

## TRABALHO VOLUNTÁRIO SOCIAL DOS ALUNOS DE ENGENHARIA NA GERAÇÃO ARTESANAL DE ENERGIA COM TURBINAS DE CERÂMICA

**Mario.Kawano** [kawano@pucsp.br](mailto:kawano@pucsp.br), [mkawano@fei.edu.br](mailto:mkawano@fei.edu.br),  
Centro Universitário da FEI, Departamento de Engenharia Elétrica.  
Av Humberto de Alencar Castelo Branco 3 972,  
09850 901 -S.B.C- São Paulo  
Pontifícia Universidade Católica PUCSP, Departamento de Engenharia  
Rua Marquês de Paranaguá, 111,  
CEP 01303-050– Consolação – São Paulo-SP.  
**Roberto Koji Onmori**, [roberto.onmori@poli.usp](mailto:roberto.onmori@poli.usp)  
Escola Politécnica da USP  
Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3 nº 380  
Cep 05508 900-Cidade Universitária São Paulo-SP.  
**Lourenço Matakas JR**, [matakas@pucsp.br](mailto:matakas@pucsp.br)  
Pontifícia Universidade Católica PUCSP, Departamento de Engenharia  
Rua Marquês de Paranaguá, 111  
CEP 01303-050– Consolação – São Paulo-SP.

**Resumo:** Neste trabalho mostra-se um projeto bastante prático de geração de energia, que além de servir de exercício de campo para alunos de engenharia também é social, ajudando pessoas de pequenas propriedades rurais. Essas pessoas passam a ter mais conforto e assim se afastam da exclusão social através do uso da energia elétrica gerada no local. Normalmente o beneficiário é localizado usando as imagens de satélite. Como novidade tem-se a turbina Pelton confeccionada em cerâmica. A moldagem se dá de forma artesanal. A água pode ser aproveitada da própria mangueira de abastecimento d'água da casa. O gerador é uma sucata de motor d.C. de servomecanismo, que chega a gerar até 50 W. A fim de evitar a dificuldade na aquisição de luminárias e eletrodomésticos, usam-se "Nobreaks" também adquiridos como sucatas, assim fica-se com tensões alternadas padronizadas de 110 ou 220 V. A energia é armazenada em pequenas baterias automotivas. Com 27 W de energia gerada pode-se ter uma geladeira de 250 litros (19kWh/mês) e ainda sobra energia para duas lâmpadas PL ou pode-se usar uma TV de baixo consumo com parabólica por algumas horas diárias. Para motores elétricos, como é o caso de geladeira, usam-se "Nobreaks" especiais para portão de garagem. O beneficiário recebe um curso de manutenção do sistema e proteção de mananciais para o aumento de sua água. Apesar de ser um trabalho social voluntário executado e custeado pelos alunos de engenharia da PUCSP, somos obrigados a limitar o número de alunos participantes.

**Palavras-chave:** Turbinas cerâmicas, Hidrogerador, Energia alternativa.

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica trouxe um poderoso instrumento de desenvolvimento social que é inquestionável. Energia elétrica para comunidades antes isoladas significa sua inserção na sociedade. Com isso, conseguimos oferecer um novo patamar de cidadania e de qualidade de vida a quem, até tempos atrás, estava habituado a sobreviver à luz de velas. Ter energia elétrica significa conforto, cultura, progresso e lazer. Infelizmente aproximadamente oito milhões de brasileiros vivem sem energia elétrica. Parte dessa população pode facilmente desfrutar desse benefício, pois quando o homem se fixa na terra, tem a água como principal preocupação. Essa água pode não só manter o homem na terra, como também produzir energia elétrica, pois muitas dessas pessoas ficam tão isoladas que dificilmente poderão ter uma rede de energia elétrica, abastecendo sua propriedade.

Os moradores necessitam de um reservatório com desnível de pelo menos 15 metros de altura, mas também podem receber a água de uma montanha próxima. No segundo caso, quanto mais distante da unidade geradora, maior deve ser a altura da nascente para compensar a perda de carga da mangueira. Foram executadas instalações em quedas de água de 15 a 30m de desnível onde a água é canalizada com mangueiras de polietileno. A energia útil mecânica-elétrica convertida possuiu um rendimento cerca de 60% e pode ser acumulada em baterias.

A modernização dos aparelhos eletro-eletrônicos está diminuindo cada vez mais o consumo da energia elétrica. Como exemplo, a iluminação ambiental sofreu uma verdadeira revolução com as lâmpadas do tipo *PL*. Para iluminar uma cozinha era necessária uma lâmpada incandescente de 100 watts, hoje, o mesmo efeito é obtido com uma lâmpada *PL* de 20 watts de consumo. A energia armazenada durante o dia pode ser usada não só para iluminação, mas também para outras finalidades como televisão, carregador de celular e até mesmo para uma geladeira de baixo consumo.

O uso da cerâmica permitiu facilitar muito o processo de construção artesanal de uma turbina Pelton. O rendimento para o sistema é bastante alto e o custo muito baixo.

Toda a energia acumulada em bateria é convertida para uma tensão equivalente a rede elétrica, de 120 volts e 60 Hz, por um “nobreak”, facilitando assim o uso de eletrodomésticos e luminárias existentes no mercado. Para refrigeradores usa-se um “nobreak” dedicado a motores elétricos, muito usados para acionar portão de garagem.

A procura do beneficiário pode ser feita por indicação ou usa-se o programa “Google Earth”. Neste último caso, são observados sinais de civilização em regiões montanhosas. Estas regiões têm que estar nas proximidades de alguma estrada, onde normalmente não há distribuição de energia elétrica.

Os alunos do curso de engenharia elétrica da PUC necessitam de um trabalho de campo para adquirirem confiança e aplicarem o conhecimento adquirido. Quando esse tipo de trabalho é proposto, nota-se um grande entusiasmo por parte dos mesmos. Eles aprendem o funcionamento e cálculos relacionados a usinas com esse tipo de turbina. Como as conchas Pelton são moldadas, cada grupo de alunos constrói seu próprio molde e turbina. É feito um concurso onde se escolhe a turbina de maior rendimento e de melhor acabamento. Neste concurso usa-se todo aparato a serem usados nas instalações reais e, é tão realista que os grupos de alunos vão ao campo sem auxílio de nenhum participante das instalações anteriores. Feita a instalação da pico usina, o molde é doado ao beneficiário. Outro fator que é preponderante nesta atividade é o fator social, normalmente esses alunos continuam visitando seus beneficiários levando novidades e fazendo manutenção do sistema (CASSIANO, 2006), (PACHECO, 2006)[<sup>1 2</sup>].

Para a família que usufrui dessa energia gerada, é fornecido um curso visando à utilização e manutenção do sistema a conscientização e racionalização no uso dessa energia para não haver desperdício.

Orienta-se a família ou a população local para conservar a mata ciliar cercanda-a, até aumentando a vegetação nativa não só pensando em manter a água necessária para abastecer a turbina, mas aumentando a quantidade. Princípios básicos de limpeza da canalização, manutenção periódica do gerador como engraxar os eixos, verificação do nível de água da bateria, da rede elétrica, medida de consumo, racionalizar a energia sem desperdícios e, principalmente, propagar o conhecimento para os vizinhos que possuem condições para a instalação do sistema. Os beneficiários são também orientados a não descartar as baterias no ambiente, pois na cidade só se consegue uma bateria nova devolvendo a danificada.

### **1.1 Construção da Turbina pelton**

A turbina Pelton foi escolhida devido ao seu melhor rendimento em quedas de água de pequena vazão (em torno de 0,5 a 1 litro/segundo). A turbina é quem extrai a energia da água, transferindo o movimento cinético para um movimento rotacional fazendo o gerador girar. A construção de turbinas Pelton usando cerâmica não exige nenhum maquinário especial ou dispendioso. A matéria prima é o barro e pode ser moldado de maneira simples e artesanal conforme a figura 1 e 2. O primeiro passo foi a construção do modelo que consistiu colocar a dois ovos de codorna inteiros no gesso em processo de endurecimento, como pode ser visto pela figura 1. Os desenhos das conchas de uma turbina Pelton tem uma grande semelhança com os contornos dos ovos e, os ovos de codorna são os que mais se aproximavam dessas medidas mesmo considerando a contração da cerâmica após a sua queima. Após a cura do gesso, os ovos foram retirados e o modelo foi tornado perfeitamente liso. Em seguida, foi feito um molde com massa plástica do modelo em gesso. A figura 2 mostra o molde e o modelo. Para moldar a concha de barro, o molde é encerado com cera desmoldante. Essas conchas ficam no Sol por uma semana para remover a maior quantidade de água possível e depois, é feita a queima em fornos a 1000 °C. Os fornos são dos próprios ceramistas da região ou fornos elétricos das universidades. As conchas são pintadas com tinta para cerâmica e novamente recozidas na mesma temperatura resultando numa dureza consistente com o fluxo de água. Uma vez definido o diâmetro da turbina, parafusam-se as conchas em um disco, que pode ser uma roda plástica de carrinho ou de bicicleta. O rendimento destas turbinas é superior a 70%.

### **1.2 Escolha do gerador**

O gerador de energia elétrica utilizado é um simples motor de corrente contínua (DC), encontrado em grande quantidade nas casa de sucatas eletrônicas de São Paulo. A energia fornecida pelo gerador é condicionada (regulador de voltagem) e armazenada em uma bateria de carro de 12 V. Há uma preocupação quanto a possível escassez desses motores DC. Os motores de indução (AC) por serem baratos e de fácil aquisição estão sendo estudados como geradores de indução com sistema de controle simples podendo fornecer uma tensão equivalente a da rede elétrica (220 V e 60 Hz). A figura 3 mostra o grupo de alunos de iniciação científica no laboratório de mecânica de fluidos da PUC-SP, instalando uma bancada de teste para geradores de indução.



Figura 1 Construção do modelo em gesso com ovos de codorna.



Figura 2 Modelo e molde para conchas Pelton

Quando é usado um gerador DC, um “*nobreak*” transforma a tensão DC de 12 V em AC 110 ou 220 V. O “*nobreak*” pode ser um modelo já obsoleto também encontrado em casas de sucatas, pois as empresas normalmente substituem esses equipamentos por outros mais modernos. Para a iluminação, usam-se lâmpadas do tipo compactas e eletrônicas (PL) de baixo consumo (9 a 15 W) e de grande eficiência luminosa. Em locais onde a comunidade é grande e se faz necessário o uso de refrigeradores, neste caso, usa-se um “*nobreak*” de maior potência (700 a 1000VA), que infelizmente ainda não são encontrados em casa de sucatas em abundância, necessitando a aquisição de uma nova unidade.



Figura 3. Alunos da PUC-SP orientados pelo Prof. Dr. Lourenço Matakas.

### 1.2.1. Teoria e equacionamento.

A equação do comportamento do gerador pode ser escrita pela equação de Pouillet:

$$U = E - rI, \quad (1.0)$$

onde  $U$  é a tensão de saída do gerador,  $E$  é a tensão gerada,  $r$  é a resistência interna do gerador e  $I$  a corrente fornecida. Multiplicando (1.0) por  $I$  chega-se a:

$$UI = \eta EI - rI^2 \quad (1.1)$$

onde  $UI$  é a potência de saída do gerador,  $rI^2$  é a potência perdida na resistência interna do gerador,  $E \cdot I$  é a potência recebida da turbina e  $\eta$  é o rendimento da turbina. Devido à queda de tensão no diodo e na fiação, aproximadamente 1 V, esse valor deve ser acrescido a tensão mínima da bateria (10V) e com isso chega-se a  $U = 11$  V. A equação (1,1) fica:

$$11I = 0,6 * 125 - 1,3 I^2, \quad (1.2)$$

e resolvendo (1.2) tem-se  $I = 4,5$  A. Dividindo a potência recebida por esta corrente e chega-se a tensão  $E = 16,8$  V. Usando esse valor  $E$  no gráfico da figura 4, chega-se rotação mínima desejada de  $N = 550$  RPM. Para calcular a velocidade do jato d'água em função do diâmetro  $D$  da roda Pelton e da rotação  $N$  usa-se a equação (1.3)(MACINTYRE 1983)<sup>[3]</sup>:

$$V = (D * \pi * N) / (60 * 0,455) \quad (1.3)$$

Para  $D = 0,29$  metros, a velocidade deve ser de  $V = 18,35$  m/s.

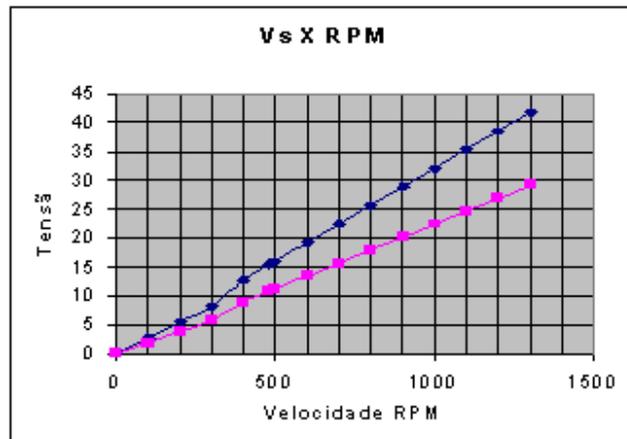


Figura 4 - Levantamento das características do gerador em vazio (curva superior) e com uma carga de 3 Ohms (curva Inferior).

Para calcular a altura da queda d'água tem-se:

$$H = V^2 / (2 * 9,8) \quad (1.4)$$

resultando em uma altura de  $H = 16,8$  m.

O diâmetro de roda de uma bicicleta infantil é de 0,25 metros, sendo que as pás aumentam mais quatro cm no diâmetro total da turbina (MACINTYRE, 1983)[<sup>3</sup>]. A altura de queda necessária para essa roda é de  $H = 16,8$ m, como pode ser visto em (1.4), mas nestas instalações é muito comum quedas com 25m ou mais em 100m de mangueiras.



Figura 5 Trilha para chegar ao Quilombo de Bombas.

### 1.3 Instalação

A viagem ao local de instalação normalmente é muito trabalhosa, principalmente para levar os apetrechos a serem utilizados, como pode ser visto pela figura 5. Os animais levam a carga de maior peso e maior volume. Os alunos, o professor e os moradores se encarregam de levar a carga frágil como as turbinas, lâmpadas e os instrumentos de medição.

Usa-se um manômetro e um bocal de teste para fazer um estudo da queda e da perda de carga do sistema, para otimizar a vazão necessária para a turbina Pelton fornecer o máximo de rendimento. Enquanto um grupo de alunos (do quarto ano da PUC/2005) acerta toda instalação hidráulica observada na figura 6, um outro grupo de alunos (primeiro ano da PUC/2005) faz a instalação elétrica. A figura 7 mostra o resultado desse trabalho e também a precariedade desses habitantes.



Figura 6 Alunos acertando o bocal para o máximo rendimento



Figura 7 Instalação elétrica feita pelos alunos do primeiro ano.

## 2. CONCLUSÃO

O trabalho tem fins sociais, custeados por doações de empresas, professores e alunos. A população é extremamente pobre e usam animais como porcos e galinhas como moeda de troca.

A água usada para esse benefício não pode ser aproveitada comercialmente para gerar energia elétrica devido à baixa vazão (menor que 10 litros por segundo). Entretanto, a energia elétrica fornecida pelo sistema proposto, mesmo sendo muito pequena, consegue beneficiar as famílias de modo a incluí-las na sociedade moderna, passando a usar equipamentos eletroeletrônicos muito úteis de baixo consumo como: lâmpadas, televisão, rádio e celular entre

outros, antes impossível de ser utilizados por causa da inexistência de energia elétrica próxima.

O chuveiro elétrico não pode ser acionado pelo sistema porque exigiria uma potência muita elevada do sistema ou do “nobreak” mas, normalmente essas pessoas têm aquecedor de água acoplada nos fogões de lenha, também se pode usar o aquecedor solar social (KAWANO, 2004)[<sup>4</sup>].

As turbinas de cerâmica devem ser melhor estudadas, porque transformam uma tecnologia sofisticada em artesanato simples.

Este trabalho deve e pode ser aproveitado por outras universidades, como no caso das Universidades Católicas cujos alunos são obrigados a terem um determinado número de hora de trabalho social.

As aulas teóricas e práticas sobre o sistema e meio ambiente devem ser lecionadas de maneira simples, palavras de fácil compreensão por que a comunidade tem grau de instrução muitas vezes básico.

Cuidados com seguranças para não tomar choques elétricos e melhor uso e racionamento da energia gerada e acumulada.

Também disponibilizamos e incentivamos a propagação da tecnologia para outras famílias.

O sistema é viável e mostrou-se de baixo custo.

### **3. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

CASSIANO, C. Para além da teoria. **Revista de Ensino Superior** - EDIÇÃO 103, São Paulo, S.P., maio, 2007.

PACHECO, T. Luz para comunidades carentes. **PUC-NOTÍCIAS**. Edição 04-09. 2006.

MACINTYRE, A.J. Turbinas Pelton. **Máquinas motrizes hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, p195-p220, 1983.

KAWANO, M. Aquecedor Solar Social; **I Simpósio Internacional de Ciências Integradas da Unaerp Campus do Guarujá**, Guarujá, S.P. 2004.

## **SOCIAL VOLUNTARY WORK OF THE PUPILS OF ENGINEERING IN THE ARTISAN GENERATION OF ENERGY WITH CERAMICS TURBINES**

***Abstract:** This work is a very practical project of generation of energy, serving as field exercise for engineering students that is also social, helping people of small rural properties. Those people start to have more comfort and they leave of being excluded with use of the generated electric energy in the place. Usually the beneficiary is located using the satellite images. As newness we have the turbine Pelton confectioned in ceramics. The molding is*

*made of artisan form. The water can be taken advantage of the own hose of water supply of the house. The generator is a motor scrap D.C. of servomechanism that arrives to generate until 50 W. In order to avoid the difficulty in the acquisition of lamps and appliances, "Nobreaks" are also used acquired as scraps, it is been like this with standardized alternate tensions of 110 or 220 V. The energy is stored in small automotive batteries. With 27 W of generated energy can be used a refrigerator of 250 liters (19kWh/month) and still surplus energy for two lamps PL or a TV of low consumption with parabolic for some daily hours. For electric motors, as it is the refrigerator case, they use "Nobreaks" special for garage gate. The beneficiary receives a course of maintenance of the system and protection of springs for the increase of the water. In spite of being a social work executed by volunteer and financed by the students of engineering of PUC-SP, we are forced to limit the number of participant students.*

**Key-words:** *Ceramic Turbines, Hydro generator, alternative Energy.*