



Implantação de Laboratório para Determinação da Característica de Saída de Aerogeradores Segundo a Norma IEC 61400-12-1

André Jaques Ramos¹, Claiton Moro Franchi², Frederico Menine Schaf², Humberto Pinheiro²

1 Engenharia de Controle e Automação / Universidade Federal de Santa Maria

2 Departamento de Processamento em Energia Elétrica / Universidade Federal de Santa Maria

Avenida Roraima N°1000, Santa Maria, RS, Brasil

jaquesramos92@hotmail.com, claiton.franchi@gmail.com, frederico.schaf@ufsm.br,

humberto.ctlab.ufsm.br@gmail.com

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar a implementação de um laboratório para testes de aerogeradores de pequeno porte (menores que 100 kW). O laboratório possibilitará a determinação da característica de saída de aerogeradores sendo possível prover aos fabricantes nacionais dados a respeito do comportamento da mesma em condições reais de operação. Este resultado visa o amadurecimento da indústria nacional de aerogeradores de forma a certificá-los e atender a normativa ABNT NBR IEC 61400-12-1 e a portaria INMETRO N° 168/ 2015 que versa a respeito dos requisitos de avaliação da conformidade para aerogeradores. O laboratório situado na cidade de Rio Grande – RS, está em pleno funcionamento e está coletando dados de uma turbina de 3kW de um fabricante nacional.

Palavras-chave: *Laboratório de ensaio de turbinas eólicas, Certificação, Coleta de Dados.*



1 INTRODUÇÃO

Tendo os desafios associados a crescente demanda de energia elétrica que o Brasil vem vivenciando, é pertinente a diversificação da matriz nacional energética. Entre possíveis soluções, energias renováveis como a eólica ganham espaço no mercado atual, pois o Brasil possui alto potencial para extrair energia proveniente dos ventos.

As principais regiões do país para a produção de energia eólica são o Nordeste e o Sul. Por esta razão, muitas fazendas eólicas vêm sendo instaladas nestes locais recentemente. No Rio Grande do Sul há locais com médias anuais dos ventos acima de 7m/s [1], no litoral sul, o que reafirma seu potencial para receber investimentos de empresas e possibilita estudos para desenvolvimento tecnológico objetivando a melhora tanto estrutural quanto de desempenho de aerogeradores.

Visando a realização de testes para avaliar o desempenho de aerogeradores, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) representada pelo Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC) em parceria com a Universidade Federal de Rio Grande (FURG) implantaram, na cidade de Rio Grande, um laboratório para certificação de turbinas eólicas. A escolha do local se deve as boas condições de vento, além de ser uma cidade portuária, o que facilita a logística para transporte de equipamentos.

Para que ensaios de desempenho fossem realizados de maneira padronizada e confiável o *Technical Committee Wind Turbines* publicou em 2005 a última versão da norma IEC 61400-12-1: *Power performance measurements of electricity producing Wind turbines*. No Brasil, seu conteúdo é encontrado como ABNT NBR IEC 61400-12-1: Medições do desempenho de potência de aerogeradores [2]. Tendo como base esta norma este trabalho tem como objetivo apresentar a compreensão teórica e prática dos procedimentos necessários para a realização do ensaio de desempenho de potência, relação entre velocidade do vento e potência gerada para um caso real. Para a realização dos cálculos de acordo com a norma foi desenvolvido um aplicativo de supervisão *Web*, para que assim, os ensaios possam ser acompanhados tanto pela equipe do laboratório como pelos responsáveis pela turbina ensaiada; de maneira simples e versátil.

2 DESEMPENHO DE AEROGERADORES

Desde o início dos estudos sobre aerogeradores normas vêm sendo desenvolvidas para a realização da certificação dos mesmos. Por volta de 30 anos atrás os governos dos países: Dinamarca, Alemanha e Holanda; iniciaram este processo a partir da aplicação de normativas locais. A partir do aumento do mercado internacional, países como Suécia Espanha e os Estados Unidos também implantaram seus institutos eólicos já guiados pelas normas emitidas pelo *International Electrotechnical Committee* (IEC) [3]. No ano de 2015 foi lançada a portaria INMETRO Nº 168/2015 [4] que tem por objetivo estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para Aerogeradores com foco no desempenho, através do mecanismo de certificação, atendendo aos requisitos especificados nas normas técnicas IEC 61400-11 [5] e ABNT NBR IEC 61400-12-1 de 2015.

2.1 Produção Anual de Energia e Curva de Potência (AEP)

A AEP é a estimativa da produção total de energia durante o período de um ano, aplicando a curva de potência medida a diferentes distribuições de frequência da velocidade do vento de referência na altura do cubo [2].

Já a curva de potência é o gráfico que representa a potência líquida que uma turbina eólica pode gerar [2] em função da velocidade do vento (vide Figura 1). Esta relação é obtida através da medição simultânea da potência produzida, na saída da turbina, com a velocidade associada na altura do rotor. Tipicamente, a medição de velocidade é realizada instalando uma torre anemométrica em frente ao aerogerador a uma distância de 2 a 4 R (raio das pás) do aerogerador, visando obter uma boa correlação entre o vento medido e o incidente no aerogerador.

2.2 Eficiência de Turbinas Eólicas

Além dos indicadores anteriormente referidos, produção anual de energia e a curva de potência, há uma terceira forma de avaliar ou comparar aerogeradores. Este é baseado na eficiência, ou seja, na porcentagem de energia que o aerogerador consegue extrair do vento, o coeficiente de potência (C_p). Entretanto, seu valor fica limitado ao máximo de 59,3% (máximo teórico, pois na

prática não é possível alcançar esse resultado). Este valor é conhecido com limite de Betz ou lei de Betz, tendo este limite nada a ver com ineficiências no gerador, mas sim na própria e das turbinas eólicas [7].

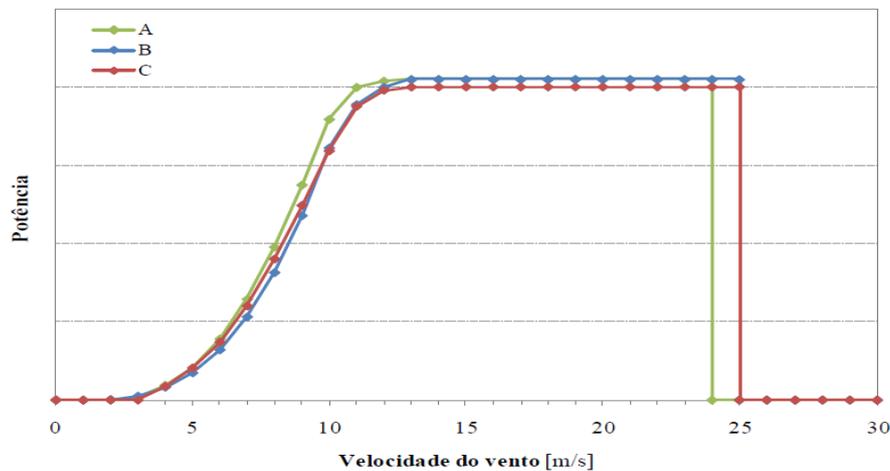


Figura 1– Exemplos de curvas de potência [6].

3 IMPLANTAÇÃO DO LABORATÓRIO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE AEROGERADORES

No escoamento atmosférico sobre o Rio grande do Sul prevalecem os efeitos ditados pela dinâmica entre o anticiclone subtropical Atlântico, os intermitentes deslocamentos de massas polares e a depressão barométrica do nordeste da Argentina [1]. O mapa que ilustra a velocidade média anual do vento sobre o Rio Grande do Sul é apresentado na Figura 2.

Analisando o mapa pode-se observar que há locais com média anual dos ventos acima de 7 m/s no litoral sul do estado do Rio Grande do Sul, bem como nas proximidades da cidade de Rio Grande, fato que faz com que algumas fazendas eólicas já estejam em operação na região.

Devido à condição favorável do regime dos ventos e por condições logísticas oriundas da existência de um porto, a Cidade de Rio Grande foi escolhida para a instalação do laboratório de testes para turbinas eólicas. O local foi a Universidade Federal de Rio Grande (FURG), na latitude: 32.070147 ° e longitude 52.169461°.

Nesta localização a média de velocidade dos ventos a 50 metros de altura atingem até 7,34 m/s com fator de forma da distribuição Weibull em torno de 2,34 entre os meses de junho a agosto como mostra a Figura 3.

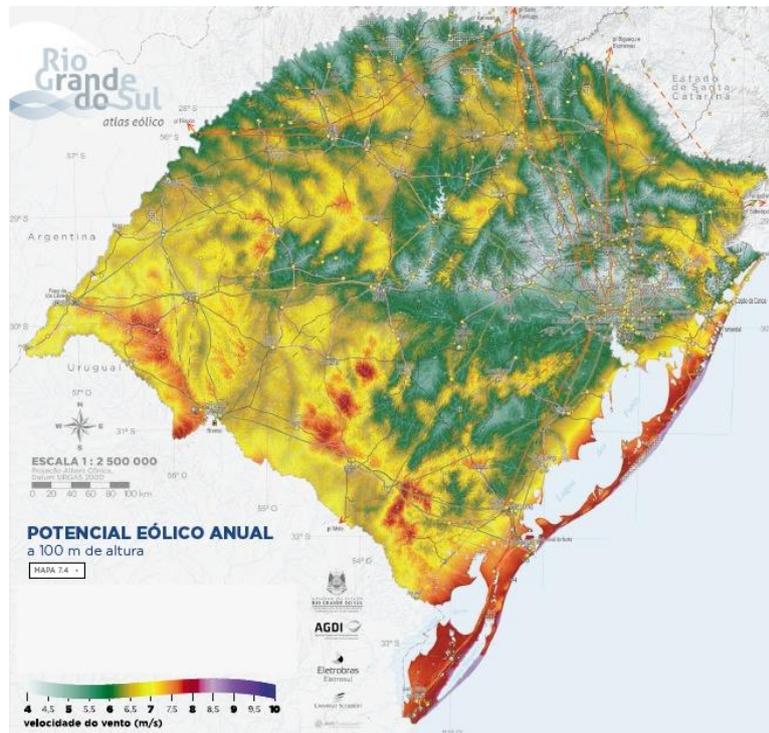


Figura 2 – Mapa eólico da média anual dos ventos do Rio Grande do Sul [1].



FIGURA 3 – Media dos ventos na FURG (Fonte: CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica)

3.1 Instalações

O laboratório de ensaio para turbinas eólicas é composto por uma torre anemométrica e um local para testar turbinas. A torre anemométrica realiza a medição e armazenamento (via *datalogger*) das grandezas meteorológicas compreendendo: velocidade e direção do vento na altura do rotor

da turbina, temperatura e pressão atmosférica e precipitação. Já na base da turbina sobre teste é instalado um medidor de energia elétrica responsável pela obtenção da potência de saída do aerogerador bem como medição das demais grandezas elétricas. Um diagrama esquemático das instalações pode ser visto na Figura 4. As informações do medidor são transmitidas a um *datalogger* localizado na torre meteorológica por sinal de rádio frequência (RF), ou seja, a comunicação é sem fio (*wireless*). Todas as grandezas em questão são amostradas uma vez por segundo.

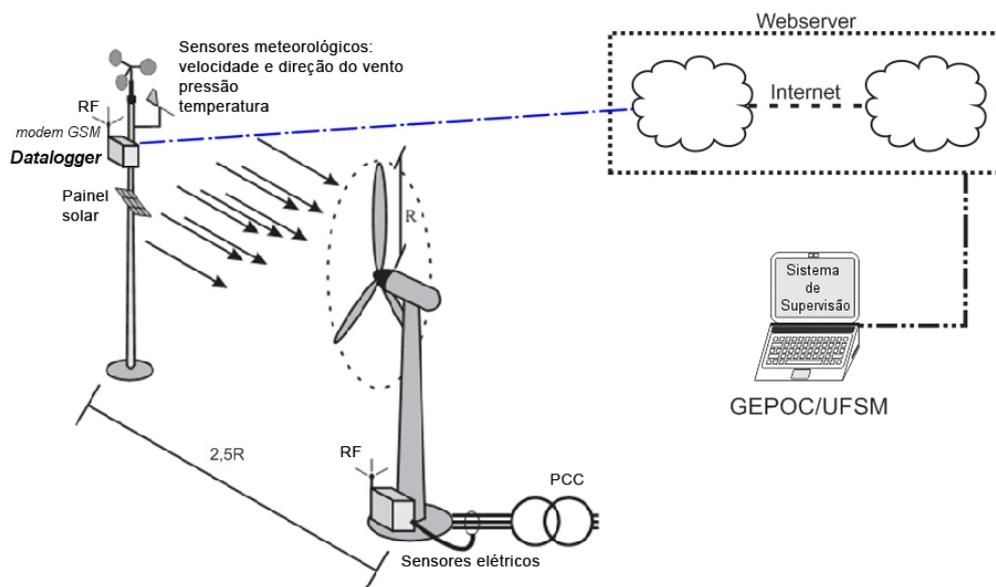


FIGURA 4 – Instalações do laboratório.

3.2 Sistema de comunicação

Para que as grandezas medidas cheguem ao Sistema de Supervisão *Web* o *datalogger* possui conexão com a Internet via *modem* GSM. Os dados são coletados no dia com médias, mínimos, máximos e desvio padrão das grandezas, numa janela de tempo de 10 minutos, são transmitidos a um servidor *Web* instalado nos laboratórios do GEPOC -UFSM para que posteriormente sejam disponibilizados via sistema de Supervisão *Web*. O servidor no momento que recebe o arquivo contendo os dados do dia, os armazena organizadamente em um banco de dados MySQL. Qualquer processamento de conversão de valores ou adequação grandezas é realizado pelo servidor *Web*. Assim garante-se a coleta dos dados do laboratório de forma automática e também possibilita a visualização remota do desempenho do aerogerador.

4 RESULTADOS

A instalação do laboratório foi recentemente concluída e há um aerogerador nacional de 3 kW, sob teste com as características mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do aerogerador em teste

Gerador	Altura	Diâmetro do rotor	Velocidade de <i>cut-in</i>	Velocidade de vento da potência nominal	Velocidade de sobrevivência	Controle de Yaw
Trifásico de ímãs permanentes acoplamento direto (<i>brushless</i>)	12 m	3,4 m	3 m/s	12,5 m/s	52,5 m/s	Passivo

O fabricante realizou previamente medidas em ambiente controlado obtendo uma estimativa de sua curva de potência. Entretanto não foram feitos testes comparativos em condições reais como a do laboratório. A torre meteorológica possui 30 m e coleta dados a partir de sensores do tipo *first class* com o emprego do *datalogger* da fabricante alemã Ammonit, desde setembro de 2015. Através dos dados pode-se perceber que há condições suficientes para a geração a partir do gerador sob teste (Figura 5), já que a velocidade de *cut-in* está especificada em 3 m/s.

Percebe-se também a predominância dos ventos com maior intensidade na direção nordeste (NE). Por este fato orientou-se a torre e o aerogerador nesta direção predominante.

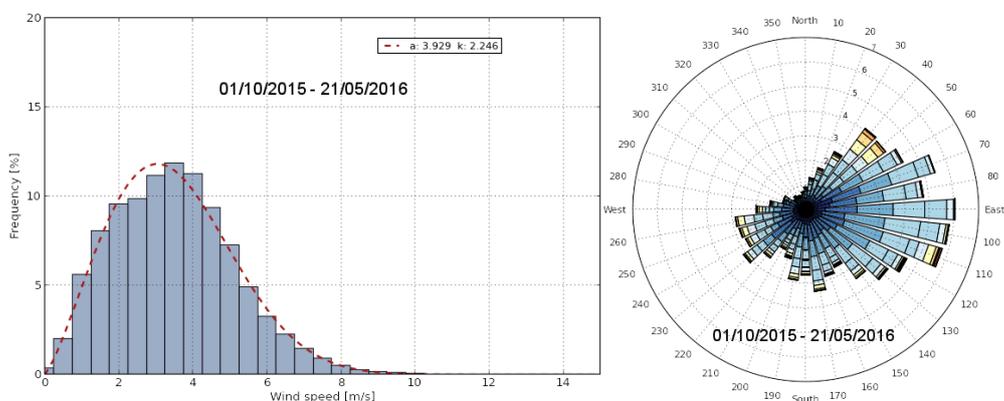


FIGURA 5 – Dados anemométricos do local de testes. À esquerda, distribuição de Weibull e à direita, frequência e intensidade com direção dos ventos.

O Sistema de Supervisão *Web* (Figura 6) e deverá proporcionar a visualização dos dados coletados de forma visual através de gráficos de condições meteorológicas e também de

produção de energia do aerogerador. Durante o ensaio será possível verificar se a curva de potência especificada pelo fabricante realmente se concretizou em experimentos de campo.

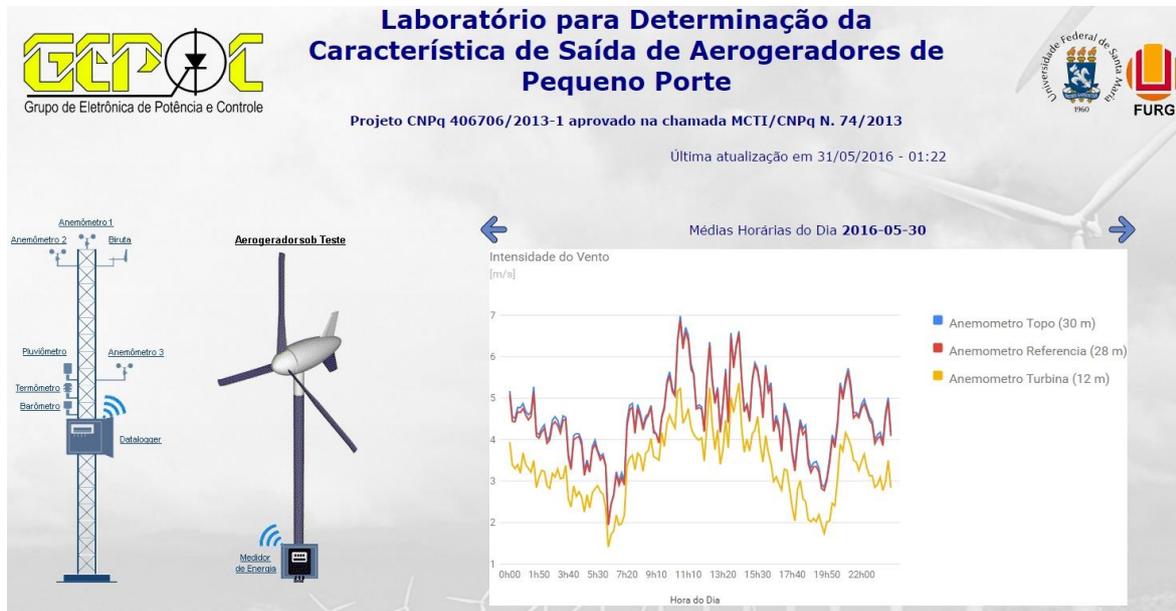


FIGURA 6 – Interface do Sistema de Supervisão Web.

As instalações do laboratório na FURG estão representadas na Figura 7. Percebe-se que não, não há instalações para acomodação de pessoal, pois o laboratório funciona de forma autônoma.



FIGURA 7 – Instalações do Laboratório na FURG.



5 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a implantação de um laboratório autônomo para determinação da característica de saída de aerogeradores de pequeno porte seguindo a norma nacional e internacional vigente (ABNT NBR IEC 61400-12-1). O laboratório utiliza equipamentos tipo *first class* de onde obtém os dados de forma eficiente e envia os dados a um servidor *Web* que processa estes dados e apresenta informações do ensaio em um formato adequado em um sistema de supervisão *Web*.

Embora o laboratório seja desenvolvido para teste em aerogeradores de pequeno porte, a tecnologia empregada é a mesma para turbinas de grande porte, necessitando apenas adequar a torre meteorológica para a altura do aerogerador sob teste e colocá-la a distância proporcional conforme altura do rotor do aerogerador. Também seria necessário adequar o transformador de corrente (TC) e o transformador de potencial (TP) para as especificações de tensão e potência do aerogerador de grande porte.

Futuramente pretende-se realizar testes acústicos com a aquisição de equipamentos para captar e processar sinais de ruídos acústicos de forma a atender a portaria INMETRO Nº 168/ 2015 e também a norma IEC 61400-11:2012

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto do projeto aprovado pelo Conselho Nacional de Pesquisa na chamada MCTI/CNPq N. 74/2013.

REFERÊNCIAS

- [1] Atlas Eólico: Rio Grande do Sul (2014). Camargo Schubert Engenheiros Associados, Eletrosul Centrais Elétricas S.A. Porto Alegre: SDPI, AGDI.
- [2] ABNT NBR IEC 61400-12-1:2012 (2012) Aerogeradores Parte 12-1: Medições do desempenho de potência de aerogeradores
- [3] CT-Gás (2012). Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis - Aspectos Técnicos da Energia Eólica. Natal.



- [4] INMETRO, Portaria 168/2015 (2015). Requisitos de Avaliação da Conformidade para Aerogeradores.
- [5] IEC 61400-11:2012 (2012). Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques.
- [6] Cardoso, N. L. 2011. *Metodologia de Avaliação de Desempenho de Parque Eólicos*. Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia do Porto.
- [7] Ragheb, M. 2014. *Wind Energy Conversion Theory, Betz Equation*.

BIOGRAFIAS

André J. Ramos é Eletrotécnico em 2012 pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM). Ele atualmente é estudante do curso de Engenharia de Controle e Automação na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Claiton M. Franchi é Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e Doutor em Engenharia Química com ênfase em automação industrial, pela Universidade Estadual de Maringá. Atualmente ele é Professor da UFSM, sua pesquisa é focada em sistemas de automação para múltiplos propósitos, como controle de processos químicos, sistemas SCADA entre outros.

Frederico M. Schaf é Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e Doutor em Engenharia Elétrica com ênfase e, automação industrial e instrumentação, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente ele é Professor da UFSM, sua pesquisa tem foco em sistemas de automação para múltiplos propósitos, redes industriais, sistemas de controle embarcado, sistemas SCADA entre outros.

Humberto Pinheiro é Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e Doutor pela Concordia University, Montreal, Canada. Atualmente ele é Professor da UFSM, seus interesses de pesquisa incluem modulação e controle de conversores estáticos e conversores para sistemas de energia eólica. Dr. Humberto Pinheiro, é um membro da IEEE Power Electronics and Industrial Electronics Societies.