

# DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS COMPUTACIONAIS COMO FERRAMENTA DIDÁTICA NO ESTUDO DE AEROGERADORES

Jorge Antonio Villar Alé<sup>1</sup>, Marcelo R. Petry, Alexandre Vagtinski de Paula

**Abstract** — This paper approaches the development of two softwares used in the project of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) and designed to contribute with the teaching of engineering systems. In the mechanical part of VAWT study, the knowledge of some blade parameters, like Power Coefficient and Tip Speed Ratio, is an essential information to the Power Performance Prediction. To the electric study, is important the knowledge of the influence by the physical characteristics in the response of the electric generator used in the wind energy conversion process. These were the inspiration to the development of the softwares: build a didactical computer program that could easily solve the math equations related and express then in graphic results.

**Index Terms** — Wind Energy, Vertical Axis Wind Turbine.

## INTRODUÇÃO

O aproveitamento dos ventos como fonte de geração de energia elétrica tem sido foco de interesse de muitas nações atualmente, apresentando-se como um mercado promissor e em crescimento exponencial onde as pesquisas na área de desenvolvimento de turbinas eólicas mostram o avanço de tecnologias como aerodinâmica e sistemas de geração de eletricidade.

Atualmente o sistema de ensino não tem conseguido acompanhar na mesma velocidade a evolução dos sistemas de energia renováveis disponíveis no mercado. Ainda são poucas as universidades que possuem aulas teóricas e práticas específicas sobre o assunto. Nesse sentido surge a preocupação do Núcleo Tecnológico de Energia e Meio Ambiente (NUTEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) em desenvolver sistemas que auxiliem no aprendizado dos alunos.

Existem diversos modelos de turbinas eólicas, que podem ser distinguidos em função da disposição do eixo, podendo ser horizontal (TEEH) ou vertical (TEEV), Figura 1, e em função do porte, de acordo com a potência gerada. O presente trabalho está vinculado ao projeto FINEP de desenvolvimento de TEEV's de pequeno porte onde o objetivo é a criação máquinas com características aerodinâmicas modernas, eficientes e de alta robustez. Para tanto, utiliza-se os métodos dos Duplos Múltiplos Tubos de Corrente (DMTC), [1] e [2], para a análise das pás da turbina e equações propostas em [4] e [9] para o equacionamento do gerador, Figura 2.

Entretanto a utilização dos métodos propostos torna-se inconveniente e cansativa quando do projeto de máquinas de diferentes configurações. Sendo assim, este trabalho traz uma proposta de implementação destas metodologias de forma sistematizada e rápida, a partir do uso do programas desenvolvidos pela equipe do NUTEMA como ferramenta computacional didática de apoio, permitindo que os conceitos envolvidos sejam melhor trabalhados pela redução do esforço e do tempo despendidos, possibilitando o seu uso tanto em sala de aula, quanto no exercício profissional dos futuros engenheiros.

Para a análise computacional foram criados dois aplicativos, um para a área mecânica e outro para a área elétrica. Na mecânica, o objetivo do programa (PRO-TEEV) é realizar o cálculo dos parâmetros de TEEV's de pás retas através do uso dos DMTC. O programa desenvolvido para a parte elétrica (PRO-GIP), foi proposto para a predileção das curvas de potência de um gerador toroidal de ímãs permanentes para ser utilizado em conjunto com as pás desenvolvidas no laboratório.



FIGURA 1

FOTOGRAFIA DE UMA TEEV COMERCIAL.

<sup>1</sup> Jorge Antonio Villar Alé, Renewable Energy Laboratory – NUTEMA - PUCRS Av. Ipiranga, 6681, Prédio 30, Bloco F, Sala 272, 90619-900, Porto Alegre, RS, Brazil, villar@pucrs.br

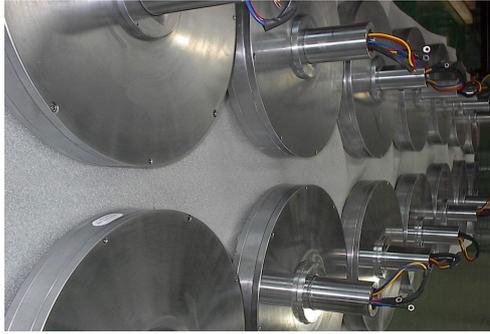


FIGURA 2  
GERADOR DE ÍMÃS PERMANENTES COMERCIAL

### PROPOSTA PARA O DIMENSIONAMENTO DE TURBINAS EÓLICAS

Estão sendo apresentadas duas ferramentas que permitem o dimensionamento do sistema eólico e que podem ser utilizadas didaticamente em cursos de engenharia. Cabe assinalar que ambas as ferramentas devem ser aperfeiçoadas de forma a torná-las mais amigáveis para sua utilização por pessoas leigas aos conceitos de sistemas eólicos. Certamente estas ferramentas devem ser utilizadas sob a orientação de um professor, determinando as tarefas a

serem realizadas, além de ser responsável pela previa apresentação dos conceitos básicos para os alunos.

Os alunos de Engenharia poderiam utilizar estas ferramentas em disciplinas que envolvem o projeto de máquinas (mecânicas e elétricas). Inicialmente o aluno poderia dimensionar o a turbina eólica levando em consideração dados de vento específicos e potência nominal desejada (utilizando o PRO-TEEV), para posteriormente utilizar os dados de saída do programa para auxílio da escolha de um gerador elétrico adequado para a máquina proposta (PRO-GIP). Desta forma os programas se complementam, permitindo o aluno relacionar-se com conceitos básicos de sistemas eólicos tanto na parte conceitual aerodinâmica quanto na parte elétrica da máquina. A Figura 3 mostra um esquema do uso em conjunto dos programas no dimensionamento de uma pequena turbina eólica.

### PRÓ-TEEV

O aplicativo PRO-TEEV (Projeto de Turbinas eólicas de Eixo Vertical) foi inicialmente desenvolvido em planilhas de eletrônicas e posteriormente convertido para linguagem DELPHI. Esta ferramenta possibilita o cálculo de diversos parâmetros de turbinas eólicas de eixo vertical através dos métodos de duplos múltiplos tubos de corrente (DMTC) e DMTC com correção para aspecto finito de pá.

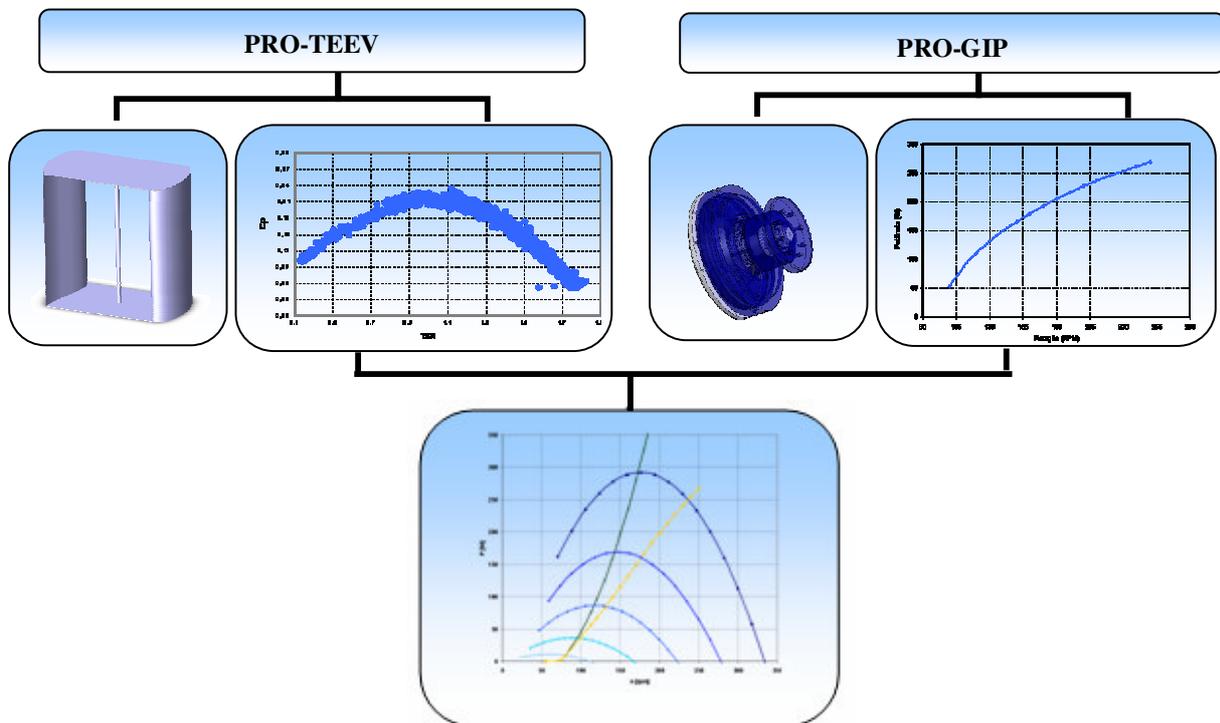


FIGURA 3  
UTILIZAÇÃO DOS PROGRAMAS NO DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS EÓLICOS.

O método MTC (múltiplos tubos de corrente) desenvolvido por Strickland (1975) resumidamente consiste na consideração de tubos de corrente atravessando o rotor, e para cada tubo de corrente são determinadas forças aerodinâmicas as quais possibilitam o desenvolvimento de um algoritmo aplicado a um processo iterativo que gera uma série de resultados respectivos a TEEV em análise. O DMTC faz uso de equações deduzidas da Teoria de Disco Atuador e Teoria de Elemento de Pá como apresenta Homicz (1991), este método representa uma maior transcrição dos reais efeitos físicos em relação ao primeiro, por considerar que cada tubo de corrente intercepta duas vezes a trajetória da pá.

Apresentamos através das janelas demonstrativas deste aplicativo uma tendência apresentada por esta análise onde simulamos o protótipo de TEEV de alta solidez. O aplicativo permite simulações para turbinas de pás retas sem o núcleo, por tanto esta tendência apresentada seria para um modelo com esta configuração.

A Figura 4 ilustra a janela inicial e de inserção de dados no aplicativo. É possível nesta janela determinar as condições iniciais da turbina e do meio de aplicação. São inseridos dados referentes ao protótipo do qual apresentamos resultados.

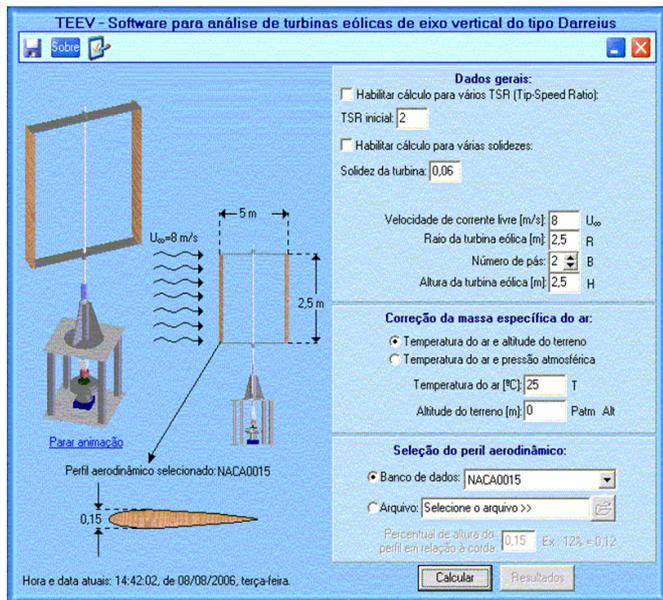


FIGURA 4  
JANELA INICIAL DO PRO-TEEV.

Os resultados podem ser analisados após os parâmetros iniciais terem sido definidos e o usuário mandar o aplicativo executar os cálculos. As variáveis calculadas são expressas através de colunas contendo seus valores numéricos, sendo possível para cada uma delas gerar um gráfico correspondente, Figura 5.

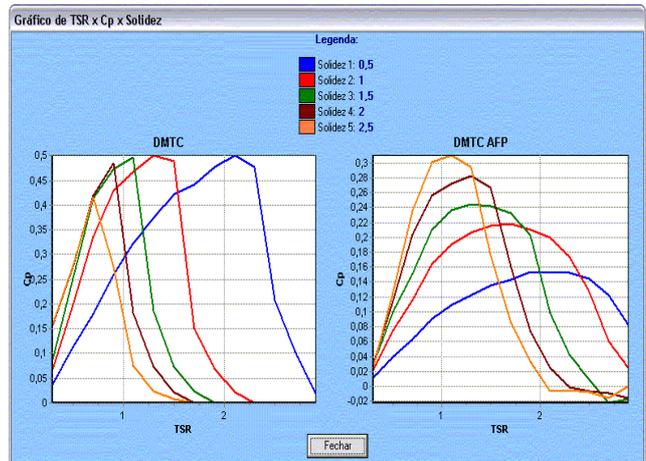


FIGURA 5  
GRÁFICOS DE CP X TSR SOLICITADOS

## PRÓ-GIP

O resultado dos estudos e equacionamentos das curvas de potência geradas pela turbina e pelo gerador foi expresso sob a forma de um programa desenvolvido em linguagem DELPHI. Fazendo referência à Projeto de Geradores de Ímãs Permanentes para turbinas eólicas o programa foi batizado com o nome de PRO-GIP. Na estrutura do programa, Figura 5, verifica-se que a partir dos dados inseridos pelo usuário o aplicativo se propõe a efetuar os cálculos das potências elétrica e mecânica das máquinas. O resultado desse processo pode então ser visualizado tanto de forma gráfica quanto em forma de tabelas.

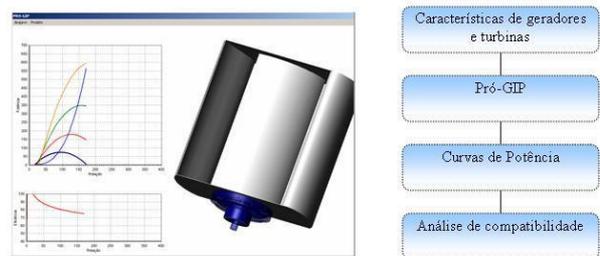


FIGURA 5  
ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

O programa conta com uma interface simples composta de dois menus principais e cinco módulos. Nos menus encontram-se opções para se carregar e salvar arquivos de projeto, exportar as tabelas dos resultados e diversas configurações de cálculo e visualização. Cada um dos diferentes módulos corresponde a uma fase diferente do projeto, desde a concepção do gerador, da turbina, dos resultados paralelos e sua integração.

Na guia Parâmetros - Gerador, Figura 6, inserem-se os dados característicos do gerador. Após o preenchimento de todos os campos, os cálculos podem ser realizados e os resultados visualizados na guia Resultados – Gerador.

**Dados Gerais**

Nº Slots: 1      Rotação Nominal: 150 RPM  
 Nº espiras: 1296      Permeabilidade no espaço livre: 0.0000012 H/m  
 Nº fases: 3      Permeabilidade relativa do recoil: 1 H/m  
 Nº pólos: 16      Tensão do banco de baterias: 12 V  
 Air Gap: 1,1 mm      Fator de correção empírico: 1

**Dados do Fio do Enrolamento**

Resistência: 16.345 Ohm/Km      Coef. de Condutividade Térmica: 47000000 S/m  
 Diâmetro: 0.8118 mm      Nº condutores paralelos: 2

**Dados do Toro**

Diâmetro Externo: 192 mm  
 Diâmetro Interno: 140 mm  
 Espessura: 10 mm

**Dados dos Magnetos**

Espessura do magneto: 12 mm  
 Densidade de fluxo remanente: 1.4 T  
 Tipo: Circular      Diâmetro: 30 mm

Buttons: Calcular, Gráficos

FIGURA 6  
INSERÇÃO DOS PARÂMETROS DO GERADOR

A forma padrão de resposta do programa é a gráfica, Figura 7, bastando-se escolher a opção Tabelas no canto inferior esquerdo para alterar o modo de visualização.

Através da inserção de variáveis características da turbina, obtêm-se os resultados gráficos da suas curvas de potência para a faixa de velocidade de vento definida nas configurações. As respostas podem ser visualizadas sob duas formas: potência versus rotação, Figura 8, e torque versus rotação.

## CONCLUSÕES

Os programas, desenvolvidos como alternativa para o cálculo do método DMTC e para os equacionamentos do gerador elétrico, mostraram-se de fácil manuseio, permitindo uma rápida obtenção para resultados preliminares. Sendo assim, demonstram ser ferramentas interessantes para a redução do binômio tempo/esforço nos cálculos e na análise de processos de conversão de energia eólica em energia elétrica. Contribuem ainda para uma melhor fixação do assunto e maior capacidade de ação, tanto em pesquisa e sala de aula, quanto, posteriormente, no exercício profissional.

## REFERÊNCIAS

[1] Alé, J. A.V. “Desenvolvimento de Turbina Eólica de Eixo Vertical”, Projeto Finep FNDCT/CT-ENERG, 2004.

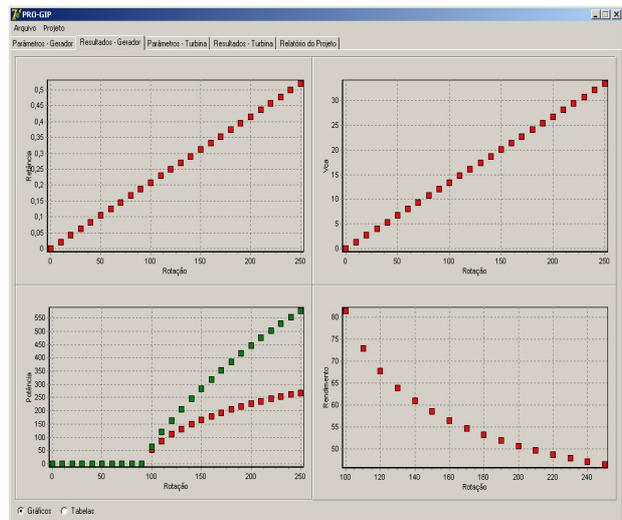


FIGURA 7  
CURVAS DE POTÊNCIA DO GERADOR

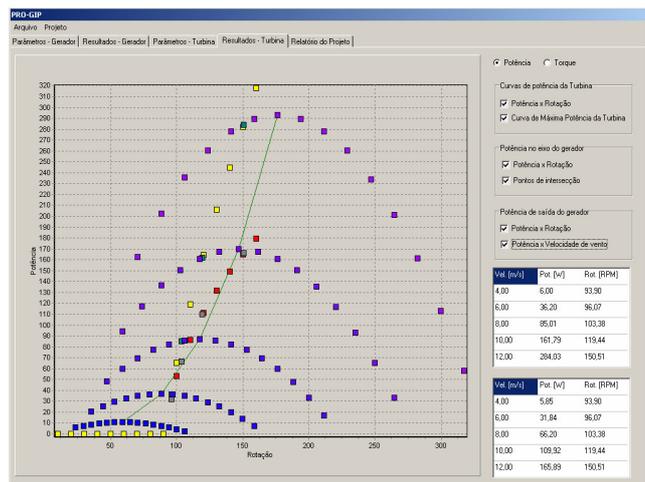


FIGURA 8  
CURVAS DE POTÊNCIA DA TURBINA

[2] Alé, J. A. V.; Adegas, F. D. and Simioni, G. C.; “Methodologies for Power Curve Test of Small Wind Turbines”. In: WINDPOWER 2005 Conference and Exhibition, Denver, USA. 2005.

[3] Garcia, S. B.; Simioni, G. C. and Alé, J. A.V. “Aspectos de Desenvolvimento de Turbina Eólica de Eixo Vertical”. CONEM, Recife, 2006.

[4] Gieras, J. F. and Wing, M. “Permanent Magnet Motor Technology”, Design and Applications, Second Edition, Revised and Expanded, 2002.

[5] Khan, M.A and Malengret, M. “Impact of Direct-Drive WEC Systems on the Design of a Small PM Wind Generator”, Paper accepted for presentation at 2003 IEEE Bologna PowerTech Conference, June 23-26, Bologna Itália.

- [6] Muljadi, E.; Drouilhet, S. and Holz, R.; "Analysis of Wind Power for Battery Charging", National Renewable Laboratory, State Engineering University of Armenia.
- [7] Paraschivoiu, I. "Wind Turbine Design With Emphasis on Darrieus Concept," Ecole polytechnique de Montreal, 2002.
- [8] Petry, M. R.; Konzen, G. and Alé, J. A.V. "Ensaio Laboratorial para Testes em Bancada de Geradores Eólicos de Pequeno Porte". CONEM, Recife, 2006.
- [9] Petry, M. R. and Alé, J. A.V. "Geradores Elétricos Para Uso Em Turbinas Eólicas De Eixo Vertical", Relatório CNPq, 2006.
- [10] Pierik, J.T.G. "Performance Evaluation Method for Autonomous, Applications Orientated Wind Turbine Systems: Systems with batteries", 2001.
- [11] Rovio, T.; Vihriälä, H.; Söderlund, L. and Kriikka, J., "Axial And Radial Flux Generators In Small-Scale Wind Power Production", Institute of Electromagnetics, Tampere University of Technology.
- [12] Skaar, S.E.; Krovel, O.; Nilssen, R. and Erstad H., "Slotless, Toroidal Wound, Axially- Magnetized Permanent Magnet Generator For Small Wind Turbine Systems," Norwegian University of Science and Technology.
- [13] Homicz, G.F."Numerical Simulation of VAWT Stochastic Aerodynamic Loads Produced by Atmospheric Turbulence: VAWT-SAL Code" SAND91-1124, 1991.
- [14] Strickland, J.H. "The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Stream tubes", SAND75-0431, 1975.