

## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Análise Mecânica de um gerador eólico de pequeno porte

Bolsista: Luiz Felipe Cestari Eng. Mecânico. UNIP

Orientador (a): Márcio Vinicius Perassoli, Cap. Engenheiro  
ASD/IAE/DCTA

Período a que se refere o relatório: Janeiro de 2017 a Agosto de 2017

### Resumo

O presente artigo consiste em uma análise de um gerador eólico de pequenas dimensões para possível fonte de energia complementar em VANTs (Veículos Aéreos não Tripulados), com o objetivo de aumentar autonomia energética.

### Introdução

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação. **ANEEL** (Agência Nacional de Energia Elétrica), (2016).

O cenário atual das necessidades energéticas está cada vez mais preocupante, tendo em vista que grande parte das usinas elétricas mundiais utiliza de combustíveis fósseis, o que gera uma crise de poluição mundial acarretando principalmente em péssima qualidade de vida e elevadas taxas de doenças cardiorrespiratórias em certas regiões do planeta.

Uma maneira de amenizar estes problemas é utilizar das fontes renováveis de energia como correntes d'água (marítimas e pluviais), energias solar, eólica, geotérmica, entre outras. Visando um futuro de qualidade, desenvolveram-se projetos como geradores eólicos, placas fotovoltaicas, usinas hidroelétricas, geotérmicas e regeneradores de energia cinética, porém com a população em constante crescimento há problemas na rede de transmissão e distribuição de toda essa energia para a população que necessita cada vez mais dessas fontes, com isto em mente a solução seria implantar micro usinas de energia nas casas ou bairros, podendo estas ser eólicas, solares ou hidráulicas, pois são as fontes mais acessíveis no Brasil

que possui altos índices de incidência solar, ventos regulares em determinadas áreas do país e a maior planta hidrográfica mundial. Sendo assim não haveria grandes empecilhos para implantação.

Portanto, procuramos analisar um gerador eólico FZU-48/B com intuito de implantação civil podendo ser parte de fonte de energia secundária para VANTs, planadores, automóveis, entre outros, com suas devidas modificações de projeto.

## 1. Materiais e métodos

Neste trabalho são utilizadas literaturas técnicas no estudo de geradores eólicos, referências técnicas na área de aerodinâmica e química. Foi também utilizado o *software* MATLAB<sup>®</sup> na implementação numérica do modelo matemático e na visualização dos respectivos resultados. Enquanto que , para o desenvolvimento de um modelo digital tridimensional, foi empregado o *software* Solid Edge<sup>®</sup> com o objetivo de confeccionar protótipos em uma impressora 3D *Stratasys Fortus 900mc*.

## 2. Desenvolvimento

O desenvolvimento deste trabalho foi organizado nos seguintes tópicos:

- i. Levantamento bibliográfico;
- ii. Estudo da modelagem e impressão tridimensional;
- iii. Estudo da linguagem MATLAB<sup>®</sup>;
- iv. Análise de materiais;

O item (ii) utilizou como referência principal os conhecimentos técnicos e práticos dos técnicos do laboratório de hipersônica do IEAv (Instituto de Estudos Avançados), onde se encontra a impressora 3D, tornando possível entender os conceitos da modelagem digital e tridimensional para o uso do *software* Solid Edge<sup>®</sup> e também os conceitos da impressão 3D. O estudo da linguagem de programação MATLAB<sup>®</sup>, item (iii), foi direcionado a partir da resolução de problemas clássicos da literatura necessária para o entendimento dos princípios matemáticos básicos da área de análise mecânica de um gerador eólico de pequeno porte. Dentre os conceitos aprendidos, destacam-se: estatística de valores de tensão, frequência elétrica e Séries de Fourier. A fase atual de estudo é a estatística experimental.

O item (iv) contou com auxílio dos laboratórios de química da ASD (AQI) e de garantia do produto (AGP).

## 2.1 Estudo da modelagem e impressão tridimensional

Partindo do conceito da geração de energia eólica realizou-se uma pesquisa preliminar para a confecção deste projeto e definiu-se que a metodologia a ser desenvolvida seria através de um *software* de desenho tridimensional de um modelo a ser estudado. Criando-se modelos aerodinâmicos realizaram-se estudos experimentais com finalidade de se obter suas características de condutividade elétrica e eletromagnética, através de revestimento eletrocondutivo. Empregando o *software* Solid Edge<sup>®</sup> foi possível a criação do modelo aerodinâmico tridimensional digital que possibilitou a impressão 3D de protótipos, podendo ser descrito alguns destes modelos e suas técnicas a seguir:

- O protótipo impresso da carcaça em material plástico contou com revestimento especial e tem como objetivo a análise experimental de geração de energia elétrica. Partindo do projeto original da carcaça de Aço Inox (Figura 1) cujo objetivo é intensificar o campo magnético do ímã e assim melhorar o rendimento do gerador, obteve-se o projeto em material plástico que naturalmente não é condutor elétrico e não magnético. Portanto, utilizou-se de revestimento eletro condutivo, que é normalmente utilizada como escudo eletromagnético. O motivo do uso deste revestimento, que tem como base o Níquel, é a sua propriedade de ser um bom condutor elétrico.

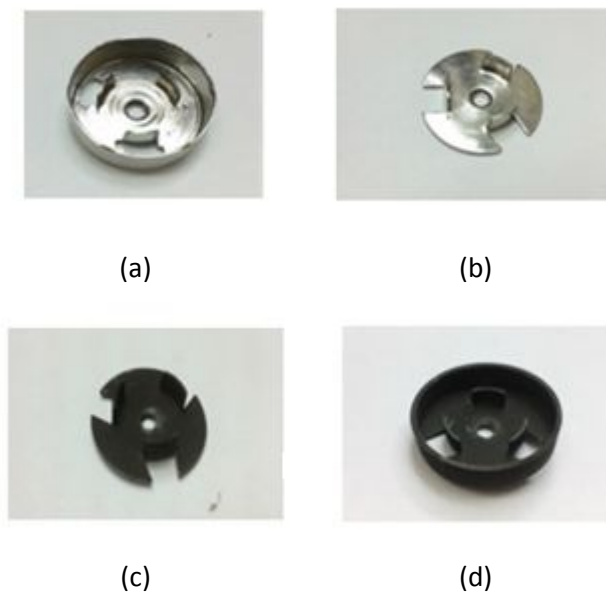


Figura 1. (a) Carcaça original em aço inox, (b) Tampa da carcaça em aço inox, (c) Tampa da carcaça em policarbonato com revestimento a base de Níquel, (d) Carcaça em policarbonato com revestimento a base de Níquel.

O protótipo impresso da turbina desenvolvida em policarbonato (pc 10) teve como objetivo a análise experimental de desempenho, partindo-se do projeto original da turbina em Nylon (Figura 2a), cujo objetivo é transformar o fluxo de ar em movimento cinético. Obteve-se então o projeto em material policarbonato (pc 10) com alterações aerodinâmicas(Figura2b).



Figura 2 (a) Turbina original em Nylon; (b) Turbina impressa em policarbonato e com alterações de projeto.

Depois de gerado os protótipos tridimensionais detectou-se a necessidade de se projetar e fabricar um mancal em bronze grafitado (Figura 3a) de modo a substituir o sistema de rolamentos originais. Após a realização deste processo, concluiu-se a montagem do conjunto no qual se montou um gerador (Figura 3b), cujos testes experimentais foram realizados para métodos comparativos.

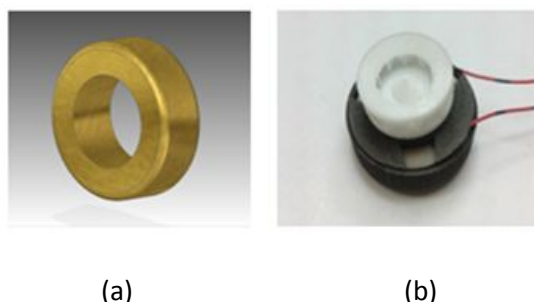


Figura 3 (a) Imagem digital do projeto do mancal em bronze grafitado; (b) conjunto do gerador com carcaça e turbina impressas em policarbonato.

Com a conclusão da produção da carcaça deu-se início às análises experimentais de geração de eletricidade. O gerador foi iniciado por um compressor de ar a fim de simular o fluxo de ar para seu funcionamento. Desta forma, tornou-se possível realizar a aferição de tensão e frequência por meio de um osciloscópio.

## 2.2 Métodos para análise gráfica

A geração de gráficos possibilitou a visualização dos resultados de desempenho do gerador, tanto na parte elétrica quanto na sua durabilidade. As análises foram executadas da seguinte forma: primeiramente o gerador original, ilustrado na Figura 4, com os rolamentos originais foi conectado a um osciloscópio e em seguida submetido a um fluxo de ar oriundo de um compressor a uma pressão de 120 Psi e assim aferiu-se a tensão e a frequência elétrica.

Estes dados foram armazenados para análise gráfica. Em seguida conectou-se o gerador original ao mesmo osciloscópio, porém com os mancais em bronze grafitado, como ilustrado na Figura 3(e) e em seguida realizou-se o mesmo procedimento supracitado. Então, comparando-se os gráficos, pôde-se verificar que a troca dos rolamentos por mancais foi bem sucedida, pois enquanto o gerador com os rolamentos originais sequer suportou até o fim dos

testes, este, com os mancais, suportou até o fim dos ensaios e ainda gerou energia, conforme é observado nos gráficos de tensão e frequência da Figura 5.

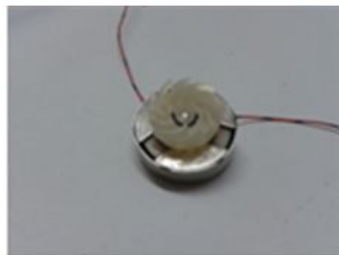


Figura 4 Gerador Original e Turbina Original

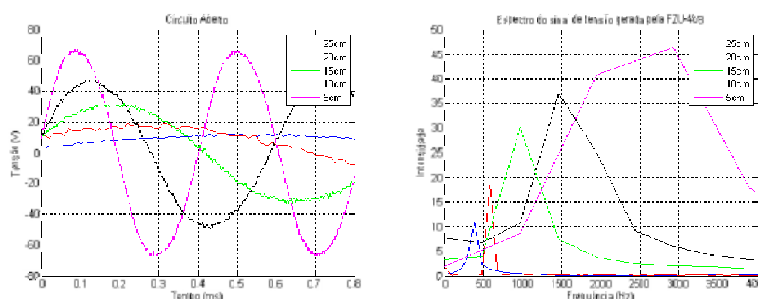


Figura 5 Gráficos de geração de tensão e frequência do gerador

### 2.3 Análise de Materiais

A execução da análise de materiais é proveniente da necessidade de conhecer exatamente qual foi a escolha dos materiais e o porquê dessa escolha pelo fabricante. Assim, após realizar as análises e verificar os materiais, pôde-se averiguar os devidos materiais em questão de custos; densidade; utilidade secundária (ex: aço além de suporte como carcaça tem função de intensificar campo magnético); resistência etc. e com isto determinar para futuros protótipos se os mesmos são necessários ou podem ser substituídos.

As análises foram realizadas em materiais metálicos por meio de refração de raios-X que pode determinar quais ligas estão presentes naquele material, em quais quantidades e suas porcentagens. Com relação aos materiais plásticos as análises foram feitas por método de Transformada de Fourier de raio infravermelho que permite determinar com exatidão qual é o material orgânico, no caso, quais plásticos, foi produzida a amostra.

Tabela 1 Elementos da carcaça em aço inox


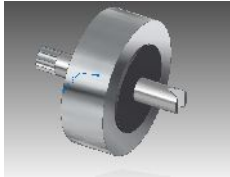
Elemento	%	
<b>Fe</b>	54,08	
<b>Ni</b>	43,20	
<b>Cr</b>	2,31	
<b>Mn</b>	0,20	
<b>Si</b>	0,20	

Tabela 2 Elementos do ímã (AlNiCo II)

Elemento	%	+/-	Al Ni Co II	
<b>Fe</b>	57,00	0,37	[52,00-76,00]	
<b>Ni</b>	13,57	0,24	[16,00-18,00]	
<b>Co</b>	13,44	0,19	[12,00-14,00]	
<b>Al</b>	8,45	0,61	[8,00-10,00]	
<b>Cu</b>	5,67	0,15	[5,00-7,00]	
<b>Si</b>	0,54	0,08	Não Especificado	
<b>Cr</b>	0,51	0,04	Não Especificado	
<b>Nb</b>	0,44	0,02	Não Especificado	
<b>Ti</b>	0,40	0,10	Não Especificado	

De acordo com a Tabela 1 e Tabela 2 conclui-se que os materiais escolhidos para a produção da carcaça é o Aço-Inox e do ímã AlNiCo II, escolhido por ser resistente a desmagnetização e mais acessível.

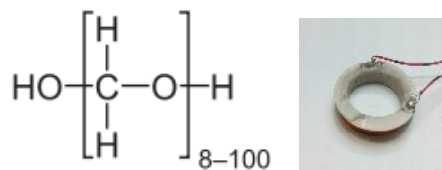


Figura 6 Estrutura química Polioximetileno (POM)

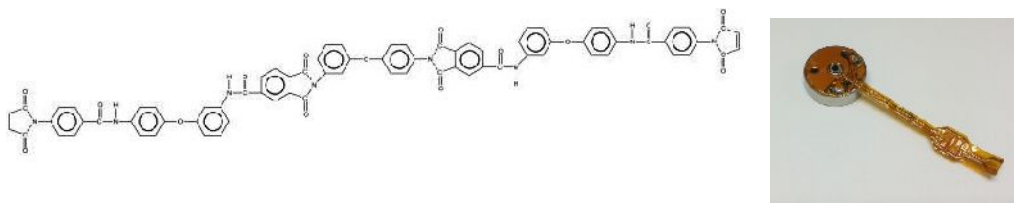


Figura 7 Estrutura química de Poliamida-imida (PAI)<sup>10</sup>

A Figura 6 e a Figura 7 ilustram as estruturas químicas que foram descobertas a partir do processo de transformada de Fourier em infravermelho: O POM e a PAI. O POM é um plástico de moderada resistência e dureza e por estas características foi utilizado na bobina (Figura 6). A PAI<sup>10</sup> é uma resina de alta maleabilidade adesão e por isto foi empregada na base do gerador que é submetida á altas vibrações (Figura 7).

### 3. Resultados

- Notou-se que seria necessária a mudança dos rolamentos de esfera por algo mais durável, mas sem comprometer o desempenho, assim após uma breve pesquisa tomou-se conhecimento de mancais em bronze grafitado que são auto lubrificantes e atenderiam o projeto. Após as devidas alterações foram realizados testes de durabilidade e de geração de energia simultaneamente e verificou-se que a vida útil foi aumentada em mais de 30 minutos, o que ainda não é o desejável para um artefato que voará por longos períodos de tempo. Entretanto, foi um resultado satisfatório levando-se em conta sua simplicidade.

Para descobrir se há a possibilidade de aumentar a eficiência energética é preciso produzir o protótipo final, totalmente funcional e com os resultados de desempenho necessários, e por conseguinte, instalar em um veículo móvel ou modelo em escala e realizar testes em túnel de vento.

- De acordo com as análises de materiais realizadas em partes do gerador original conclui-se que a carcaça feita em aço inox tem como seu principal objetivo intensificar o campo magnético do ímã de modo a melhorar o rendimento na geração de energia. A turbina feita por meio de injeção de plástico a quente foi feita em Nylon para aproveitar da estabilidade dimensional em altas e baixas temperaturas,



flexibilidade e resistência mecânica. As partes que necessitavam de maior resistência mecânica e maior dureza de material foram feitas em Nylon e POM. Concomitantemente, o material escolhido para a base do gerador foi a cola de PAI<sup>10</sup> pois possui propriedades como maleabilidade e alto poder de adesão.

- Foram produzidos protótipos em pc10 por razões de estabilidade dimensional e qualidade de impressão. Tais protótipos foram revestidos com solução a base de Níquel e submetidos a testes de fluxo de ar e geração de energia, porém não obtiveram êxito quanto a geração de energia. Portanto, estes materiais não são adequados para o projeto (Figura 8).



Figura 8 Conjunto da carcaça e turbina em policarbonato

#### 4. Próximas Etapas

Para dar continuidade ao presente trabalho seguem as próximas etapas idealizadas pelo autor:

- Ensaios experimentais em túnel de vento;
- Produção de protótipos;
- Simulação em CFD (Fluidodinâmica computacional);
- Reproduzir o projeto com mão de obra nacional.
- Estudar o ímã e seu eixo para adequá-lo aos mancais e adequar a bobina para o projeto.
- Pesquisar pás mais eficientes aproveitando o arrasto em VANTs e planadores.

#### 5. Conclusões

Este trabalho se insere nos estudos preliminares da Divisão de Sistemas de Defesa (ASD) o qual visa desenvolver ferramentas que auxiliem na complementação de geração de

energia em sistemas que dependem de baterias como fonte. Nesta primeira fase de desenvolvimento foram estudados os conceitos básicos da geração de energia elétrica a partir de gerador simples de bobina helicoidal e ímã, foi também abordado o desenvolvimento de um modelo digital tridimensional em *software* 3D e a impressão de protótipos destes modelos, foram utilizados problemas clássicos da literatura para solução de problemas no *software* MATLAB® para a visualização gráfica de resultados e por fim abrangendo as análises de materiais por infravermelho e por refração de raios-X para a descoberta de materiais dos componentes.

Além de todo este aprendizado, o presente autor teve a oportunidade e experiência de trabalhar junto ao grupo de trabalho dos laboratórios da ASD.

## Referências

- [1] Energia Eólica. Disponível em: [https://www2.aneel.gov.br/aplicações.atlas/pdf/06-energia\\_eolica\(3\).pdf](https://www2.aneel.gov.br/aplicações.atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acesso em: 29 jun. 2017.
- [2] MINATTI, J.M.C., **Projeto de uma Espoleta Eletrônica Para Bombas de Fins Gerais e de Penetração**. ITA, 2016.
- [3] MATTOS, E.C., **Análise FT-IR para Identificação de Materiais Orgânicos que Compõem o Gerador FZU-48/B da Espoleta Eletrônica FMU-139. Relatório nº IR/E 07/17**. DCTA/IAE/AQI/LAAI-IR, 2017.
- [4] PIRES, J.C.P., **Estudo de Rotor para Turbina Eólica de Eixo Horizontal de Pequeno Porte com Aplicação de Modelagem e Simulação Virtual**. Porto Alegre, 2010.