seguir (EOL20 e EOL40).

3. Acoplamento dos sistemas estruturais à modelagem de DFC.

4. Simulações de solo de fundação em estado seco ou saturado, para cargas monotônicas e cíclicas de curto e longo prazos, ou seja, em condições drenadas e não-drenadas, considerando os modelos constitutivos que incluam a não linearidade do comportamento do solo com o nível de tensões de confinamento e desvio, influência de tensões intermediárias, densidade e estrutura do material;

5. Simulações do comportamento tensão-deformação-resistência do solo em condições saturadas e não saturadas quando sujeito a carregamentos cíclicos, de acordo com modelos de elasto-plásticos avançados baseados no critério de sub-carregamento (sub-loading);

6. Simulações do problema de equilíbrio, de fluxo e de armazenamento em solos não-saturados sujeitos a carregamentos dinâmicos, considerando todas as não linearidades do comportamento tensão-deformação-sucção.

2- TREINAMENTOS:

1. Devem ser fornecidos os treinamentos para o domínio dos códigos fornecidos no item I. Os treinamentos devem ocorrer nas seguintes condições:

2. Considerar como pré-requisito apenas a graduação em Engenharia Civil e turma de até 8 alunos.

3. Ser modularizado com cada módulo contendo ementa, carga horária e metodologia, esta última composta de textos digitais enviados previamente à equipe e códigos computacionais (em GFORTRAN ou OCTAVE) já testados com respectivos arquivos de dados (TXT).

4. Ocorrer nas dependências do GST.E com pré-agendamento negociado com o responsável de Furnas.

5. Em termos de aspectos teóricos abordados nos programas computacionais, contemplar ao menos: Análise Estatística de Séries Temporais; Cálculo Tensorial; Mecânica do Contínuo; Relações Constitutivas; Método dos Elementos Finitos aplicados a problemas estáticos, dinâmicos, não lineares (físico e geométrico) e de fluxo em meios saturados e não-saturados; e, Método dos Elementos Discretos (DEM).
6. Deverão contemplar ao menos os seguintes assuntos no domínio computacional: Linguagem Fortran, Linguagem C++, Linguagem Python, Programação básica em MATLAB e Utilização do programa ABAQUS. Mais especificamente:
- Programação em linguagem Fortran avançada, tendo como base os elementos necessários para compreender e desenvolver um programa executável de elementos finitos para análise de sólidos que seja computacionalmente eficiente, incluindo elementos de paralelização;
 - Programação em linguagem C++, tendo como base os elementos necessários para compreender e desenvolver um programa executável de volumes finitos para análise de fluidos;
 - Programação em linguagem Python, tendo como base os elementos necessários para compreender e desenvolver scripts para calibração de parâmetros a partir de dados de ensaios de laboratório e de campo, bem como o pré-processamento e pós-processamento de dados gerados por análises de Elementos Finitos e Elementos Discretos.
 - Programação básica em Matlab, tendo como base o desenvolvimento de rotinas que auxiliem a compreensão dos conceitos básicos de Mecânica dos Meios Contínuos para sólidos e fluidos aplicados no item I, bem como o uso de Redes Neurais Artificiais para a análise de séries temporais;
 - Utilização do código aberto OPENFOAM, para análise de dinâmica dos fluidos, considerando as pás de um sistema eólico e o elemento de suporte na nacele, com ênfase em diferentes modelos de turbulência, gerando, ao final, todas as reações no apoio ao longo do tempo com base nas excitações (função rampa) introduzidas por meio de séries temporais do vento;
 - Utilização do Programa ABAQUS, para análise de problemas dinâmicos, considerando todos os elementos estruturais (torre e apoios) de um sistema eólico, com ênfase na introdução de sub-rotinas tipo UMAT para simulação do comportamento dos materiais de acordo com os modelos descritos no item I.2, gerando, ao final, todas as reações no apoio no topo da fundação ao longo do tempo com base nas excitações introduzidas por meio de séries temporais do vento e das vibrações no topo transmitidas pelas pás e nacele;
 - Utilização do Programa PLAXIS, para análise de problemas dinâmicos em fundações estacadas, com ênfase na introdução de sub-rotinas para simulação do comportamento dos materiais de acordo com os modelos descritos no item I.2, gerando, ao final, todos os esforços nos elementos de fundação (radier, estacas e solo circundante) ao longo do tempo com base nas excitações introduzidas pela torre no topo da fundação.
7. Cada um dos treinamentos que envolva programação deverá conter ao menos os seguintes tópicos: compilação e geração de executáveis, entrada e saída via arquivos-textos formatados, laços de condição e repetição, modularização (funções, procedimentos e unidades), separação/unificação do código fonte em vários arquivos e tratamento de matrizes (criação, dimensionamento, operações e passagem como parâmetros entre módulos).

3 - PROTÓTIPOS EÓLICOS (EOL20 E EOL40)

- Deverão ser projetados e instalados dois protótipos eólicos, com aerogeradores de eixo horizontal. Em termos de alturas dos eixos dos rotores em relação ao solo, um deles deve ser de 20m, e o outro, de 40m. Cada um deve ser devidamente instrumentado conforme texto a seguir.
- Cada protótipo deverá ser composto por um aerogerador, um poste metálico de sustentação, uma fundação, um sistema de instrumentação e uma plataforma de coleta de dados meteorológicos (PCD). Cada instrumentação envolverá: sensores, sistema de aquisição de dados (SAD), programa de controle, computador e sistema de segurança de energia, conforme descrições a seguir.
- Cada protótipo deverá ser fornecido com Memorial de Cálculos e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) de Projeto e de Execução, sendo que deverão ser realizados ensaios para a obtenção de todos os parâmetros mecânicos conforme descrito no ANEXO-03.

4. Cada um dos protótipos deve ser entregue juntamente com as modelagens (estrutural, fluidodinâmica e geotécnica) nos programas computacionais do item 1, com e sem os respectivos aerogeradores.

A- EOL20

A.1. Deve ser um sistema como mostra esquematicamente a Figura 01 do ANEXO-01, com os seguintes parâmetros: H = 20,0m; D ≤ 10,0m; e, S ≤ 100,0m.

A.2. O aerogerador deve atender aos seguintes requisitos:

- a. Ser de eixo horizontal, com eixo do rotor posicionado a 20m acima do solo;
- b. Possuir 3 pás acionando o rotor;
- c. Com Potências: Nominal, entre 400 e 600 W; e, Máxima, entre 900 e 1100W;
- d. Ter peso, com pás, de até 50,0 kgf;
- d. Ter diâmetro de varredura das pás entre 2,5 e 3,0 m;
- e. Suportar rotação máxima de até 800 RPM;
- f. Apresentar entre 2,0 e 3,0 m/s como velocidade para partida;
- g. Operar com segurança para a velocidade média de vento de 30,0 m/s e extrema de até 70,0 m/s;
- h. Possibilitar o giro horizontal livre do aerogerador, conforme a direção do vento (para a área de varredura ficar sempre perpendicular ao vento);
- i. Ser posicionado no topo do poste através de sistema de aparafusamento (permitindo fácil remoção e/ ou substituição);
- j. Com pás também aparafusadas, permitindo a substituição das mesmas a qualquer tempo, sendo entregues também ao menos 3 pás de reserva;
- k. Com coleta de energia gerada sem qualquer tipo de perturbação ao movimento horizontal livre do aerogerador;
- l. Com todos os dispositivos que permitam a ligação a uma rede monofásica 220V-60Hz;
- m. Conectado ao sistema de aquisição de dados (SAD) para medição de energia gerada, como descrito a seguir.

A.3. Com monitoramento de velocidade no nível do rotor, à barlavento, para a direção e velocidade de vento em anemômetro ultrassônico; e com os seguintes pontos de monitoramento: no topo do poste, na base do poste e na PCD. Estes monitoramentos devem atender aos requisitos das tabelas A.4.1, para o protótipo eólico, e A.4.2, para a PCD conjugada.

Tabela A.4.1: Instrumentação do EOL20 (sensores outdoor e SAD indoor)

PONTO (COTA)	SINAL	FAIXA DE MEDIÇÃO	SENSIBILIDADE E OUTROS	FREQUENCIAS DE AMOSTRAGEM
Eixo do rotor, à barlavento (20 m)	Velocidade (m/s)	0,2 a 50,0 m/s	0,1 m/s	10 Hz
	Direção do vento (graus)	0,0 a 360,0 graus	1,0 graus	10 Hz
Medição (20m) no aerogerador e conexão ao SAD (0m)	Energia eólica gerada	0,0 a 300,0 kWh	1,0 Wh	1 sinal por hora
Topo do poste (+/- 19,8m)	Inclinação verticais cartesianas (ZX e ZY)	+/- 14,0 graus	0,1 graus	10 Hz
Topo do poste (+/- 19,8m)	Pressão atmosférica	480,0 a 840,0 mmHg	1,0 mm Hg	1 Hz
Topo do poste (+/- 19,8m)	Umidade relativa do ar	0,0 a 95,0%	1,0%	1 Hz
Topo do poste (+/- 19,8m)	Temperatura	-20,0 a 80,0°C	1,0°C	1 Hz
Base do poste (+/- 0,15m)	Deslocamento cartesiano XY	0,00 a 20,00 mm	0,01 mm	10 Hz
Base do poste (+/- 0,15m)	Momento de Tombamento	0,0 a 15.000,0 kgf.m	1,0 kgf.m	10 Hz
	Direção de Tombamento	0,0 a 360,0°	1,0°	10 Hz

OBS.:

Barlavento em relação à direção preferencial do vento.
SAD = Sistema de Aquisição de Dados (descrito a seguir).

Tabela A.4.2: Instrumentação da PCD conjugada ao EOL20 (sensores outdoor e SAD indoor).

COTA	MONITORAMENTO	FAIXA DE MEDIÇÃO	SENSIBILIDADE	FREQUENCIA DE AMOSTRAGEM
1,5 a 2,5m	Velocidade do vento (m/s) com anemômetro de copos	0,0 a 65 ,0 m/s	0,1 m/s	1 Hz
1,5 a 2,0m	Direção do vento (graus) biruta acoplada em anemômetro de copos	0,0 a 360,0 graus	1,0 graus	1 Hz
1,5m	Radiação global	0,0 e 1700,0 W/m ²	1,0 W/m ²	1 Hz
1,5m	Pressão atmosférica	480,0 e 840,0 mmHg	1,0 mmHg	1 Hz
1,5m	Umidade relativa do ar	10,0 a 95,0 %	1,0 %	1 Hz
1,5m	Temperatura	-20,0 a 80,0°C	1,0°C	1 Hz

OBS: Todos os sensores desta tabela serão da marca DAVIS.
Esta PCD deverá ser instalada em local designado por Furnas.
SAD = Sistema de Aquisição de Dados (descrito a seguir).

A.4. A PCD deve ser entregue com fixação sobre tripé metálico cujas bases permitam o aparafusamento em bloco de concreto.

A.5. Deve ser considerada que a alimentação para todo o sistema será de rede elétrica local, com 220V-60Hz, sendo o EOL20 com rede externa e o SAD com rede interna.

A.6. O momento de tombamento com a direção de tombamento deverão ser medidos com sistema de 3 células de carga, conforme esquema apresentado pela Figura -2 (Anexo-01). As células devem estar compreendidas entre duas chapas de aço, uma superior recebendo o poste metálico por aparafusamento, e a inferior, sendo aparafusada no bloco de concreto da fundação. As chapas devem ser dimensionadas para suportar os esforços máximos da estrutura em regime de funcionamento.

A.7. A estrutura, constituída por poste metálico de seção transversal externa circular, deve ser tratada contra corrosão através de galvanização à frio. Deve ainda ser modularizada através de flanges, com espessura de chapa de aço que permita os aparafusamentos com segurança e fixação dos pontos de monitoramento. Deve ser aparafusada na chapa superior do sistema de monitoramento do tombamento. A estrutura deverá ser devidamente dimensionada de acordo com as normas vigentes e considerando-se os efeitos dinâmicos (vento e aerogerador).

A.8. A fundação deverá ser constituída de estaca de concreto armado, com profundidade mínima de 4,0m e diâmetro mínimo de 30,0cm. Deverá ser devidamente dimensionada de acordo com as normas vigentes e considerando-se os efeitos dinâmicos (vento e aerogerador) bem como a capacidade resistente do solo local.

A.9. Com sistema de aquisição e armazenamento de dados (SAD), instalado em local abrigado e protegido (dentro de edificação), atendendo aos seguintes requisitos:

- a. Para cada dia de monitoramento, gerar um arquivo texto formatado e indexado (p.ex.: AAAAMMDD_00.TXT, sendo: AAAA = ano, MM = mês e DD = dia), com registros, para cada hora, ao menos do estado da alimentação energética dos sistemas individualmente (protótipo eólico e PCD);
- b. Controlar cada taxa de amostragem de sinal individualmente, através de arquivo-texto formatado e específico, com Frequências de Amostragens reguláveis entre 1/10 e 10x, a cada décimo, daquelas indicadas na tabela com as instrumentações (campo: Frequencias de Amostragem);
- c. Controlar cada taxa de registro de cada sinal em arquivo TXT formatado. Cada taxa de registro deve comportar tanto a especificação direta (por digitação), quanto a determinação após cálculos sobre quaisquer séries temporais medidas.
- d. Gerar automaticamente arquivos TXT formatados com todos os sinais monitorados individualmente. Estes arquivos devem ser indexados por data/hora (AAAAMMDD_HH.TXT);
- e. Armazenar arquivos do dia em pastas específicas (AAAAMMDD), num diretório pré-definido e em sistema de processamento computacional com capacidade para retenção de até 30 dias de registros;

Demanda de P&D

- f. Gerar todos os sinais, já existentes em arquivo TXT, também em formato de planilha eletrônica e com a possibilidade de plotagem em tela de quaisquer das séries temporais medidas no dia.
- g. Possuir sistema de nobreak e baterias com autonomia para até 2 horas de interrupção de fornecimento da rede local;
- h. Possuir capacidade de desligamento automático sem perdas de dados nem quaisquer outros prejuízos, em caso de interrupção de energia da rede e esgotamento do suporte das baterias. Além disso, possuir a capacidade de religação imediata com o retorno de energia, reiniciando os monitoramentos sem qualquer tipo de perda, tanto dos dados quanto das configurações vigentes antes da interrupção;
- i. Possuir programa computacional com instalador único, com todos os *drivers* necessários e compatível com todos os demais programas computacionais do sistema.
- j. Ser entregue instalado e funcional em ao menos um computador de mesa (desktop) com as seguintes configurações mínimas: Processador Intel Core i5-4460S de 4ª geração (2,9 GHz com turbo expansível para até 3,4 GHz, 6MB de Cache); Memória 8GB Dual Channel DDR3 1600MHz (4GB x 2); Slots de memória: 2 DIMM, com expansibilidade máxima de memória para 16GB DDR3 1600MHz (2x8GB); Placa de vídeo integrada Intel HD Graphics; Disco rígido 1TB SATA (7200 RPM, 6 Gbit/s) com expansibilidade máxima de HD de 2TB; Monitor Dell de 21.5 polegadas widescreen SE2216H; Teclado com fio da Dell KB216 em Português (Brasil, ABNT2); Mouse Óptico USB Dell MS116; Conectividade: Placa Dell Wireless 1705 802.11b/g/n + Bluetooth 4.0 via 1705 WLAN card + Ethernet (10/100/1000 - RJ45); Unidade de DVD com bandeja (lê e grava em DVD/CD); Conexões externas do chassi na parte frontal: (2) USB 2.0, MCR 8:1, entrada de fones de ouvido e microfone; Conexões externas de chassi na parte traseira: (2) USB 3.0, (4) USB 2.0, HDMI, VGA, RJ-45 (Ethernet 10/100/1000), 3 tomadas de áudio compatíveis com som surround 5.1; Leitor de cartão de mídia integrado 8 em 1 da Dell (compatível com: Secure Digital (SD), Hi Speed SD (SDXC), Hi Capacity SD (SDHC), Memory Stick (MS), Memory Stick PRO (MS PRO), Multi Media Card (MMC), Multimedia Card Plus (MMC Plus), xD-Picture Card (XD)); Fonte de alimentação de 220 watts; Garantia de 2 anos; Com Windows 10 Home de 64-bits em Português (Brasil) em licença plena; Com o Microsoft Office Home & Business 2016 em licença plena; Com o antivírus McAfee Live Safe licenciado para ao menos 1 ano. Sugestão: DELL Inspiron Small Desktop.
- k. Ser entregue instalado e funcional em ao menos um computador portátil (notebook) com as seguintes configurações mínimas: Processador Intel Core i7-5500U 5ª geração (2.4 GHz expansível para até 3.0 GHz, Cache de 4MB, com Intel HD Graphics 5500); Memória de 8 GB Single Channel DDR3L 1600MHz (1x8GB); Disco rígido SATA de 1TB (5400 RPM); Placa de vídeo Intel HD Graphics 5500 Integrada; Tela LED Full HD (1920 x 1080) de 15.6 polegadas com Touchscreen e TrueLife; Teclado retro iluminado em Português (Brasil); Portas: HDMI 1.4a, 1 USB 3.0 com PowerShare, 1 USB 3.0 e 1 USB 2.0; Conectividade: Intel Wireless 7265 802.11ac + Bluetooth 4.0, Banda Dupla, 2x2 (2.4 e 5 GHz); Slots: Noble lock slot e SD Media Card; Bateria com duração de até 8,5 horas; Bateria integrada de 3 células e 43 WHr; Dimensões: 0,78" (19,9 mm) x 15,04" (381,9 mm) x 9,94" (252,5 mm); Peso: 4,8 lb (2,17 kg) com touchscreen FHD5; Garantia de 2 anos; Com Windows 10 Home de 64-bits em Português (Brasil) em licença plena; Com o Microsoft Office Home & Business 2016 em licença plena; Com o antivírus McAfee Live Safe licenciado para ao menos 2 anos; com pasta impermeável contendo compartimentos (notebook e acessórios) bem como alças de mão e faixa para ombros. Sugestão: DELL 2 em 1 Ultrafino Inspiron 15 7000.
- l. Comportando alterações nos itens anteriores, desde justificadas, onde deve se evidenciar o favorecimento do desempenho do sistema e, principalmente, que sejam aprovadas pela equipe de Furnas.

A.10. Instalado em local sugerido pelo proponente, com justificativa técnica e após a aprovação de Furnas.

B- EOL40

B.1. Deve ser um sistema como mostra esquematicamente a Figura 01 do Anexo-01, com os seguintes parâmetros: H = 40,0m; D ≤ 10,0m; e, S ≤ 100,0m.

B.2. O aerogerador deve atender aos seguintes requisitos:

- a. Ser de eixo horizontal, com eixo do rotor posicionado a 40m acima do solo;
- b. Possuir 3 pás acionando o rotor;
- c. Com Potência Nominal entre 22 E 26Kw e tensão de saída trifásica de 220V;
- d. Diâmetro de varredura das pás entre 12 e 16 m;
- e. Com sistema de freio de emergência e com sistema para variação de passo da pá;
- f. Velocidades de vento: de partida, entre 2,0 e 3,0 m/s; máxima de operação entre 18 e 22m/s; e, velocidade de proteção superior a 40m/s;
- g. Possibilitar o giro horizontal livre do aerogerador, conforme a direção do vento (para a área de varredura ficar sempre perpendicular ao vento);
- h. Com aerogerador posicionado no topo do poste através de sistema de aparafusamento (permitindo fácil remoção e/ ou substituição);
- i. Com pás também aparafusadas, permitindo a substituição das mesmas a qualquer tempo, sendo entregues também ao menos 3 pás de reserva;
- j. Com coleta de energia gerada sem qualquer tipo de perturbação ao movimento horizontal livre do aerogerador;
- k. Com todos os dispositivos que permitam a ligação a uma rede trifásica 220V-60Hz;
- l. Conectado ao sistema de aquisição de dados (SAD), possibilitando o monitoramento indicado no item 3.

B.3. Com os monitoramentos especificados pelas tabelas B.4.1, para o protótipo eólico, e B.4.2, para a PCD conjugada.

Tabela B.4.1: Instrumentação do EOL40 (sensores outdoor e SAD indoor)

PONTO (COTA)	SINAL	FAIXA DE MEDIÇÃO	SENSIBILIDADE E OUTROS	FREQUENCIAS DE AMOSTRAGEM
Topo do poste (+/- 39,8m) à barlavento	Velocidade (m/s)	0,2 a 50,0 m/s	0,1 m/s	10 Hz
	Direção do vento (graus)	0,0 a 360,0 graus	1,0 graus	10 Hz
Medição (40m) no aerogerador e conexão ao SAD (0m)	Energia eólica gerada	0,0 a 300,0 kWh	1,0 Wh	1 sinal por hora
Topo do poste (+/- 39,8m)	Inclinação verticais cartesianas (ZX e ZY)	+/- 14,0 graus	0,1 graus	10 Hz
Topo do poste (+/- 39,8m)	Pressão atmosférica	480,0 a 840,0 mmHg	1,0 mm Hg	1 Hz
Topo do poste (+/- 39,8m)	Umidade relativa do ar	5,0 a 95,0%	1,0%	1 Hz
Topo do poste (+/- 39,8m)	Temperatura	-20,0 a 80,0°C	1,0°C	1 Hz

OBS.:

Barlavento em relação à direção preferencial do vento.
SAD = Sistema de Aquisição de Dados (descrito a seguir).

Tabela B.4.2: Instrumentação da PCD conjugada ao EOL40 (sensores outdoor e SAD indoor).

COTA	MONITORAMENTO	FAIXA DE MEDIÇÃO	SENSIBILIDADE	FREQUENCIA DE AMOSTRAGEM
1,5 a 2,5m	Velocidade do vento (m/s) com anemômetro de copos	0,0 a 65,0 m/s	0,1 m/s	1 Hz
1,5 a 2,0m	Direção do vento (graus) biruta acoplada em anemômetro de copos	0,0 a 360,0 graus	1,0 graus	1 Hz
1,5m	Radiação global	0,0 e 1700,0 W/m ²	1,0 W/m ²	1 Hz
1,5m	Pressão atmosférica	480,0 e 840,0 mmHg	1,0 mmHg	1 Hz
1,5m	Umidade relativa do ar	10,0 a 95,0 %	1,0 %	1 Hz
1,5m	Temperatura	-20,0 a 80,0°C	1,0°C	1 Hz

OBS: Todos os sensores desta tabela serão da marca DAVIS.

Esta PCD deverá ser instalada em local designado por Furnas.

SAD = Sistema de Aquisição de Dados (descrito a seguir).

B.4. A PCD deve ser entregue com fixação sobre tripé metálico cujas bases permitam o aparafusamento em bloco de

concreto.

B.5. Deve ser considerada que a alimentação para todo o sistema será de rede elétrica local, com 220V-60Hz, sendo o EOL40 com rede externa e o SAD com rede interna.

B.6. A estrutura, constituída por poste metálico de seção transversal externa circular ou poligonal, deve ser tratada contra corrosão através de galvanização à frio. Deve ainda ser modularizada através de flanges, com espessura de chapa de aço que permita os aparafusamentos com segurança e fixação dos pontos de monitoramento. Deve ser aparafusada no bloco de concreto de coroamento da fundação. A estrutura deverá ser devidamente dimensionada de acordo com as normas vigentes e considerando-se os efeitos dinâmicos (vento e aerogerador).

B.7. A fundação deverá ser constituída de estaca de concreto armado, com profundidade mínima de 4,0m e diâmetro mínimo de 30,0cm. Deverá ser devidamente dimensionada de acordo com as normas vigentes e considerando-se os efeitos dinâmicos (vento e aerogerador) bem como a capacidade resistente do solo local.

B.8. Com sistema de aquisição e armazenamento de dados (SAD), instalado em local abrigado e protegido (dentro de edificação), atendendo aos mesmos requisitos do item A.9.

B.9. Instalado nos seguinte endereço, em local indicado pela equipe de Furnas: ELETROBRAS FURNAS; Gerência de Pesquisa, Serviços e Inovação Tecnológica - GST.E; Divisão de Tecnologia em Engenharia Civil - DTEC.E; Rodovia BR 153, S/N, KM 510, Zona Rural; Aparecida de Goiânia - GO, CEP: 74923-650.

x x x x x x

ANEXO 01 – Esquema dos Protótipos Eólicos e de medição do Momento e Direção de Tombamentos.

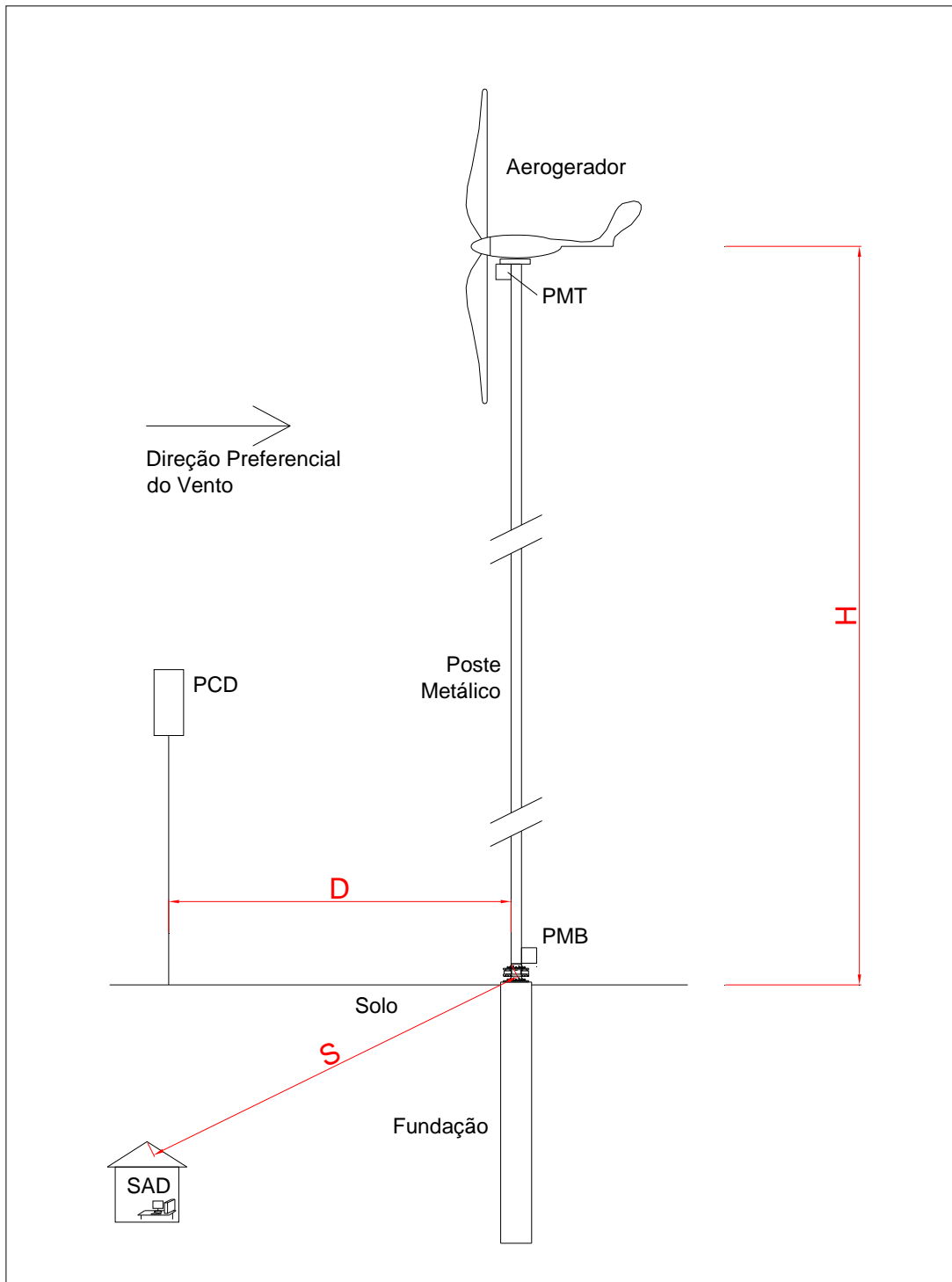


Figura 01. Esquema do EOL20 e EOL40

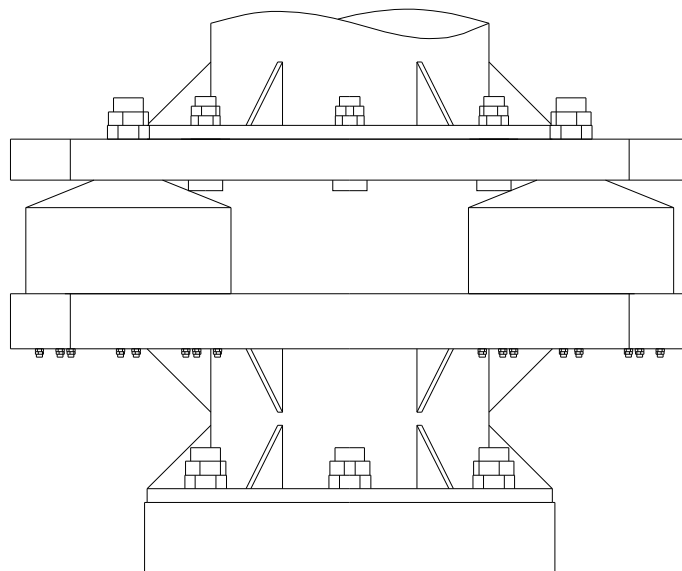
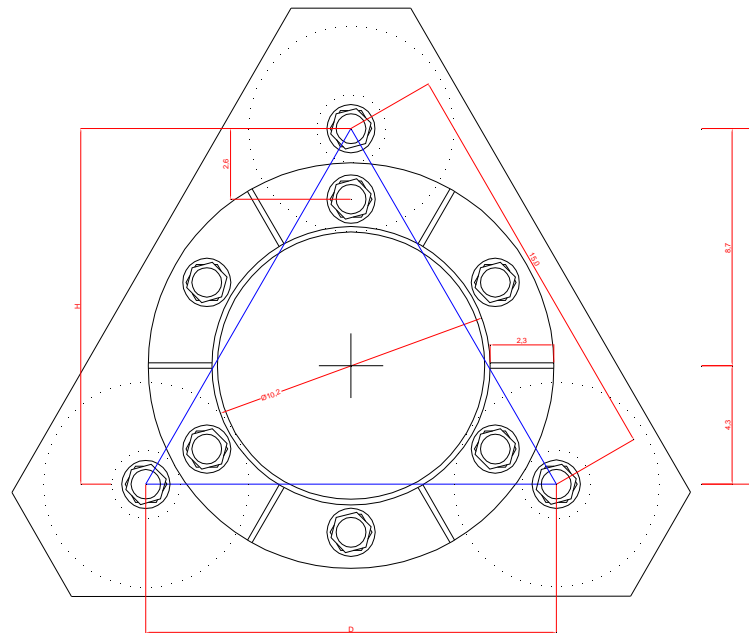
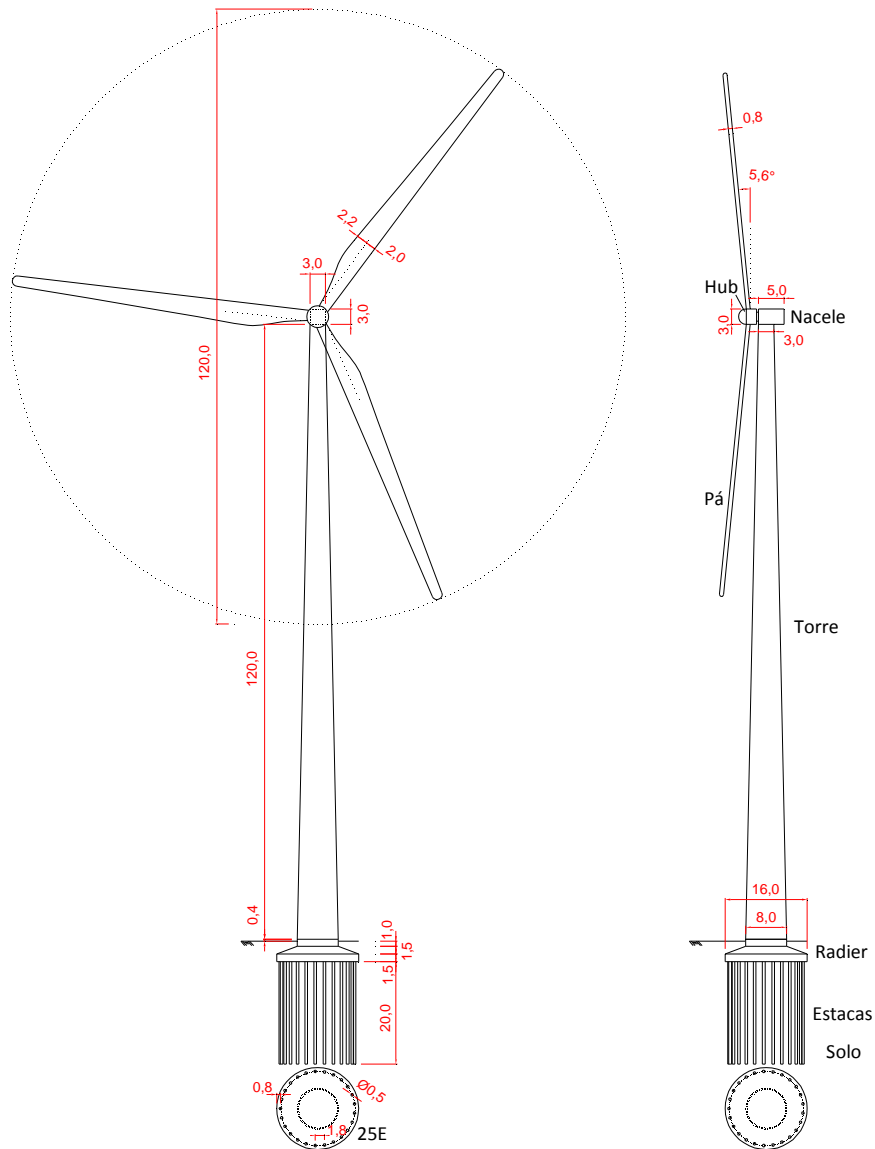


Figura-2: Esquema de colocação das células de carga.

ANEXO 02 – Sistema eólico característico para fins de modelagem



ITEM	DIMENSÕES (m)	MATERIAL	PESO (tf)	OBS
Pás	60,0 x 2,0 x 0,8	Fibra	12,0	--
Aerogerador: 3 pás + hub + Nacele completa	3,0 x 3,0 x 5,0	Vários	140,0	3,0 MW
Torre (concreto)	Dt/Db=3,0/8,0; L=120,0; e=0,3m	Concreto armado	--	--
Torre (aço)	Dt/Db=3,0/8,0; L=120,0; e=0,06m	Aço	--	--
Fundação (concreto)	Dt/Db=8,0/16,0; L=4,4 (=0,4+1,0+1,5+1,5);	Concreto armado	--	--
Estacas (raiz) [30E]	D=0,5m; L=20,0m	Concreto fluido	--	--
Solo	Argiloso, SPT = 1,0 kgf/cm ²		--	--

OBS:

Aço: MR250 ($f_y=2500,0 \text{ kgf/cm}^2$)

Concreto: $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$

$t_x = 150 \text{ kgf/m}^3$ (taxa de concreto armado para estimativa de armações)

Regimes de análise:

Regime 1: durante 15 minutos com o passo de 0,1 segundos;

Regime 2: e, durante 24 horas com o passo de 1 minuto.

ANEXO 03 – Ensaios laboratoriais

No local de instalação de cada protótipo eólico (EOL20 e EOL40), devem ser fornecidos os seguintes ensaios, nas condições descritas a seguir, para obtenção dos parâmetros indicados.

1. Ensaios de penetração de cone in situ (Panda), de acordo com a norma francesa XP P 94-1005, com vistas à obtenção da resistência de ponta e da resistência lateral do solo com a profundidade.
2. Ensaios com dilatômetro in situ (DMT), com vistas à obtenção dos parâmetros Índice de Material, Módulo Confinado, Resistência não-drenada, Índice de Tensão Horizontal com a profundidade, segundo as normas do Eurocode 7 e ASTM D6635 – 01(2007) Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer.
3. Ensaios in situ de Integridade de Estacas (PIT), segundo a norma americana ASTM D-5882-96.
4. Ensaios de Módulo de Concreto com pulsos de ultrassom (Pundit).
5. Obtenção de amostras representativas em poços em 3 profundidades de acordo com as normas ABNT NBR 9820 e NBR 9604, além de amostras para caracterização de acordo com a norma ABNT NBR 9603.
6. Ensaios de laboratório triaxiais (drenados e não-drenados) nas amostras de solo indeformadas, sujeitas a diferentes trajetórias de tensão (compressão e extensão), sob quatro níveis de tensão confinante (25, 50, 100 e 200 kPa) com vistas à obtenção dos parâmetros de resistência (coesão e ângulo de atrito), deformabilidade (módulo de Young e coeficiente de Poisson) e parâmetros de Skempton para pressão neutra, de acordo com as normas ASTM D4767 e ASTM D2850.
7. Ensaios de Módulo de Resiliência nas amostras de solo indeformadas, para obtenção do modelo de módulo cíclico, de acordo com a norma NORMA DNIT 134/2010, o que inclui 16 combinações de tensão confinante e desviadora por ensaio.
8. Ensaios de mineralogia do solo de fundação, em 3 amostras a diferentes profundidades, seguindo as normas da Embrapa;
9. Ensaios de caracterização completa do solo em laboratório, para três amostras a diferentes profundidades: granulometria (ABNT NBR 7181), umidade natural (ABNT NBR 6457), limite de liquidez (ABNT NBR 6459), limite de plasticidade (ABNT NBR 7180) e peso específico real dos grãos (ABNT NBR 6508).
10. Ensaios oedométricos, segundo a norma NBR 12007 (ABNT, 1990), com vistas à obtenção do coeficiente de adensamento, estimativa de permeabilidade, índice de compressão virgem e de descompressão-recompressão e pressão de pré-adensamento.
11. Ensaio duplo oedométricos, segundo a norma NBR 12007 (ABNT, 1990), com vistas à obtenção das curvas de compressão saturada e natural e o índice de colapso do solo.
12. Ensaio de cisalhamento direto em amostras sujeitas a cinco níveis de tensão normal (25, 50, 100, 200 e 400 kPa) para obtenção de coesão e ângulo de atrito, de acordo com a norma ASTM D3080.
13. Ensaios em concreto armado e aço para obtenção da curva tensão-deformação, Módulo de Elasticidade Longitudinal, Coeficiente de Poisson e razão de amortecimento.

Nota: O prazo para recebimento de propostas para esta Demanda será de 30 (trinta) dias corridos contados a partir da data da publicação no D.O.U. - Diário Oficial da União.