

Title: Laboratório Virtual de Fontes Renováveis de Energia: Uso de Técnicas de Realidade Virtual para Representação de Um Aerogerador Integrado em um Sistema Elétrico

Authors:

**Manoel Ribeiro Filho – Doutor
Marcus Vinicius Alves Nunes - Doutor
João Paulo Abreu Vieira – Mestrando
Pebertli Nils Alho Barata – Graduando
Marcus Guerra da Rocha – Graduando**

Mailing address:

**Universidade Federal do Pará
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação
Rua Augusto Correa , número 1 – Cidade Universitária
CEP: 66075-900, Belém, PA - Brazil.**

Phone:

+55 (91)31831306 / 31831307

Fax:

+55 (91) 31831250

E-mail:

**mrf@ufpa.br.br, mvan@ufpa.br, jpavieira@yahoo.com.br,
pebertli@yahoo.com.br, mgrochaufpa@yahoo.com.br,**

Contact author:

Manoel Ribeiro Filho

Topic area:

9. Sistemas Energéticos Alternativos

Abstract – Este trabalho visa primordialmente o desenvolvimento de uma ferramenta virtual de auxílio no ensino e treinamento de profissionais do setor de energia eólica, permitindo a visualização de um aerogerador interligado a um sistema de potência. O ambiente tridimensional que representa a dinâmica do sistema eólico foi construído utilizando-se a API Java 3D. O usuário pode executar o programa utilizando parâmetros do sistema, e carregá-los, dessa forma, podendo observar o comportamento do sistema eólico em tempo real, diante de variações na velocidade do vento e de faltas no sistema elétrico.

LABORATÓRIO VIRTUAL DE FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA: USO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL PARA REPRESENTAÇÃO DE UM AEROGERADOR INTEGRADO EM UM SISTEMA ELÉTRICO

Abstract – Este trabalho visa primordialmente o desenvolvimento de uma ferramenta virtual de auxílio no ensino e treinamento de profissionais do setor de energia eólica, que permite a visualização de um aerogerador interligado a um sistema de potência. O ambiente tridimensional que representa a dinâmica do sistema eólico foi construído utilizando-se a API Java 3D. O usuário pode executar o programa utilizando parâmetros do sistema, e carregá-los, dessa forma, podendo observar o comportamento do sistema em tempo real, diante de variações na velocidade do vento e de faltas no sistema elétrico.

Keywords – Realidade virtual, sistemas eólicos, sistemas elétricos.

I. INTRODUÇÃO

Existe o consenso definitivo de que a Realidade Virtual (RV) pode ajudar efetivamente no processo de interação ensino-aprendizagem. Este trabalho pretende utilizar as potencialidades provenientes da RV para auxiliar o ensino e o treinamento de profissionais da área de sistemas eólicos.

A possibilidade de crescimento na interligação de aerogeradores à rede elétrica das concessionárias de energia reporta à necessidade de desenvolvimento de ferramentas capazes visualizar o funcionamento de sistemas eólicos em tempo real, pois sua visualização é muito limitada devido a suas grandes dimensões.

Partindo deste princípio, apresentamos neste artigo uma proposta, para visualização de um aerogerador integrado em um sistema elétrico, através de um ambiente virtual 3D.

Este ambiente virtual possibilita ao usuário visualizar o sistema eólico de tal forma, que em sistemas reais seria inviável ou impossível. Tornando-se possível observar certas características deste tipo de sistema, que só seriam observadas através de gráficos de simulações, como por exemplo, o efeito de um “curto – circuito” na rede.

Além da facilidade citada acima, o ambiente também proporciona ao usuário, informações adicionais como, a visualização em tempo real das variáveis do sistema, como por exemplo, potência e tensão gerada, e também possibilita visualização gráfica destas variáveis ao longo do tempo.

II. ARQUITETURA COMPUTACIONAL

O sistema foi todo implementado usando a linguagem de programação Java e suas APIs. A Fig.1 apresenta o diagrama de módulos da arquitetura computacional do sistema. A interface gráfica do usuário foi implementada através do swing, que é padrão Java para interfaces gráficas. O ambiente Virtual 3D foi implementado através da API Java 3D, que é um programa adequado para a construção de ambientes de Realidade Virtual consistindo de classes para o

modelamento geométrico, com iluminação e textura, e classes para interação, navegação e animação em tempo real. Com o objetivo de tornar as figuras mais realísticas, o aerogerador e suas peças mecânicas foram modeladas em um programa CAD e depois carregadas para o Java 3D.

A modelagem dinâmica do gerador de indução foi implementada na linguagem Java, usando principalmente a classe Math do Java.

O módulo gráficos foi desenvolvido sobre a API Java de geração de gráficos Rchart. Onde este é responsável por gerar os gráficos das variáveis de maior importância do sistema como, tensão gerada, velocidade do eixo do rotor do gerado, etc.

A interação entre os módulos da modelagem dinâmica e o ambiente virtual 3D, é responsável por toda dinâmica e por todo realismo do sistema, pois o primeiro resolve as equações do gerador e da turbina eólica, a cada amostra, e repassa os valores das variáveis para as animações no Ambiente Virtual 3D, fazendo com que o sistema no ambiente comporte-se como um aerogerador real.

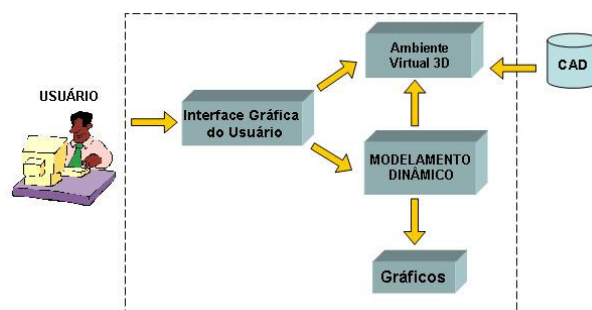


Fig. 1. Diagrama de módulos

III. MODELO DA TURBINA EÓLICA

A potência mecânica da turbina eólica é calculada pela seguinte expressão:

$$P_{mec} = 0.5 \rho C_p \pi r^2 U_w^3$$

Sendo r - raio do rotor da turbina eólica; U_w - velocidade média do vento (m/s); ρ - massa específica do ar (kg m³) e C_p - coeficiente de performance.

Neste trabalho para esquemas de velocidade fixa é considerado apenas o controle estol, onde C_p é função somente de λ , como descrito nas equações a seguir:

$$C_p(\lambda) = 0.44 \left(\frac{125}{\lambda_i} - 6.94 \right) e^{-\frac{16.5}{\lambda_i}}$$

$$\lambda_i = \frac{1}{\frac{1}{\lambda} + 0.002}$$

IV. MODELO DO GERADOR

No modelo do gerador de indução em gaiola, os enrolamentos do rotor são curto-circuitados, portanto, a tensão no rotor é igual a zero. O modelo dinâmico do gerador de indução considera duas equações de estado para o rotor, mais a equação de balanço. Os transitórios do estator são desprezados neste modelo. Desta forma, as equações em p.u., na base nominal do gerador, para as tensões atrás da reatância transitória, são mostradas a seguir:

$$V'_{das} = V'_{da} - r'_{as} i'_{das} + X'_a i'_{qas}$$

$$V'_{qas} = V'_{da} - r'_{as} i'_{das} + X'_a i'_{qas}$$

$$\frac{dV'_{da}}{dt} = \frac{1}{T'_o} \cdot [-V'_{da} + (X'_a - X'_a) i'_{qas}] + s\omega_s V'_{qa}$$

$$\frac{dV'_{qa}}{dt} = \frac{1}{T'_o} \cdot [-V'_{qa} - (X'_a - X'_a) i'_{das}] - s\omega_s V'_{da}$$

$$2H_G \frac{d\omega_G}{dt} = (T_m - T_e - D\omega_G)$$

V. RESULTADOS

A Fig.2 mostra uma visão do ambiente virtual, onde pode-se observar uma turbina eólica em um ambiente característico, onde podemos observar que o programa além de apresentar o ambiente virtual, também apresenta uma interface gráfica.

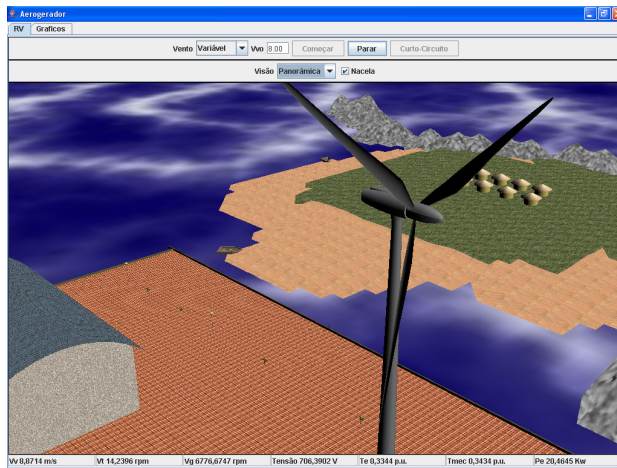


Fig. 2. Visão Panorâmica

A interface gráfica da parte superior possui três níveis. O primeiro nível é constituído por dois botões, o botão RV e os botões Gráficos. O Botão RV, que está configurado na Fig. 2, mostrando o ambiente virtual formado pelo aerogerador. O botão Gráficos, mostra os gráficos gerados durante a simulação, que serão mostrados mais a frente.

O segundo nível apresenta o botão vento, associado a um menu de rolagem, onde o usuário poderá escolher entre vento constante e variável. Em seguida vem uma caixa de texto onde o usuário escolherá a velocidade do vento constante, ou a velocidade inicial quando o vento for variável. Em seguida vem os botões Começar e Parar, que iniciam e terminam a simulação.

No terceiro nível tem o botão visão, associado com um menu de rolagem, que está configurado em panorâmica. E ao lado tem-se um botão de escolha, que está configurado para se ver a Nacele. Ao centro observa-se um ambiente virtual, onde na Fig.2 vê-se o aerogerador com as pás em movimento no continente, e uma ilha mais ao fundo. Pode-se navegar pelo ambiente virtual usando-se o mouse ou o teclado. Na interface gráfica inferior é mostrado diversos valores conseguidos do modelo dinâmico do sistema, que move as pás do aerogerador. Os valores exibidos são de: Velocidade do vento em (m/s), Velocidade das pás da turbina em (rpm), velocidade do gerador em (rpm), Tensão gerada em (Volts), e potência em (kW).

A Fig. 3 mostra o aerogerador virtual com outras configurações. Nesse caso a velocidade do vento é variável e foi iniciada em 8 m/s. A visão está próxima a nacele, podendo-se ver os componentes interiores interno da mesma.

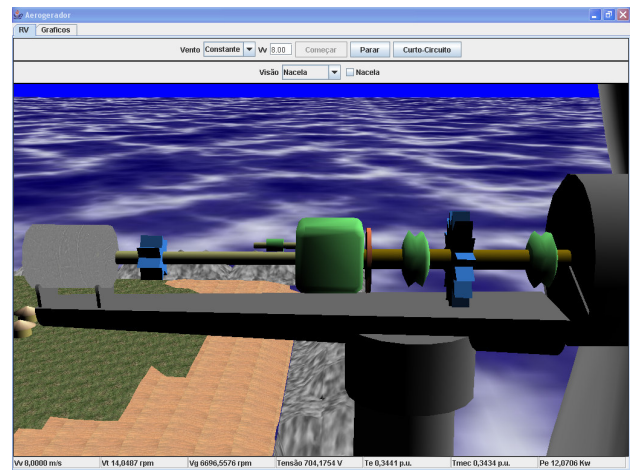


Fig. 3 Visão da Nacele

Como o sistema está em simulação pode-se ver visualmente que a velocidade do eixo do gerador é bem maior do que a velocidade das pás da turbina. Durante a simulação o usuário pode escolher o botão gráficos, onde são mostradas diversos gráficos das variáveis do sistema obtidos durante essa simulação.

O comportamento do sistema é investigado usando uma seqüência de vento variável como mostrado na Fig.4 a seguir.

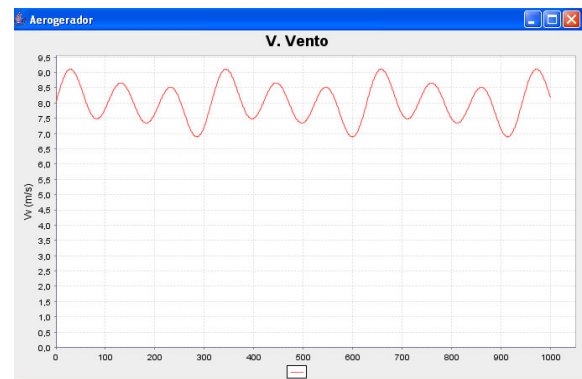


Fig. 4. Velocidade do vento

VI. CONCLUSÕES

A velocidade das pás da turbina e do rotor do gerador de indução em gaiola são mostradas nas Fig.5 e Fig.6, respectivamente. No qual observa-se que a velocidade das pás é menor que a velocidade do eixo do gerador, devido ao alto número de pólos do mesmo, sendo necessário o acoplamento do eixo do gerador com a turbina via caixa de engrenagem ou caixa multiplicadora.

E verificado também que a velocidade do gerador é mantida pela frequência da rede elétrica, ou seja, a velocidade do gerador é fixa.

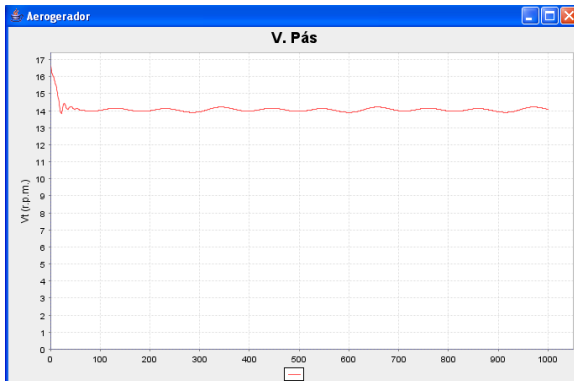


Fig. 5. Velocidade das pás.

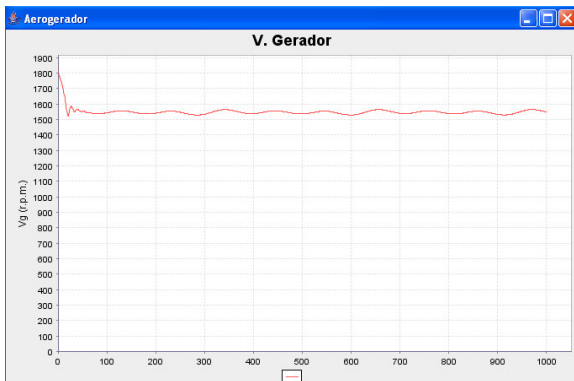


Fig. 6. Velocidade do gerador.

Nos gráficos a seguir da Fig.7, pode-se observar que o perfil de tensão do gerador, está fixado em valores próximos do nominal de 690V.

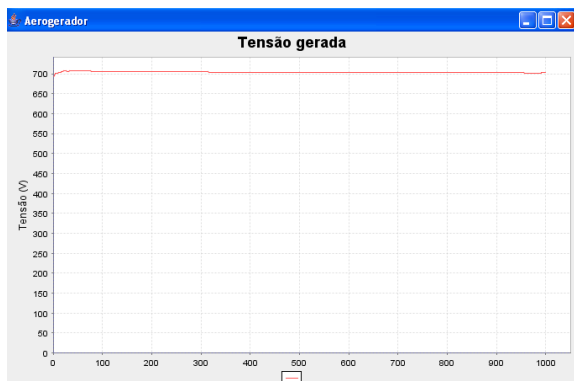


Fig. 7. Tensão.

Neste trabalho apresentou-se a implementação de um laboratório virtual de fontes renovável, especificamente desenvolvido para o sistema dinâmico de uma aerogerador interligado a um sistema de potência. A construção de um ambiente virtual tridimensional representando o sistema eólico faz parte do interesse de desenvolver um laboratório virtual treinamento de profissionais e estudantes do setor energético.

Foi mostrado que o ambiente virtual desenvolvido possibilita ao usuário visualizar o sistema eólico, em tempo real, observando o comportamento dinâmico do aerogerador, tornando-se possível observar certas características do sistema, que só seriam observadas através de gráficos de simulações. O ambiente mostrou também proporcionar ao usuário, informações das variáveis do sistema ao longo do tempo, como por exemplo, velocidade do eixo do gerador, tensão gerada, etc.

Pretende-se montar um laboratório virtual de fontes renováveis utilizando a API Java 3D, contendo todas as tecnologias de geração de energia, como: painéis fotovoltaicos, biomassa, hidráulica, etc, integrados em sistemas elétricos, em esquemas de geração distribuída.