

ASPECTOS NO PROJETO DE TURBINAS EÓLICAS DE EIXO VERTICAL

Sérgio Boscato Garcia – siosguitar@puers.br

Marcelo R. Petry – marcelo.petry@gmail.com

Gabriel Cirilo da Silva Simioni – simioni@puers.br

Gustavo Konzen – gustavo.konzen@puers.br

Alexandre Vagtinski de Paula – vagtinski@puers.br

Jorge Antonio Villar Alé – villar@puers.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia,
Núcleo Tecnológico de Energia e Meio Ambiente.

5.1 Turbinas Eólicas

Resumo. *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 as pesquisas na área de desenvolvimento de turbinas eólicas mostram o avanço de tecnologias como aerodinâmica e sistemas de geração de eletricidade.*

Existem diversos modelos de turbinas eólicas, que podem ser distinguidos em função da disposição do eixo, podendo ser horizontal (TEEH) ou vertical (TEEV), e em função do porte, de acordo com a potência gerada. O presente trabalho apresenta o projeto de desenvolvimento de TEEV's de pequeno porte onde o objetivo é a criação máquinas com características aerodinâmicas modernas e eficientes, com alta robustez e capacidade para gerar entre 200W e 250W de potência nominal. As atividades do projeto estão relacionadas com o desenvolvimento de protótipos e testes dos mesmos em laboratório, sendo de forma paralela realizada a análise do modelo do sistema através de aplicativos computacionais. Será dado maior enfoque neste trabalho ao estudo dos resultados de análises experimentais e computacionais dos rotores e dos geradores. Tal projeto é desenvolvido no NUTEMA através de financiamento da FINEP e parcerias com empresas privadas.

Palavras-chave: *Energia Eólica, Aerogeradores, Turbinas Eólicas de Eixo Vertical*

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho são apresentados alguns relevantes aspectos no projeto de desenvolvimento de turbinas eólicas, especificamente, de eixo vertical. Tal projeto tem por objetivo desenvolver uma máquina de pequeno porte robusta, de alta qualidade técnica e eficiência. Estuda-se uma máquina capaz de gerar entre 200W e 250W de potência nominal em um sistema autônomo, onde a energia gerada é armazenada em banco de baterias.

A Fig. 1.1 ilustra de forma objetiva como se dará a abordagem do projeto de desenvolvimento de turbinas eólicas de eixo vertical neste trabalho, enfatizando os pontos de análises e resultados. A primeira etapa consistiu em uma revisão dos conceitos clássicos das TEEV's (turbinas eólicas de eixo vertical) existentes, assim como, dos modelos mais recentes e atuais, conforme mostra Garcia *et al.* (2006). Isso possibilitou a criação de protótipos tridimensionais e o posterior acompanhamento na confecção das TEEV.

A seqüência dessa etapa envolveu testes das turbinas eólicas e testes de bancada com geradores elétricos, de acordo com Petry *et al.* (2006). Os resultados obtidos nos testes representam de forma sucinta as atividades experimentais desenvolvidas em laboratório. Os aplicativos Pró-TEEV e Pró-GIP, desenvolvidos no NUTEMA, são suportes na análise computacional da aerodinâmica das pás da turbina e dos geradores elétricos. Aplicando métodos de cálculo, os mesmos possibilitam a simulação de diversas configurações para o conjunto rotor e gerador.

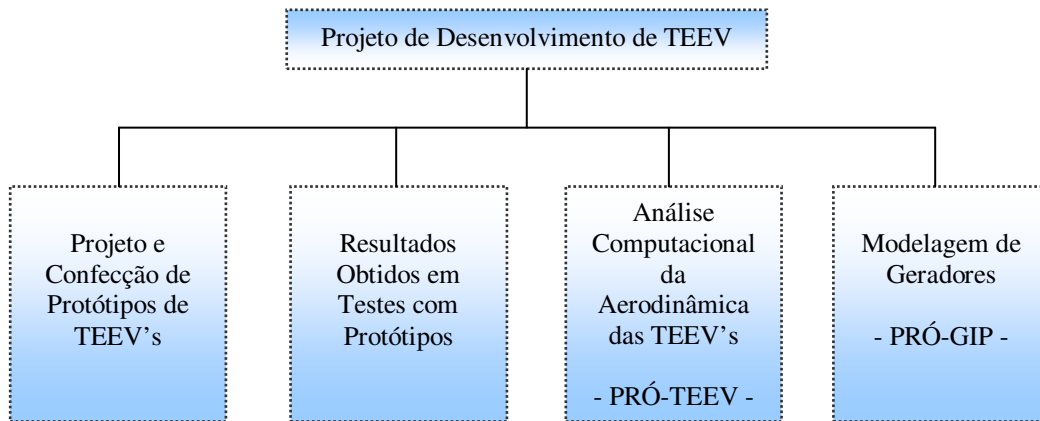


Figura 1.1 – Estrutura de tópicos do projeto abordados.

2. PROJETO E CONFEÇÃO DE PROTÓTIPOS DE TEEV's

O projeto construtivo dos protótipos de turbinas foi desenvolvido em CAD 3D. A Fig. 2.1 (a) mostra o projeto das TEEV tipo H de 02 pás retas com 1,1m de altura, 0,9m de diâmetro e perfil NACA 0012 com corda de 180mm. O modelo de TEEV de alta solidez, Fig. 2.1 (b), foi projetado com 02 pás, tendo 1,0m de altura e 1,0m de diâmetro, com perfil NACA de quatro dígitos e corda de 500mm, portando solidário ao eixo da turbina um perfil simétrico de 500mm de corda. São apresentados na Fig. 2.2 os resultados de confeção dos projetos mencionados.

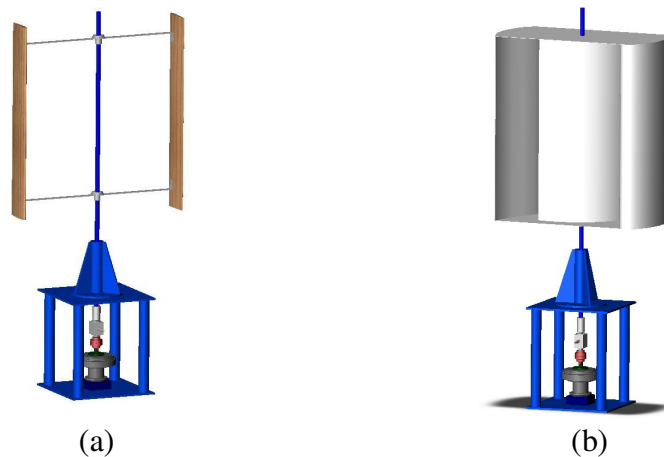


Figura 2.1 – Projetos construtivos dos modelos de rotores de pás retas.



Figura 2.2 – Protótipos de rotores de pás retas confeccionados.

Três modelos de TEEV helicoidais foram desenhados, com dimensões de 1,0m de altura e 1,0m de diâmetro e perfis NACA 0012. A Fig. 2.3 (a) e (b) representam modelos de TEEV's helicoidais de duas pás, mas de cordas diferenciadas, 180mm e 350mm respectivamente. A Fig. 2.3 (c) ilustra o projeto de um modelo helicoidal de três pás e corda 180mm.

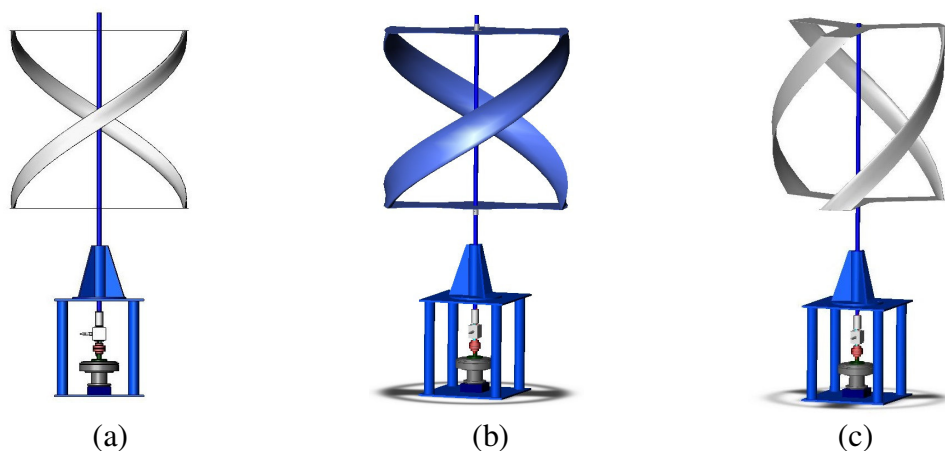


Figura 2.3 – Projetos construtivos dos modelos de rotores helicoidais.

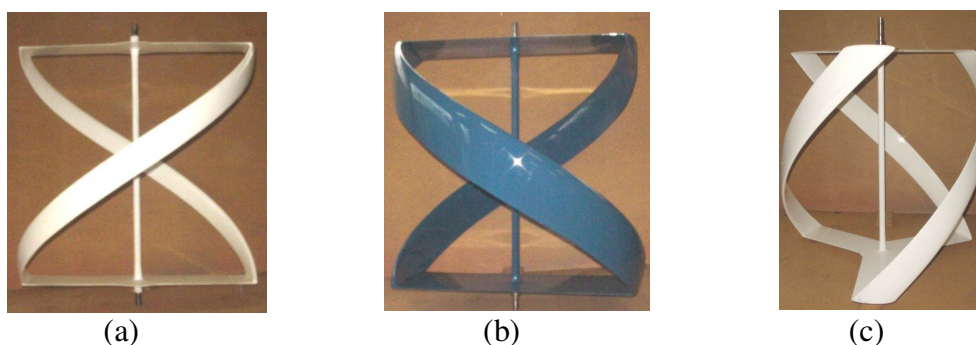


Figura 2.4 – Protótipos dos rotores helicoidais confeccionados.

Os resultados do processo de confecção dos protótipos das TEEV's helicoidais são apresentados na Fig. 2.4, assim como os demais, com exceção do modelo tipo H de baixa solidez, estes foram confeccionados em fibra de vidro, material que apresentou boa relação custo-benefício para a execução da prototipagem.

3. RESULTADOS OBTIDOS EM TESTES COM PROTÓTIPOS

Dentro das análises realizadas sobre os testes com os rotores, buscam-se resultados que possibilitem o uso destes com geradores nacionais, que são paralelamente testados em bancada no laboratório. Para tanto apresentamos os resultados de um dos protótipos testados que mais se destacou, apresentando melhores resultados. Trata-se do modelo de alta solidez apresentado na Fig. 2.2 (b). Em função deste modelo, ensaios dos perfis foram realizados em canal hidrodinâmico 2D com angulações de 0° , 45° e 90° em relação às linhas de fluxo conforme Fig. 3.1, tornando possível perceber-se visualmente a influência do perfil central que têm a função de um acelerador de fluxo. Estes resultados são apresentados de maneira introdutória aos efetivos resultados de testes do protótipo uma vez que facilitam a compreensão dos efeitos físicos envolvidos no funcionamento destes rotores.

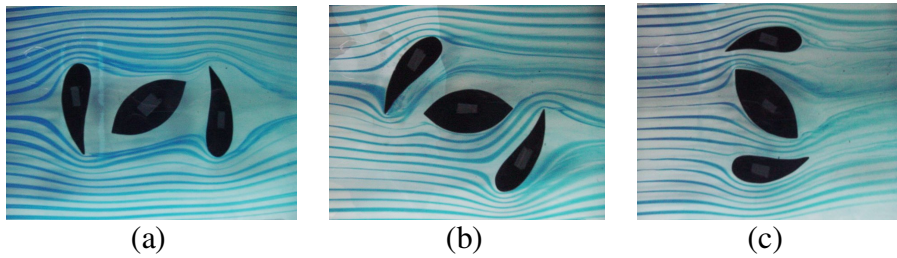


Figura 3.1 – Visualização de fluxo em canal hidrodinâmico 2D para o modelo de alta solidez com núcleo central.

Os testes em laboratório possibilitaram o levantamento de curvas de potência e torque dos rotores, expressos neste trabalho através dos coeficientes adimensionais de potência (C_p) e torque (C_t) versus velocidade de ponta de pá (λ) que também é uma referência adimensional. A Fig. 3.2 e a Fig. 3.3 expressam estes resultados para o modelo de alta solidez com núcleo central.

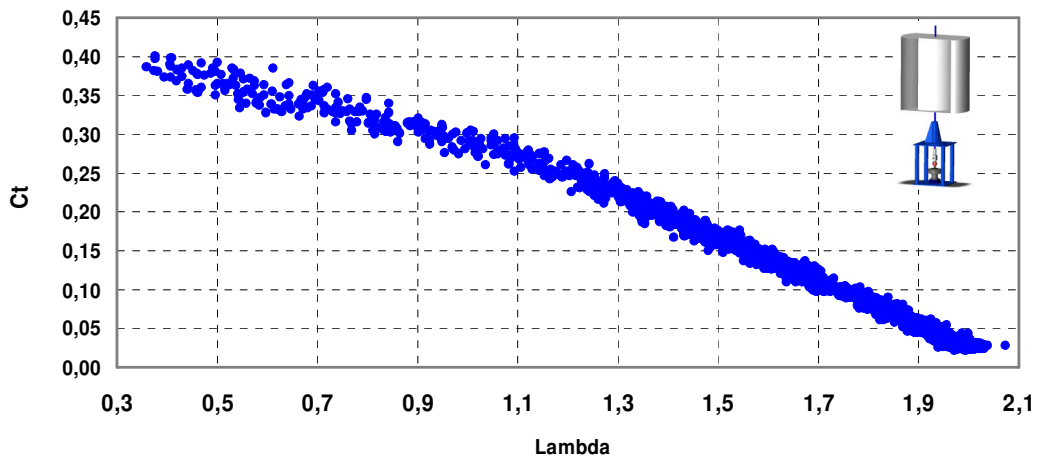


Figura 3.2 – Curva de Coeficiente de torque para o modelo de alta solidez com elemento central.

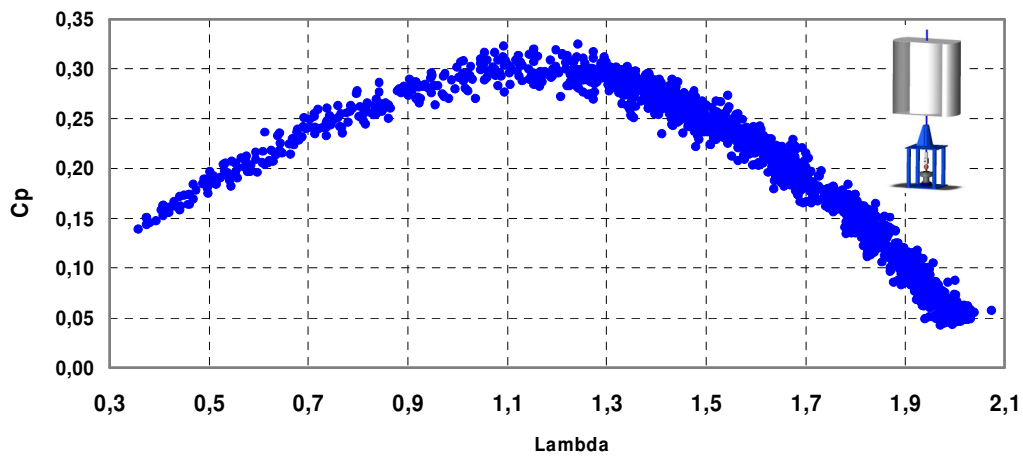


Figura 3.3 – Curva de Coeficiente de potência para o modelo de alta solidez com elemento central.

4. ANÁLISE COMPUTACIONAL DA AERODINÂMICA DAS TEEV's

O aplicativo PRO-TEEV foi desenvolvido em planilhas de cálculo 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. 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 Fig. 4.1 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.

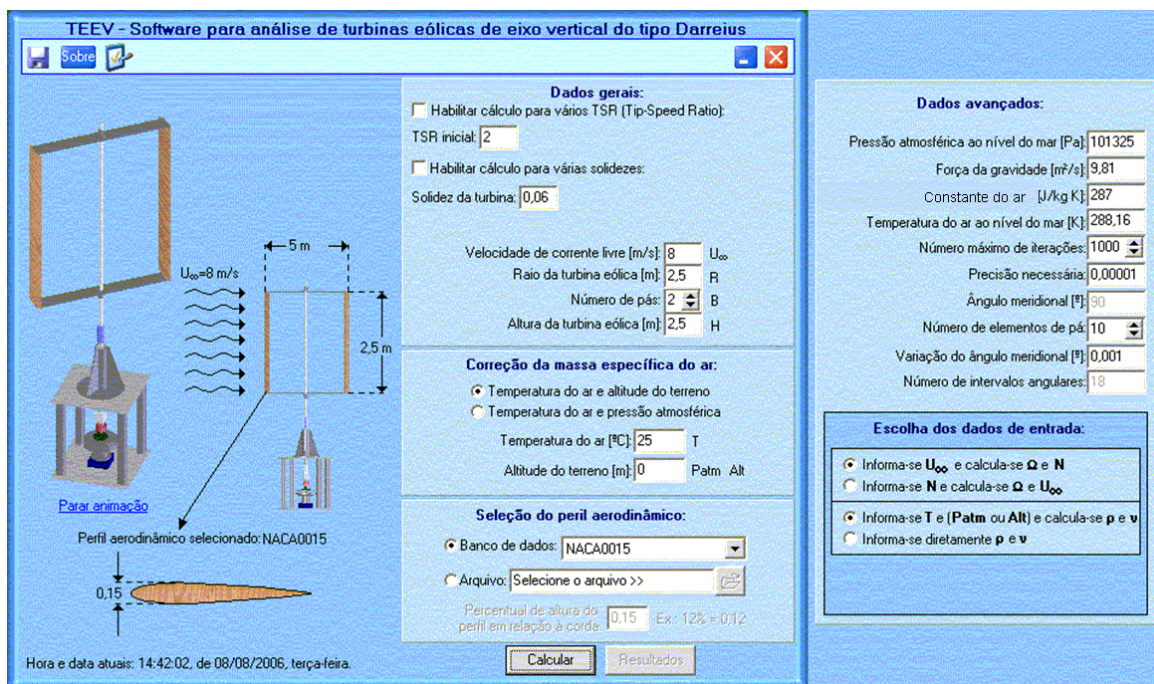


Figura 4.1 – Janela inicial do PRO-TEEV.

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 e para cada uma delas é possível gerar um gráfico correspondente.

Resultados

Seleção o método: Duplos Múltiplos Tubos de Corrente (DMTC) Seleção o soldado: 0.5 Seleção o TSR: 0.3

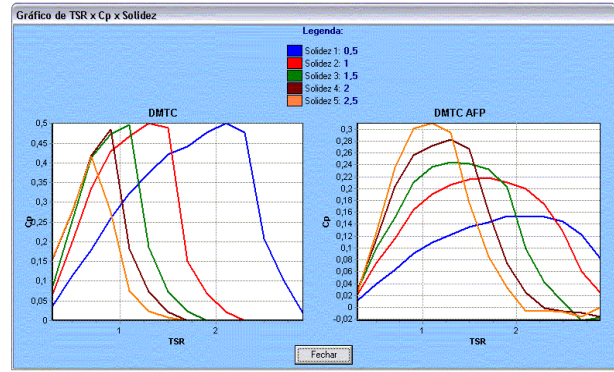
δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ	δ	α	β	γ
0.010	0.02520	7.26211	1.25113	0.02591	0.02644	1.25421	0.02706	1.01701	0.02761	0.02816	1.01756	0.02871	0.02926	1.01811	0.02981
0.020	0.02277	6.71771	1.15244	0.02330	0.02384	1.15552	0.02440	1.01034	0.02495	0.02550	1.01089	0.02605	0.02660	1.01144	0.02715
0.030	0.02034	6.17331	1.05394	0.02089	0.02143	1.05702	0.02200	1.00716	0.02255	0.02310	1.00771	0.02365	0.02420	1.00826	0.02475
0.040	0.01791	5.62891	0.95544	0.01846	0.01900	0.95852	0.01957	1.00230	0.02012	0.02067	1.00285	0.02122	0.02177	1.00340	0.02232
0.050	0.01548	5.08451	0.85694	0.01603	0.01657	0.86002	0.01758	1.00000	0.01813	0.01868	1.00055	0.01923	0.01978	1.00110	0.02033
0.060	0.01305	4.54011	0.75844	0.01360	0.01414	0.76152	0.01515	1.00000	0.01570	0.01625	1.00055	0.01680	0.01735	1.00110	0.01790
0.070	0.01062	3.99571	0.65994	0.01117	0.01171	0.66302	0.01272	1.00000	0.01327	0.01382	1.00055	0.01437	0.01492	1.00110	0.01547
0.080	0.00819	3.45131	0.56144	0.00874	0.00928	0.56452	0.01029	1.00000	0.01084	0.01139	1.00055	0.01194	0.01249	1.00110	0.01304
0.090	0.00576	2.90691	0.46294	0.00631	0.00685	0.46602	0.00786	1.00000	0.00841	0.00896	1.00055	0.00951	0.01006	1.00110	0.01061
0.100	0.00333	2.36251	0.36444	0.00388	0.00442	0.36752	0.00543	1.00000	0.00598	0.00653	1.00055	0.00708	0.00763	1.00110	0.00818

Cálculos preliminares:
 Rotação do rotor (rpm) 66.40
 corda (m) 0.53
 área (m²) 1.00
 ΔH (m) 1.10
 Área plano do elemento de pa (m²) 0.06
 Variação do ângulo central do rotor (°) 10.00
 Massa específica (kg/m³) 1.1647
 Viscosidade cinemática (m²/s) 0.000016

Coefficiente de potência (Cp):
 Cp da hélice do rotor 0.022072
 Cp do tubo do rotor 0.026756
 Cp total (hélice + tubo) 0.032821

Dados gráficos:
 Cp x α Gráfico
 Cp x β Gráfico
 Cp x γ Gráfico
 Cp x δ Gráfico

(a)

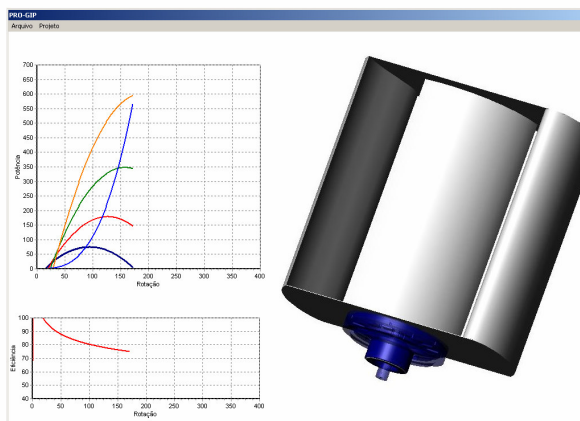


(b)

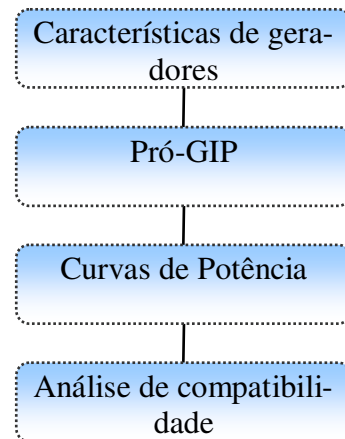
Figura 4.2 – (a) Resultados do processo iterativo de cálculos expresso em valores numéricos e (b) gráficos de Cp x TSR solicitados .

5. MODELAGEM DE GERADORES

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, Fig. 5.1 (a). Na estrutura do programa, Fig. 5.1 (b), 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.



(a)



(b)

Figura 5.1 – (a) Tela de entrada do PRO-GIP e (b) Fluxograma do aplicativo.

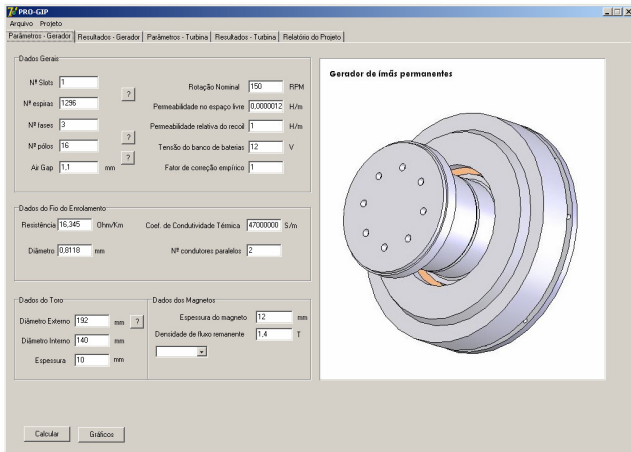
O programa conta com uma interface simples composta de dois menus principais e cinco módulos. Nos menus encontram-se opções para se carregar e salvar arquivos de projeto, exportar as tabelas dos resultados e diversas configurações de cálculo e visualização. Cada um dos diferentes módulos corresponde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

5.1 Parâmetros do Gerador

Nesta guia, Fig. 5.2 (a), 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.

5.2 Parâmetros da Turbina

Na guia Parâmetros da Turbina, Fig. 5.2 (b), a opção padrão permite ao usuário inserir manualmente os valores de Cp a partir de um valor padronizado de λ . Caso esta não seja a situação, podem-se acessar as configurações das tabelas das turbinas e alterar o valor de λ ou até mesmo carregar um arquivo com os valores obtidos em outros programas.



(a)

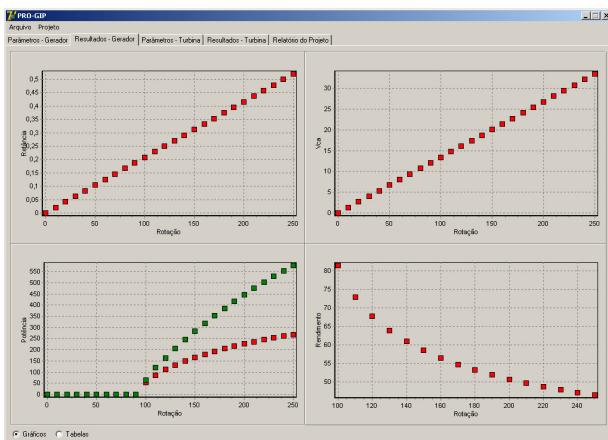
Velocidade	Cp	Potência (W)	Torque (N.m)	Velocidade (m/s)	Potência (W)	Torque (N.m)	Velocidade (m/s)	Potência (W)	Torque (N.m)
3.0	0.119	23.51	6.02	2.44	35.26	30.31	5.59	47.91	46.15
3.5	0.147	29.38	7.50	2.44	44.07	25.50	5.48	56.76	55.96
3.6	0.171	35.26	8.72	2.36	52.89	29.43	5.31	70.52	69.77
3.7	0.189	41.14	9.64	2.24	61.70	32.53	5.03	82.27	77.11
3.8	0.202	47.01	10.30	2.09	70.52	34.77	4.71	94.02	82.42
3.9	0.210	52.89	10.71	1.93	79.33	36.15	4.56	105.78	85.68
4.0	0.213	58.76	10.86	1.77	88.15	36.66	3.97	117.53	86.91
4.1	0.210	64.64	10.71	1.58	96.96	36.15	3.56	129.28	85.68
4.2	0.202	70.52	10.30	1.40	105.78	34.77	3.14	141.04	82.42
4.3	0.189	76.39	9.64	1.20	114.59	32.53	2.71	152.79	77.11
4.4	0.170	82.27	8.67	1.01	123.41	29.26	2.26	164.54	69.36
4.5	0.146	88.15	7.45	0.81	132.22	25.13	1.82	176.29	58.57
4.6	0.117	94.02	5.97	0.61	141.04	20.14	1.36	188.05	47.74
4.7	0.082	99.90	4.18	0.40	149.85	14.11	0.90	199.80	33.46
4.8	0.042	105.78	2.14	0.19	158.67	7.23	0.44	211.55	17.14
4.9	0.000	111.65	-0.15	-0.01	167.48	0.52	-0.03	223.31	-1.22
5.0	-0.053	117.53	-2.70	-0.22	176.29	-9.12	-0.49	235.06	-21.62

(b)

Figura 5.2 – (a) Guia de parâmetros do gerador e (b) guia de parâmetros da turbina.

5.3 Resultados do Gerador

A guia resultados do gerador apresenta os cálculos de duas formas: gráfica, Fig. 5.3 (a), e numérica, Fig. 5.3 (b). A forma padrão do programa é a gráfica, bastando-se escolher a opção Tabelas no canto inferior esquerdo para alterar o modo de visualização.



(a)

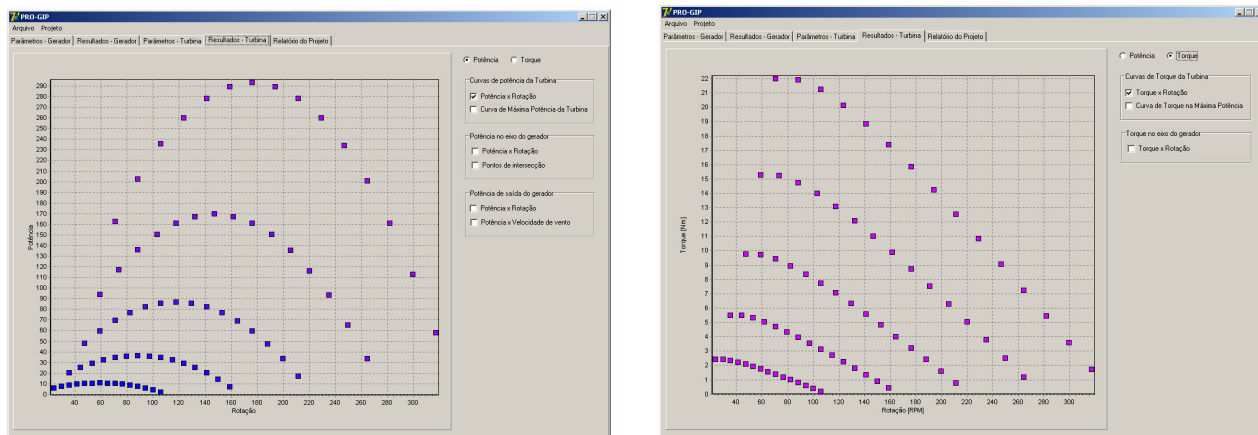
Velocidade	Rotação	Freqüência	Veloc	Veloc	EP	Vica	Reatância	Reatância/X	Reatância/Y	Indutância	Corrente	Ângulo - Graus
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10.00	1.333	8.378	1.047	0.773	1.239	0.021	0.004	0.077	0.002	0.000	0.000	0.000
20.00	2.667	16.755	2.094	1.547	2.479	0.042	0.008	0.153	0.002	0.000	0.000	0.000
30.00	4.000	25.132	3.142	2.320	3.718	0.062	0.012	0.229	0.003	0.000	0.000	0.000
40.00	5.333	32.509	4.189	3.093	4.957	0.080	0.016	0.305	0.002	0.000	0.000	0.000
50.00	6.667	40.886	5.236	3.866	6.197	0.104	0.020	0.381	0.002	0.000	0.000	0.000
60.00	8.000	49.263	6.283	4.640	7.436	0.125	0.024	0.457	0.002	0.000	0.000	0.000
70.00	9.333	57.640	7.330	5.413	8.675	0.146	0.028	0.533	0.002	0.000	0.000	0.000
80.00	10.667	66.017	8.378	6.186	9.915	0.166	0.033	0.609	0.002	0.000	0.000	0.000
90.00	12.000	74.394	9.425	6.960	11.154	0.187	0.037	0.685	0.002	0.000	0.000	0.000
100.00	13.333	82.771	10.472	7.733	12.394	0.208	0.041	0.761	0.002	0.000	0.000	0.000
110.00	14.667	91.148	11.519	8.506	13.633	0.229	0.045	0.837	0.002	0.000	0.000	0.000
120.00	16.000	99.525	12.566	9.279	14.872	0.250	0.049	0.913	0.002	0.000	0.000	0.000
130.00	17.333	107.902	13.614	10.053	16.111	0.270	0.053	0.989	0.002	0.000	0.000	0.000
140.00	18.667	116.279	14.661	10.826	17.350	0.289	0.057	1.065	0.002	0.000	0.000	0.000
150.00	20.000	124.656	15.708	11.599	18.589	0.309	0.061	1.141	0.002	0.000	0.000	0.000
160.00	21.333	133.033	16.755	12.372	19.828	0.330	0.065	1.217	0.002	0.000	0.000	0.000
170.00	22.667	141.410	17.802	13.146	21.067	0.354	0.069	1.293	0.002	0.000	0.000	0.000
180.00	24.000	150.787	18.850	13.919	22.306	0.374	0.073	1.369	0.002	0.000	0.000	0.000
190.00	25.333	159.164	19.897	14.692	23.545	0.395	0.077	1.445	0.002	0.000	0.000	0.000
200.00	26.667	167.541	20.944	15.466	24.784	0.416	0.081	1.521	0.002	0.000	0.000	0.000
210.00	28.000	175.918	21.991	16.239	26.023	0.437	0.086	1.597	0.002	0.000	0.000	0.000
220.00	29.333	184.295	23.038	17.012	27.262	0.457	0.090	1.673	0.002	0.000	0.000	0.000

(b)

Figura 5.3 – (a) Resultados gráficos e (b) tabelas de resultados.

5.4 Resultados das Turbinas

Nesta guia, obtêm-se os resultados gráficos das curvas de potência da turbina para a faixa de velocidade de vento definida nas configurações das tabelas da turbina. Esta guia é composta por duas saídas: potência versus rotação (opção padrão), Fig. 5.4 (a), e torque versus rotação, Fig. 5.4 (b).



(a)

(b)

Figura 5.4 – (a) Resultados gráficos e (b) tabelas de resultados.

5.5 Relatório do Projeto

A tela Relatório permite ao usuário um acesso simples a informações no formato de texto, onde aparecem todas as características utilizadas nos campos correntes do programa. É dada ainda a opção de o usuário salvá-lo para futuras verificações, ou ainda imprimi-lo diretamente através do programa.

6. CONCLUSÕES

As etapas apresentadas são relevantes pontos que constituem o projeto de desenvolvimento de TEEV, sendo que conclusões individuais para cada item mencionado podem descrever melhor sua importância. O projeto e confecção de protótipos possibilitou a realização de experimentos fundamentais para o projeto, sendo os resultados obtidos positivos uma vez que todos os modelos desenhados foram confeccionados para testes. Como mencionamos as características das turbinas devem ser coerentes com as características dos geradores disponíveis, para tanto apresentamos os resultados do protótipo onde houve um melhor casamento entre as curvas de potência do rotor e do gerador. O aplicativo computacional PRO-TEEV é uma ferramenta de apoio que permite a realização de análises para alterações no modelo de TEEV tipo H, demonstramos uma tendência para o modelo de alta solidez com o uso do perfil NACA 8628 que pode ser base para a confecção de novos rotores. O PRO-GIP fundamentalmente valida a compatibilidade entre rotores e geradores sendo que estes últimos podem ser dimensionados de acordo com as necessidades envolvidas.

Agradecimentos

Agradecemos a todos que de certa forma participam ou participaram das equipes do NUTEMA (Núcleo Tecnológico de Energia e Meio Ambiente – PUCRS) e do LSFM (Laboratório de Sistemas Fluidomecânicos – FENG/ PUCRS) pelo apoio durante o projeto e à FINEP (financiadora deste projeto através do Convênio N° 01.04.0217.00 Ref. 2694/03).

REFERÊNCIAS

- Alé, J. A.V., 2004. “Desenvolvimento de Turbina Eólica de Eixo Vertical”, Projeto Finep FNDCT/CT-ENERG.
- Alé, J. A. V.; Adegas, F. D. and Simioni, G. C., 2005; “Methodologies for Power Curve Test of Small Wind Turbines”. In: WINDPOWER 2005 Conference and Exhibition, Denver, USA. 2005.
- Garcia, S. B.; Simioni, G. C. and Alé, J. A.V., 2006 “Aspectos de Desenvolvimento de Turbina Eólica de Eixo Vertical”. CONEM, Recife.
- Gieras, J. F. and Wing, M., 2002. “Permanent Magnet Motor Technology”, Design and Applications, Second Edition, Revised and Expanded.
- Khan, M.A and Malengret, M., 2003 ; “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, Junho 23-26, Bologna Itália.
- Muljadi, E.; Drouilhet, S. and Holz, R.; “Analysis of Wind Power for Battery Charging”, National Renewable Laboratory, State Engineering University of Armenia.
- Paraschivoiu, I., 2002, "Wind Turbine Design With Emphasis on Darrieus Concept," Ecole polytechnique de Montreal.
- Petry, M. R.; Konzen, G. and Alé, J. A.V., 2006. “Ensaio Laboratorial para Testes em Bancada de Geradores Eólicos de Pequeno Porte”. CONEM, Recife.
- Pierik, J.T.G., 2001. “Performance Evaluation Method for Autonomous, Applications Orientated Wind Turbine Systems: Systems with batteries”.
- 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.
- 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.
- Homicz, G.F.; 1991. "Numerical Simulation of VAWT Stochastic Aerodynamic Loads Produced by Atmospheric Turbulence: VAWT-SAL Code" SAND91-1124.
- Strickland, J.H.; 1975. "The Darrieus Turbine: A Performance Prediction Model Using Multiple Stream tubes", SAND75-0431.

GLOSSÁRIO

Canal Hidrodinâmico

Equipamento que possui um reservatório onde há um determinado fluxo de água carregando finas linhas de corante as quais permitem a visualização das linhas de fluxo ao redor dos perfis

Corda

Distância percorrida por uma linha reta imaginária que une os bordos de ataque e fuga de um perfil aerodinâmico

Gerador Elétrico

Equipamento capaz de converter o movimento de rotação da turbina em energia elétrica através da indução de um campo magnético

Sistema Autônomo	Sistema de geração de energia que atua de forma independente de outras fontes
Solidez	Relação entre a área das pás e a área varrida pelo rotor
TSR ou λ	Velocidade de ponta de pá (Tip Speed Ratio)

ASPECTS IN THE PROJECT OF VERTICAL AXIS WIND TURBINE

Abstract. *The wind exploitation as a source of electric energy has been discussed in many nations, becoming an attractive and growth market. Researches about the wind turbines development have showed the advance in certain areas, as electric systems generation and aerodynamics. This paper presents the project of the development of a small vertical axis wind turbine, based on modern aerodynamic techniques, high solidity with rated 250 W output power at 250 min⁻¹ rotation speed. These project activities are related to the design and the construction of a prototype machine, lab and field tests, analytical model design, computational tools development and system analysis. This study will focus on computational and experimental results of the generators and the blades.*

Key words: Wind Energy, Wind Generators, Vertical Axis Wind Turbine.