



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPT/24

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - 002

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT

**ASPECTOS CONTRATUAIS RELEVANTES PARA ACEITAÇÃO DE AEROGERADORES
APÓS A OPERAÇÃO EM TESTES: VISÃO DO CLIENTE**

**Rafael Ferreira(*)
ELETROSUL S.A**

**Giuliano Pereira
ELETROSUL S.A**

RESUMO

De 2011 a 2016 a Eletrosul realizou investimentos em complexos eólicos em um montante de 799,99 MW, totalizando 410 aerogeradores, figurando a empresa como um agente gerador importante do mercado de energia eólica nacional (1). Sendo cliente de cinco fornecedores diferentes e utilizando seis modelos de aerogeradores, a empresa obteve uma experiência diversificada nas filosofias de comissionamento e operação em testes dos aerogeradores. Este artigo vai apresentar a experiência da empresa na análise da operação em teste de alguns aerogeradores em diferentes condições contratuais, e propor alguns adendos que visam melhorar a qualidade do recebimento deste equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Operação em testes, Energia eólica, Aerogerador

1.0 - INTRODUÇÃO

Em contratos de implantação de complexos eólicos, a operação em testes – *trial operation* - representa uma importante etapa no cronograma de fornecimento. Após o comissionamento das unidades geradoras, deve haver conexão elétrica disponível do aerogerador com a rede de média tensão, restrição do sistema de transmissão, e sistema de controle e aquisição de dados - SCADA - operacional para o monitoramento do aerogerador, iniciando-se assim a operação em testes.

Não há porém, na maioria dos casos propostos, compromisso com altos índices de disponibilidade - superior a 90%, curva de Velocidade do Vento Medida pelo Anemômetro da Nacele (VVAN) x Potência, baixo índice de repetição de falhas, análise da severidade e da quantidade de falhas dentro do período de comprovação, capacidade de geração da potência nominal ou fator de capacidade referenciado ao período que está sendo feita a operação em testes.

Inicialmente será apresentada a descrição dos principais critérios de aceitação; Em seguida, na Seção 3.0, serão mostradas as curvas (VVAN) x Potência de diferentes aerogeradores no período em que os mesmos estavam em operação em testes, e será analisado sob estes critérios de aceitação, se o aerogerador atenderia ou não a estes critérios; Após a verificação dos casos, é apresentado alguns fatores que podem afetar a operação em testes - Seção 4.0 - e devem ser levados em consideração para definição de critérios de aceitação dos aerogeradores; e por fim, as conclusões.

2.0 - OPERAÇÃO EM TESTES

Nos casos estudados, a etapa de comissionamento do aerogerador, iniciada após a conclusão da montagem eletromecânica, é executada pelo próprio fabricante. Normalmente a etapa de operação em testes marca a transição entre a última etapa do fornecimento e o ciclo de Operação e Manutenção - O&M - dos aerogeradores, passando assim a constituir uma etapa importante do fornecimento: tanto para início da contabilização do período de garantia, ou para o início do ciclo periódico de manutenção preventiva.

As condições para aprovação da operação em testes variam conforme o contrato de fornecimento, e serão abordados os seguintes critérios para estudo:

1. Comprovação operacional de 120 horas devendo atingir disponibilidade de 90%, neste período. Neste caso, durante a manutenção programada de reaperto ou ausência de SCADA, o período de 120 horas é parado, voltando a contar após o término da manutenção, ou;
2. Comprovação operacional de 120 horas; Se for identificado um defeito inferior a seis horas, a comprovação é parada e após a solução do problema a contagem é recomeçada e o SCADA deve estar disponível, ou;
3. Comprovação operacional de 240 horas ininterruptas. Se for identificado um defeito inferior a oito horas, a comprovação é parada e após a solução do problema a contagem é recomeçada; Na ausência de SCADA por responsabilidade do cliente, o aerogerador é considerado disponível.

Toda a análise da operação em testes apresentada neste trabalho é baseada em dados coletados diretamente do sistema de controle dos aerogeradores.

3.0 - ESTUDO DE CASO

Nas seções seguintes são apresentados aerogeradores de diferentes fabricantes e a análise sob os critérios mencionados na Seção 2.0.

3.1 Aerogerador 01

Na experiência de análise de operação em testes do aerogerador sobre o critério 1, o período de comprovação é enviado para análise do cliente no momento em que o aerogerador atinge uma disponibilidade de 90%. Quando se trata dos aerogeradores em análise sob os critérios 2 e 3, o aerogerador não necessita apresentar um índice mínimo de disponibilidade. Apenas, as indisponibilidades, e não importa a quantidade, devem ser inferiores a seis e oito horas respectivamente.

Observa-se que em nenhum dos casos há compromisso com a curva de potência contratual. Na Figura 1 é apresentado uma curva VVAN x Potência do aerogerador 01 no período de operação em testes.

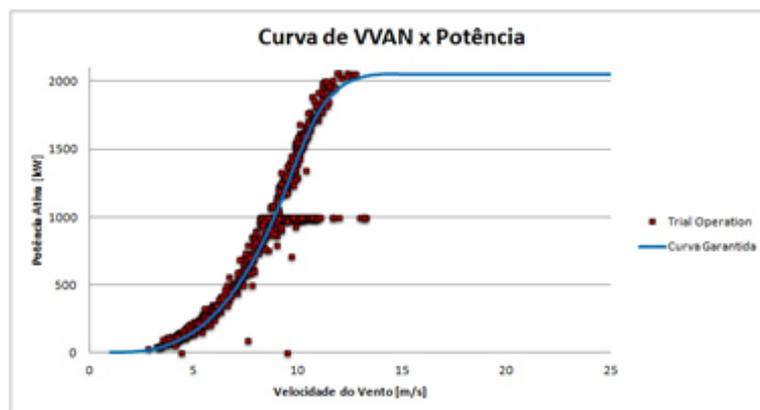


FIGURA 1 – Curva VVAN x Potência – Aerogerador sob Critério 1 – Limitação de Potência

TABELA 1 – Aerogerador 1 e sua Condição Sob Diferentes Critérios Contratuais

	Disp [%]	FC [%]	FC Estudo [%]	Max. Indis. [h]	Avaliação
Critério 1	90	38,33	29,00	7,50	Aprovado
Critério 2					Não Aprovado
Critério 3					Aprovado

O aerogerador 01 apresenta uma limitação de 50% em sua potência durante um determinado período da operação em testes. Mesmo com esta limitação, de acordo com os tipos de contratos celebrados, o aerogerador estaria aprovado de acordo com os critérios 1 e 3. Como apresentou uma falha superior a 6 horas, este aerogerador não estaria aprovado sob o critério 2.

2.2 Aerogerador 02

O critério 2, comprovação operacional de 120 horas, não exige um mínimo de disponibilidade, não há compromisso com a curva de potência, necessitando apenas que as falhas não sejam superiores a seis horas. Na Figura 02 é apresentado a curva VVAN x Potência do aerogerador 02.

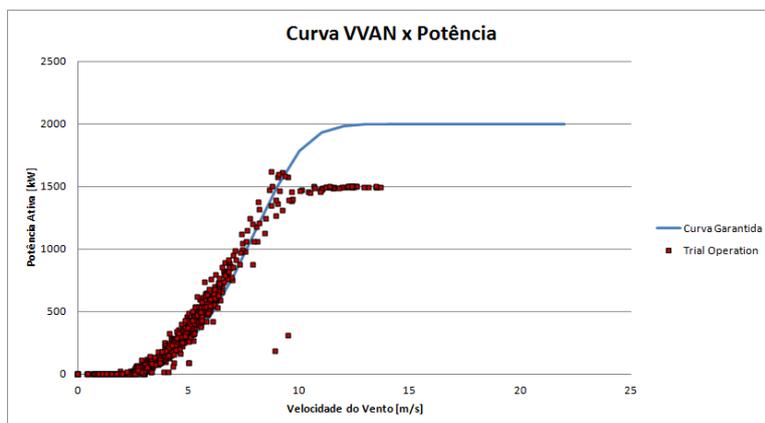


FIGURA 2 – Curva VVAN x Potência – Aerogerador Sob Critério 2 – Limitação de Potência

TABELA 2 – Aerogerador 2 e sua Condição sob Diferentes Critérios Contratuais

	Disp [%]	FC [%]	FC Estudo [%]	Max. Indis. [h]	Avaliação
Critério 1	97,08	18,39	ND	1,3	Aprovado
Critério 2					Aprovado
Critério 3					Aprovado

Observa-se que, este aerogerador teria condições de ser aprovado sob qualquer condição contratual exposta neste artigo. O mesmo apresenta as 120 horas de operação, tem uma disponibilidade maior que 90%, e não possui falhas que causaram indisponibilidade superior a seis ou oito horas.

Os desvios em relação curva de potência do aerogerador da Figura 2 são notáveis quando comparados ao aerogerador da Figura 1. O aerogerador 02, além da limitação de potência apresentada, em nenhum momento durante o período de operação em testes atingiu a potência nominal.

2.3 Aerogerador 03

Aerogeradores sob o critério 3 devem comprovar que são capazes de operar por 240 horas. Nestas 240 horas não deve haver falhas superiores a oito horas. Caso existam, desconta-se o tempo que o aerogerador ficou indisponível e acrescenta-se este tempo no total do período de operação em testes, o seja, toda disponibilidade declarada é de 100%. Este critério não exclui da análise o período em que o SCADA fica indisponível. Este fato é muito grave, pois a análise da operação em testes fica bem prejudicada.

Na Figura 3 é apresentado a curva VVAN x Potência do aerogerador 03. É possível notar uma grande ausência de dados. Para efeito de comparação, na Figura 1 e na Figura 2 existe 120 horas de operação para os aerogeradores 01 e 02, respectivamente. Na Figura 3 existe, ou deveria existir, 240 horas de operação. É notável que a curva VVAN x Potência da Figura 3 é muito pobre.

Os critérios 1 e 2 preveem que o SCADA tem que estar operacional, mesmo que em modo local, para contabilização da operação em testes. De acordo com a Tabela 3, apenas 22% de disponibilidade pode ser assegurada, uma vez que o SCADA ficou indisponível 77,71% do tempo. De acordo com o critério 3 este aerogerador teria sua operação em testes aprovada.

O fator de capacidade apresentado na Tabela 3, foi calculado apenas para os dados válidos.

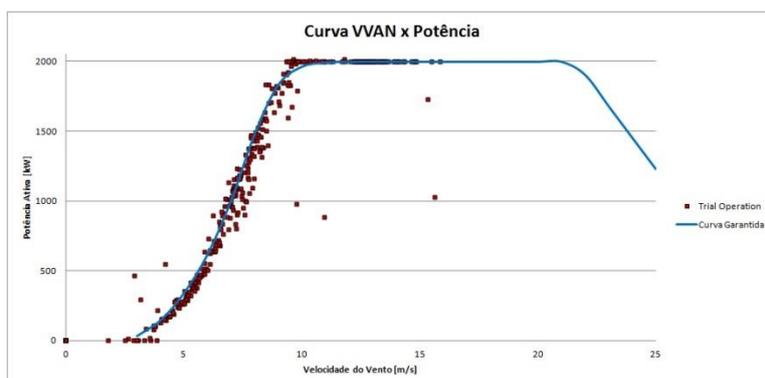


FIGURA 3 – Curva VVAN x Potência – Aerogerador Sob Critério 3 – Ausência de Dados

TABELA 3 – Aerogerador 3 e sua Condição sob Diferentes Critérios Contratuais

	Disp [%]	FC [%]	FC Estudo [%]	Aus. Dados [%]	Avaliação
Critério 1	99,71	61,47	57,37	77,71	Não Aprovado
Critério 2					Não Aprovado
Critério 3					Aprovado

2.4 Aerogerador 04

Em nenhum dos critérios existe a necessidade de comprovação da potência nominal do aerogerador. A Figura 4 apresenta a curva VVAN x Potência do aerogerador 04, como o aerogerador não teve pelo menos 90% de disponibilidade e a falha que levou mais tempo foi superior a 8 horas, sob quaisquer dos critérios, o aerogerador 04 seria reprovado. No critério 1, seria por não atingir um índice de disponibilidade de 90%; nos critérios 2 e 3, por ter indisponibilidade superior a seis e oito horas, respectivamente.

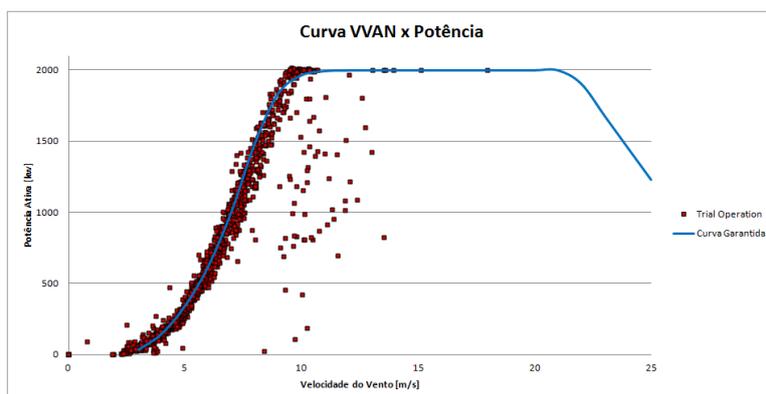


FIGURA 4 – Curva VVAN x Potência – Aerogerador sob Critério 4 – Não Gera a Potência Nominal

Tabela 4 – Aerogerador 4 e sua Condição sob Diferentes Critérios Contratuais

	Disp [%]	FC [%]	FC Estudo [%]	Max. Indis. [h]	Avaliação
Critério 1	85,76 %	30,80 %	49,10	9,60	Não Aprovado
Critério 2					Não Aprovado
Critério 3					Não Aprovado

Na Figura 4 é possível observar que o aerogerador passou por diversos ciclos de partida e parada, não conseguindo despachar a potência nominal da máquina.

Na Figura 5 é apresentado os dados obtidos do analisador de qualidade de energia. Nele, e na curva VVAN x Potência do aerogerador 04 da Figura 4, verifica-se que, quando o aerogerador atinge a potência nominal, a geração é repentinamente interrompida, demonstrando incapacidade do aerogerador em produzir a potência nominal durante o período de operação em testes. O excesso de paradas levou a um fator de capacidade abaixo do previsto.

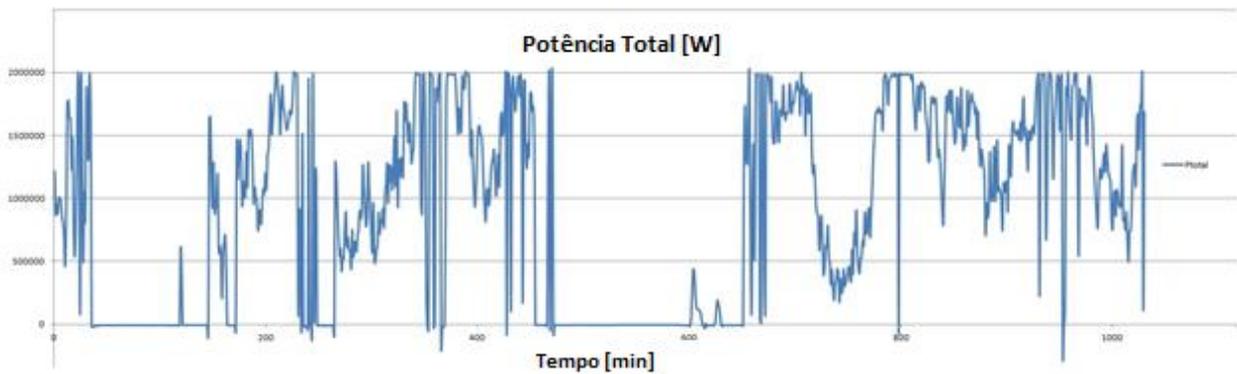


FIGURA 5 – Análise de Qualidade de Energia – Aerogerador 04 não Gera a Potência Nominal

Porém, os contratos estabelecidos não preveem a análise do comportamento do aerogerador sob a condição de despacho de potência nominal.

4.0 - FATORES QUE AFETAM A OPERAÇÃO EM TESTES

Já foi mencionado que normalmente os contratos não comparam o fator de capacidade da operação em testes com o fator de capacidade do estudo pré-operacional, mas, outros fatores importantes também não são observados:

- Falhas repetidas que, quando ocorrem, podem ser sanadas em menos de seis/oito horas. Ou seja, o aerogerador possui um defeito, ou problema de comissionamento que não foi corrigido e demonstra que, pelo excesso de falhas, não deveria iniciar a operação em testes – Figura 4;
- Divergências graves entre a curva de potência contratual e a curva VVAN x Potência, indicando, algumas vezes, o aerogerador operando com potência limitada – Figuras 1 e 2. O que também pode levar a fator de capacidade muito baixo;
- Falha no SCADA, que contratualmente pode não indisponibilizar o aerogerador mas dificulta a análise pelo cliente – Figura 3;
- Desligamentos propositalis da rede de média tensão, por responsabilidade do próprio cliente;
- Incapacidade do aerogerador em gerar a potência nominal, mesmo quando há disponibilidade de vento – Figura 4.

Adicionalmente aos pontos elencados, pode-se destacar que em um dos fornecimentos experimentados pela empresa, se verificou, através do log de falhas do SCADA de alguns aerogeradores, que as diversas falhas que ocorreram, foram sanadas imediatamente, porquê a contratada disponibilizou profissionais trabalhando em turno ininterrupto de revezamento, visando garantir a condição contratual de: falhas que por ventura viessem a ocorrer, deveriam ser inferiores a algumas horas, com o intuito de aprovação do aerogerador.

5.0 - CONCLUSÃO

Usualmente se exige dos fornecedores garantias do bom desempenho dos equipamentos, tanto para o período de garantia como para o ciclo da vida útil. Os métodos mais utilizados são: medição da curva de potência dos aerogeradores, medição global da energia produzida pelo parque e garantia de disponibilidade dos equipamentos (8), porém, estes requisitos não são suficientes para garantir o desempenho individual dos aerogeradores.

Com o avanço da oferta de fabricantes e amadurecimento do mercado de energia eólica, cada vez mais os contratos podem ser moldados para satisfazer ambas as partes.

Segundo os dados analisados da operação em testes, os seguintes critérios devem ser previstos nos contratos de fornecimento, visando garantir o desempenho esperado dos parques eólicos:

- Operação ininterrupta de 240 horas com disponibilidade superior a 95% (não deve haver falhas independentemente do tempo);
- Se houver paralisação de geração proposital para manutenção preventiva e/ou desligamento de rede de média tensão, a contagem de 240 horas é parada, e reiniciada após o final da manutenção ou do desligamento de rede;

- A ausência do sistema de controle da máquina não deve ser tolerada. Mas, não deve haver problemas se o armazenamento for local e depois os dados são manualmente baixados;
- Deve haver um compromisso com a curva de potência contratual: não deve haver limitação de potência e/ou desarranjo no controle de pitch;
- Durante o período de operação em testes as grandezas térmicas e mecânicas medidas no aerogerador e no sistema de potência devem ser fornecidas, garantindo que o aerogerador está operando dentro das características de projeto;
- Não deve haver falhas, especialmente as repetidas, que indicam uma má funcionalidade persistente do aerogerador.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) <http://www.eletrosul.gov.br/nosso-negocio/geracao/geracao-empreendimentos-eolicos>;
- (2) Eletrosul Centrais Elétricas S.A. 2007. Acordo Contratual EPC Usina Eólica Coxilha Negra V, VI e VII.
- (3) Consórcio Cerro Chato. 2012. Contrato de Empreitada Integral a Preço Global Para Implantação dos Projetos Eólicos EOL Cerro Chato IV, Eol Cerro Chato V, e Eol Cerro Dos Trindade, no Estado do Rio Grande do Sul.
- (4) Eólica Ibirapuitã S.A. 2014. Contrato Fornecimento, Supervisão de Montagem, Montagem e Comissionamento de Aerogeradores.
- (5) Eletrosul Centrais Elétricas S.A. 2014. Contrato de Empreitada Integral a Preço Global para Implantação dos Projetos Eólicos EOL Galpões, EOL Capão do Inglês, EOL Coxilha Seca, no Estado do Rio Grande Do Sul.
- (6) Camargo Schubert Engenharia Eólica. 2010. Certificação de Produção Anual de Energia - Complexo Eólico Coxilha Negra V, VI E VII.
- (7) Nathan Curry, Maurizio Motta, Lasse Svenningsen, Morten Thogersen; 2014. Certificação de Produção Anual de Energia - Parque Eólico Galpões, Capão do Inglês e Coxilha Seca.
- (8) Henrique de Almeida Oliveira. 2010. Aferição do Desempenho Operacional de Parques Eólicos. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- (9) IEC 61400-12-1. 2005. Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind Turbines.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rafael Freitas Ferreira – Nascido em Recife, 1985, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2008).

Atualmente trabalha como engenheiro de manutenção da geração na Eletrobrás-Eletrosul, atendendo aos seguintes sistemas: geradores hidráulicos, compensadores síncronos, parques eólicos e usinas fotovoltaicas. Também é responsável pela análise de dados de manutenção preventiva e corretiva daqueles sistemas, avaliando a qualidade da manutenção, ensaios de comissionamento e desempenho de máquinas síncronas. Na parte pós operacional, analisa dados de geração de fontes alternativas fazendo análise de desempenho destas fontes de energia da Eletrosul.

Giuliano Pereira – Nascido em Florianópolis, 1975, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC (2000) com MBA em gerenciamento de projetos pela Fundação Getúlio Vargas - FGV (2006).

Atualmente trabalha como gerente da divisão de engenharia de manutenção de geração, atuando na estruturação de manutenção da Eletrobrás-Eletrosul nas usinas hidrelétricas, usinas eólicas, usina fotovoltaica e compensadores síncronos.