

# Qualificação de Pás de Aerogerador de Pequeno Porte

Nome: Edson Ramos Damasceno

E-mail: edsondamasceno1234@gmail.com

Curso: Capacitação em Inspeção em Pás, Torres e Estruturas Eólicas

Instituição: Somática Educar

## Introdução

Energia é o que aciona todos os processos no universo, desde micro à macro escala, e representa uma das indispensáveis bases para a vida na terra.

A principal fonte da energia na terra é a radiação solar. Através dos processos fotossintéticos, os vegetais convertem energia luminosa em energia química, transformando, assim, o dióxido de carbono da atmosfera em compostos orgânicos de carbono que, para a fauna e os seres humanos, representa a única fonte primária de alimentos.

Na formação da crosta terrestre, grandes quantidades de carbono orgânico ficaram retidas em lugares subterrâneos, sob forma de carvão, petróleo e gás. Este processo acabou purificando a atmosfera terrestre ao longo do tempo, por conta da remoção do dióxido de carbono e a liberação do oxigênio, possibilitando, assim, a manutenção da vida na terra.

As formas mais corriqueiras de uso da energia pelo homem são a iluminação (luz solar) e sob forma de alimento, transformando energia em trabalho muscular, a fim de desempenhar as funções cotidianas do indivíduo.

O uso das energias fósseis em larga escala começou com a exploração das minas de carvão e dos poços de petróleo, para satisfazer a demanda por energia da sociedade industrializada. Com a disponibilidade de grandes quantidades de energia, a mecanização e a automação, começou a motorização da sociedade em todas as áreas: trabalho, agricultura, pesca, produção, transporte, locomoção, comunicação, lazer, preparação de alimentos, condicionamento de ambiente. E isto de tal forma que, atualmente, até os brinquedos para crianças são motorizados.

Na definição da Organização das Nações Unidas (ONU), desenvolvimento sustentável é um conjunto de processos e atitudes que atende às necessidades presentes, sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras satisfaçam as suas próprias necessidades (ONU, 1987).

Mas atualmente, as consequências mais graves do uso excessivo das energias não-renováveis (fósseis) são o esgotamento destes recursos dentro de poucos anos, o equivalente a algumas gerações, além do aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera. Os processos e atitudes da sociedade moderna atendem às necessidades presentes, mas comprometem a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem suas necessidades. A existência da raça humana pode estar ameaçada por conta deste tipo de desenvolvimento.

Evitar um desastre global obriga a humanidade a reduzir significativamente o uso das energias fósseis. Neste caso, as energias renováveis oferecem uma alternativa sustentável para satisfazer a demanda de energia, já que minimizam as chances de ocorrer o já anunciado esgotamento das energias fósseis, e evitam o aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera. Energia renovável é a energia enquadrada em um dos seguintes tipos: radiação, biomassa, hidráulica de rios, vento, calor, correntes marítimas e ondas, que se renovam permanentemente, através do fluxo energético solar.

Técnica e economicamente, o uso de energia renovável é viável no caso da transformação de energia hidráulica, da biomassa em biogás e da eólica em energia elétrica. Mais especialmente, o uso da energia hidráulica e de biomassa sob forma de álcool já tem uma longa história de sucesso no Brasil, que produz atualmente mais de 80% da energia elétrica a partir de recursos hídricos e é líder mundial no domínio de tecnologia e na produção de álcool como combustível automotivo. A produção do biogás na base de biomassa é uma tecnologia usada já em larga escala, no aproveitamento de excrementos de animais e resíduos vegetais, mas o processo de aproveitamento de lixo e de resíduos de tratamento de esgoto para produzir biogás ainda é bastante incipiente, em fase de experiência.

## Desenvolvimento

A função das pás de um aerogerador é a conversão da energia cinética do vento em energia mecânica de um momento e da rotação do rotor.

O vento é uma forma de energia inconstante, continuamente oscilante. E esta oscilação inclui os extremos: parada total de vento e rajadas de mais de 100 km/h. Para o aerogerador em produção, e, em especial, para suas pás, isto significa um permanente estresse de oscilação de cargas aerodinâmicas, e, em situações isoladas durante a vida útil, exposição a cargas extremas.

A norma define várias classes de vento, de classe I a classe IV, listadas na Tabela 3.5, considerando rajadas de até 70m/s (ou 252km/h).

As pás precisam, assim, de resistência estrutural suficiente para suportar todas estas possíveis cargas, com uma razoável margem de segurança. Isto se torna uma questão fundamental pelas seguintes razões:

- O material, especialmente os compósitos de fibra e polímeros, sofre uma degradação estrutural, em virtude da exposição diária à luz do sol durante sua vida útil média (20 anos). As frequências na faixa ultravioleta são as que mais aceleram o processo de envelhecimento e provocam enfraquecimentos estruturais;
- Adicionalmente, vibrações no aerogerador, e especialmente na pá, geram forças que causam estresses adicionais na estrutura; e
- Defeitos escondidos na estrutura da pá, como resultado de uma falha na fabricação, podem acontecer.

Em casos de defeitos escondidos (não detectados visualmente), mesmo com a resistência reduzida, a pá ainda precisa sustentar todas as cargas sem apresentar falhas ou provocar acidentes. No controle de qualidade da pá, isto significa que um teste com cargas nominais não é suficiente. Sendo assim, a padronização tem que considerar:

- ✓ Tolerância a danos e defeitos (do inglês, Damage tolerance);
- ✓ Tolerância a falha (do inglês, Fail safe); e
- ✓ Vida útil com segurança (do inglês, Safe live).

Para contemplar a margem de segurança devida, as cargas de teste devem ultrapassar as cargas máximas nominais em certa percentagem. Na qualificação de asas de aviões, por exemplo, a segurança da resistência mecânica à ruptura é 50% maior que as cargas máximas possíveis.

Os aerogeradores não demandam uma margem de segurança tão elevada a fim de compensar a redução da resistência (por conta das razões acima descritas), principalmente porque as rajadas máximas, que representam o maior estresse possível para as pás, hipoteticamente ocorrem isoladamente por não mais de 10 segundos em um período de 50 anos.

A abordagem da tolerância a danos e defeitos é a base para definir fatores de segurança e deve se basear nos seguintes pontos:

- ✓ Descrição do desenvolvimento dos danos e defeitos;
- ✓ Metodologia de seleção da pá de teste (amostra deve ser representativa);
- ✓ Metodologia de transformação das cargas de operação em cargas de teste; e
- ✓ Ensaio de danos.

Uma estratégia seria realizar ensaios detalhados, com testes não-destrutivos, entender o comportamento da estrutura danificada e compreender melhor o momento da ocorrência dos danos e defeitos, determinando quando estes devem ser considerados críticos.

O procedimento seria carregar as pás, com as forças calculadas, sob forma de peso ao longo do comprimento delas, carregando cada seção com o peso referente. Isto seria um processo paulatino, realizado em várias etapas, começando com cargas menores e aumentando-as, até chegar à carga máxima nominal.

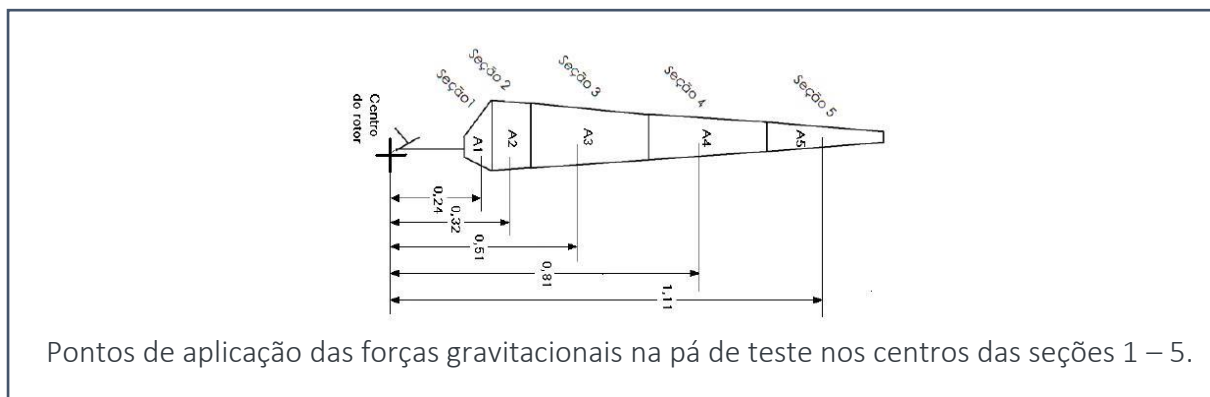
Cada etapa seria concluída com um teste visual da pá, a fim de identificar as possíveis mudanças que sejam visualmente perceptíveis na estrutura, que poderiam sinalizar falhas estruturais. Em caso de suspeita de danos, outro ensaio deveria ser executado, para confirmar a presença desta falha e identificar suas características. Se a pá falha neste momento, em uma etapa inicial, é, logicamente, desnecessário continuar o processo de carregamento.

Após alcançar a carga máxima nominal, as cargas ainda devem ser aumentadas, ainda por etapas, até chegar ao valor correspondente à carga máxima mais a percentagem de segurança. Ressalta-se, no entanto, que as cargas precisam ser realísticas. Cargas exageradas podem provocar danos e defeitos que não correspondem à realidade.

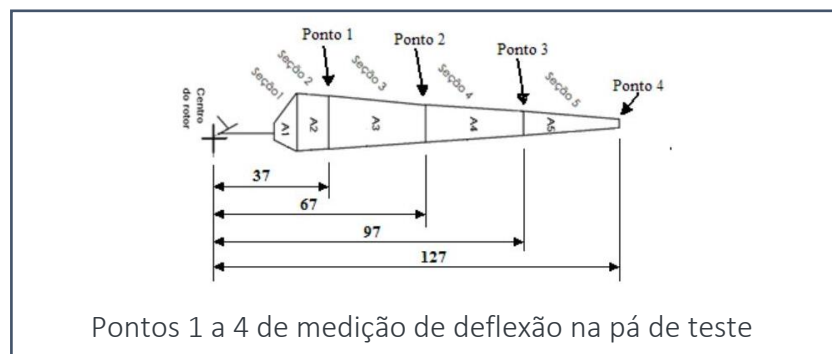
O guia de certificação para aerogeradores (Guideline for the Certification of Wind Turbines, Germanischer Lloyd Edition 2010) recomenda fatores para aerogeradores de pequeno porte entre 1,1 e 1,35 por envelhecimento e degradação do material por condições ambientais, umidade, corrosão, radiação ultravioleta e temperaturas elevadas.

Levando em consideração que, no início do teste com a pá em fibra de juta, não está bem definido o valor-base para o fator de segurança, neste estudo de qualificação estrutural das pás foram tomados fatores de segurança 35% (fator de 1,35), para o caso de cargas aerodinâmicas na operação nominal, e de 10% (fator de 1,1), para as rajadas máximas que, por definição, acontecem isoladamente em períodos de 50 anos por não mais de 10 segundos.

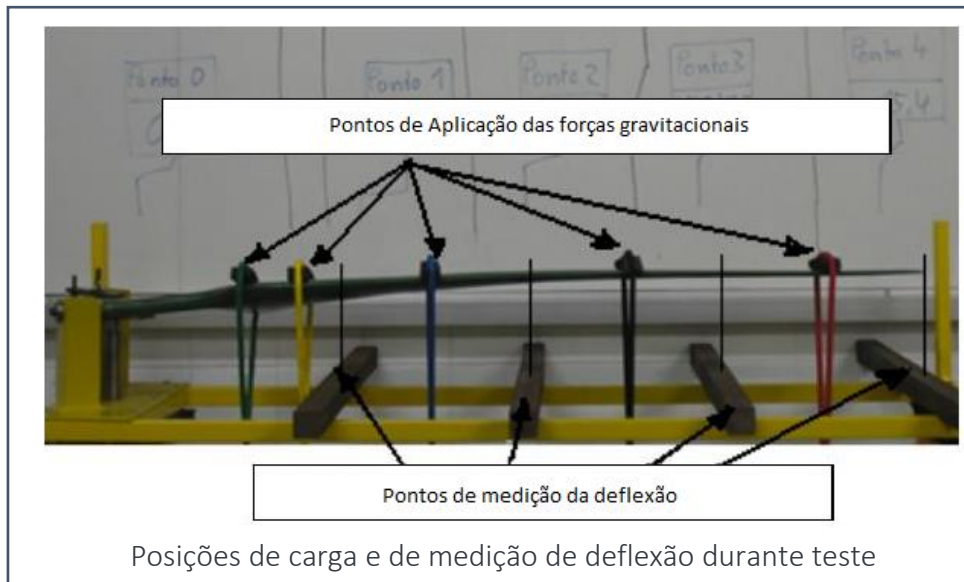
Durante o teste, é necessário definir os pontos de aplicação das forças e os pontos de medição de deflexão na pá. A aplicação de forças que simulam as cargas aerodinâmicas acontece nos centros das seções A1 a A5, como ilustrado na figura abaixo.



Já para a medição de deflexão, escolhem-se pontos entre as seções e na ponta da pá.

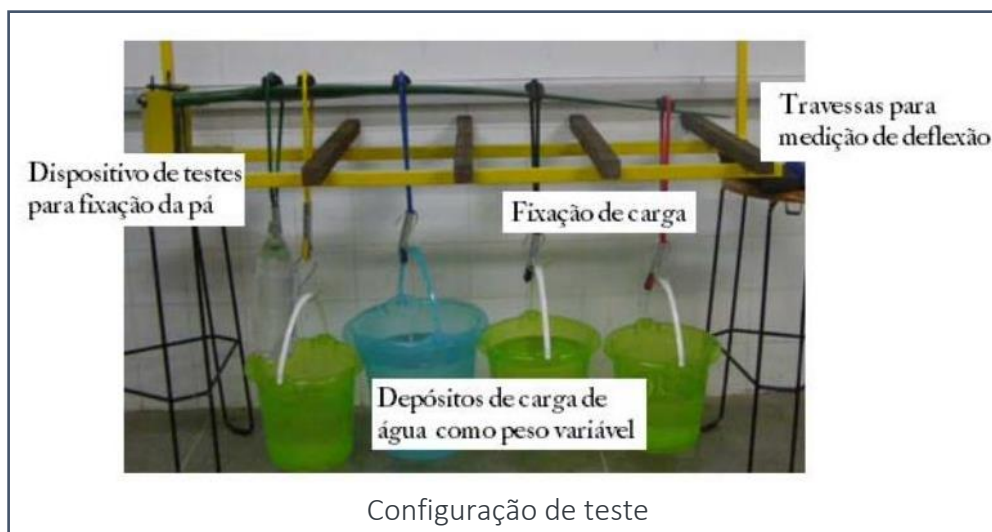


A aplicação das forças gravitacionais na pá de teste e a medição da deflexão acontecem na mesma configuração.



A configuração de teste apresenta os seguintes componentes:

- ✓ 1 unidade de dispositivo de teste para fixação e carregamento da pá;
- ✓ 2 unidades de Apoio para dispositivo de teste;
- ✓ 1 unidade de Balança TCM 230635;
- ✓ 5 unidades de fixação de carga;
- ✓ 5 unidades de depósitos de carga de água, utilizados como peso variável;
- ✓ Travessas para medição de deflexão; e
- ✓ 1 trena da marca *Jomarca*, de 3m com 16mm e divisão da escala em mm.



A balança usada para medir os pesos gravitacionais de água foi a balança digital TCM 230635 de Tchibo GmbH Hamburgo, Alemanha, cujas características técnicas são as seguintes:

Peso máximo: 5.000 g

Divisão: 1g

Precisão da leitura:

Massa padrão 500 g - leitura 499 g (-1g)

Massa padrão 1000 g - leitura 999 g (-1g)

Massa padrão 2000 g - leitura 1998 g (-2g)

Massa padrão 3000 g - leitura 2997 g (-3g)

Massa padrão 4000 g - leitura 3997 g (-3g)

Massa padrão 5000 g - leitura 4996 g (-4g)

A geração das forças é feita através de forças gravitacionais de massa de água, ilustrada na Figura 3.34. Para isto, usam-se depósitos em forma de baldes, que permitem o ajuste da massa dentro de uma tolerância máxima de +4g.

As forças para simulação de cargas operacionais nominais com 650 rpm e uma velocidade de vento de 12 m/s estão relacionadas na Tabela 3.11. Como definido na Filosofia de qualificação, aplicam-se as cargas até 35% acima das cargas nominais calculadas. No início, carrega-se com 50% e 80% (fator de 0,5 e 0,8) das cargas nominais e, em seguida, aumenta-se para 100%, 110% e assim por diante, até se chegar a 135% (fator de 1,35).

O equivalente em massas que geram as forças determinadas é calculado através da equação de Newton:

$$F = m.g$$

onde:

F = força em N (kg.m / s<sup>2</sup>);

g = gravitação terrestre (9,81 m/s<sup>2</sup>); e

m = massa em kg.

## Obras Consultadas

Hans Heinrich Vogt

Análise estrutural de pás de gerador eólico de pequeno porte feitas de fibra vegetal brasileira / Hans Heinrich Vogt — Fortaleza, 2010.