

## **UTILIZAÇÃO DE MATERIAL ALTERNATIVO PARA FABRICAÇÃO DE RODA D'ÁGUA PARA AMBIENTES QUIMICAMENTE AGRESSIVOS**

**Teófilo Miguel de Souza,**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá

Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP

E-mail: teofilo@feg.unesp.br

**Vinícius Lourenço dos Reis Silva**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá,

E-mail: mec03264@feg.unesp.br

**Carlos Alberto Junqueira Branco Junior**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá,

E-mail: civ03168@feg.unesp.br

**Murillo dos Santos Menezes**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá,

E-mail: mec03181@feg.unesp.br

**Ederaldo Godoy Júnior**

Depto. de Energia da UNESP–Guaratinguetá

Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP

Depto. de Eng. Mecânica da Universidade de Taubaté, R. Daniel Danelli, s/n, Taubaté, SP

E-mail: godoyjr@feg.unesp.br

**José Luz Silveira**

Depto. de Energia da UNESP–Guaratinguetá

Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP

E-mail: joseluz@feg.unesp.br

**Resumo.** *Este trabalho apresenta o projeto, dimensionamento e desenvolvimento de uma roda d'água, com materiais alternativos de modo a ser utilizada em ambientes quimicamente agressivos. O material escolhido inicialmente é o PVC, utilizado em tubulações de água e esgoto, em substituição aos materiais metálicos. A aplicação inicial é para acionamento mecânico de máquinas e geração de energia elétrica para pequenas potências. É necessário levar em consideração a vazão da queda d'água em litros por segundo e a altura útil. Assim calcularam-se todas as dimensões dos componentes das rodas d'água com maiores possibilidades de serem utilizadas no ambiente mencionado. Entre as dimensões estão o diâmetro da roda no ponto de incidência da água, o volume de cada cuba de água, a quantidade de cubas, as dimensões do eixo, as dimensões dos raios da roda e o modo de fixação do eixo a roda. Os dimensionamentos foram feitos para a roda d'água com instalação específica para uso em saída de biodigestores, esgotos e outros resíduos líquidos com rendimento otimizado para as faixas*

*de altura vertical útil acima de 0,8 metros e vazão a partir de 1,0 litro por segundo. Para quedas d'água com grande volume e pouca altura vertical, também é possível a construção de uma roda mais larga ou a opção para uso de duas rodas estreitas com um sistema de transmissão para obtenção da rotação necessária ao bom funcionamento do gerador elétrico.*

**Palavras-chave:** geração de energia, roda d'água, PVC, aeróbico.

## 1. INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto tradicionais, operam geralmente por sistema aeróbio do tipo lodo ativado, um sistema bastante eficiente do ponto de vista sanitário, pois reduz em média 95% da carga orgânica do esgoto sanitário, porém pouco eficiente energeticamente, pois os sistemas de aeração consomem muita energia elétrica quando comparado com o sistema conjugado anaeróbio-aeróbio.

Visando otimizar os sistemas aeróbios-anaeróbios, desenvolveu-se uma miniETERA (miniestação de tratamento de esgoto e reuso de águas) auto-suficiente energeticamente.

O processo anaeróbio (sem a presença de oxigênio) é responsável pela redução de cerca de 80% da carga orgânica do esgoto sem a utilização de equipamentos eletromecânicos, utilizando apenas a força da gravidade. Esse sistema ainda gera biogás combustível que pode ser convertido em energia elétrica.

O processo aeróbio (na presença de ar) necessita de aeração, onde o sistema de roda d'água para complementação dessa aeração é realizada utilizando a diferença de altura entre a saída o sistema biodigestor anaeróbio e a entrada do biodigestor aeróbio, colocando entre eles uma roda d'água feita de PVC para simultaneamente oxigenar o meio e gerar energia elétrica para controle e monitoramento da miniETERA.

## 2. ASPECTOS TÉCNICOS SOBRE RODAS D'ÁGUA E O SISTEMA PROPOSTO.

As rodas d'água são classificadas de quatro maneiras, dependendo somente de como é a região de entrada da água (Macintyre, 1983):

- Rodas de cima
- Rodas de baixo
- Rodas de lado
- Rodas flutuantes

No caso específico do projeto mencionado será utilizado o tipo de roda de cima, que podem chegar a um rendimento total entre 0,70 e 0,80 dependendo do tamanho da queda. Para a construção da roda foi necessário levar em consideração a vazão da queda d'água e a altura útil da queda, neste caso uma queda de 1,30 m e uma vazão de 70 m<sup>3</sup>/dia, todo o dimensionamento levou em conta a energia convertida em rotação na roda e todo seu dimensionamento será feito a partir desses cálculos. Essas dimensões são o diâmetro da roda no ponto de incidência da água, o volume de cada cuba de água, a quantidade de cubas, as dimensões do eixo, as dimensões dos raios da roda e o modo de fixação do eixo à roda. Sendo Q a vazão em metros cúbicos por segundo, H a altura de queda da água em metros,  $\eta$  o rendimento, a potência prevista teórica em cv (cavalo vapor) pode ser obtida através da Eq. (1):

$$P = (1000 \times Q \times H \times \eta) / 75 \quad (1)$$

O material utilizado na construção da roda é um material alternativo, já que sua utilização será em ambientes quimicamente agressivos. O material utilizado será de PVC, utilizado em tubulações de água e esgoto, evitando assim os problemas como a corrosão, muito comuns nas rodas convencionais.

### **3. TIPOS DE RODAS D'ÁGUA**

As rodas d'água giram, comumente, num plano vertical e se distinguem das turbinas porque não apresentam variação na pressão entre a entrada e a saída do sistema. Há uma grande variedade de tipos. A seguir serão apresentados os tipos mais comuns (Macintyre, 1983).

#### **3.1. Roda Sobreaxial**

A água neste tipo de roda d'água, entra na parte superior da roda, acima do eixo de rotação, e é captada por pequenas bolsas, ou conchas. Quando essas bolsas ou conchas se enchem de água, o fluxo de água impulsiona a parte superior da roda, que gira. Ao atingirem a parte inferior do percurso, as bolsas se esvaziam. E reinicia-se o ciclo. As rodas sobreaxiais são usadas para moer grãos e gerar eletricidade. Apesar de terem uma eficiência alta (cerca de 80%), funcionam a baixa velocidade e geram pouca potência em relação ao volume que ocupam: potências nominais de 22 kW, girando a oito rotações por minuto.

#### **3.2. Roda Subaxial**

As rodas subaxiais recebem a energia pelo impacto da água corrente na parte inferior das rodas, em suas pás, geralmente planas, e tem uma eficiência máxima de 35% a 45%, em condições ideais. Devem ser construídas com uma armação lateral que evite a turbulência. E convém que o canal que conduz a água para a roda seja ligeiramente mais largo que esta. Uma variação da roda subaxial, usada principalmente nas regiões montanhosas da Europa, é a roda horizontal. A água vem de um canal, aberto ou fechado, e cai a mais ou menos três metros sobre a roda. A água que atinge as pás, que são inclinadas e planas, de modo que a água caia perpendicularmente sobre elas. Com o impacto da água, a roda gira. As rodas horizontais são construídas geralmente de madeira e atingem eficiência de 20%.

#### **3.3. Roda Subaxial Poncelet**

Nesse tipo de roda subaxial, a água, que incide na parte inferior da roda, montada verticalmente, provém de uma pequena barragem com uma abertura variável em sua parte inferior. A água que vai da barragem para a roda tem uma pressão igual à altura da água na represa. A água sai na forma de um jato, tanto mais forte quanto maior a pressão. A velocidade do jato varia com a raiz quadrada da altura de água na represa. Isto é, se aumentarmos de 4 vezes a altura da água na represa, a velocidade do jato será multiplicada por dois. A água incide sobre a roda e penetra em pequenas conchas, formadas pelas palhetas da roda. Sobe pela curva das palhetas, exercendo uma força na roda, que gira. É despejada num reservatório de saída, assim que a concha inicia o movimento ascendente. Quase toda a energia do jato é convertida em rotação da roda, uma vez que a água já usada atinge o reservatório de saída com velocidade muito pequena. Essas rodas têm eficiência entre 70% e 80%. São geralmente feitas de madeira, menos as palhetas que são de aço laminado. O diâmetro das rodas Poncelet varia de 5 metros, no mínimo, até um máximo de 4 vezes a diferença de altura entre o nível da barragem e do reservatório de saída. Essas rodas têm muita força, mas baixa velocidade, sendo por isso apropriadas para executar trabalhos mecânicos e não para geração de energia elétrica.

A Tab.(1) mostra um quadro das características principais dos diferentes tipos de rodas d'água.

Tabela 1 – Quadro das características dos diferentes tipos de rodas d'água

Tipo	H – nível (metros)	D – diâmetro da roda (metros)	Rotação ideal (rpm)	Eficiência (%)	Adaptabilidade às variações de		Construção	Materiais
					Vazão	Nível		
Subaxial	2 – 5	3 x H	$\frac{25x\sqrt{H}}{D}$	35 – 45	Boa	Regular	simples	metal madeira
Poncelet	1 – 3	2 x H a 4 x H	$\frac{25x\sqrt{H}}{D}$	60 – 80	Boa	Regular	relativamente simples	metal madeira
Sobreaxial	3 – 10	H a 3 x H	$\frac{25x\sqrt{H}}{D}$	60 - 80	Boa	Nenhuma	simples	metal madeira

Normalmente as rodas d'água são feitas de materiais metálicos, sofrendo muito com a incidência da corrosão. No projeto proposto o aspecto inovador é a utilização de um material alternativo em substituição ao material metálico. A princípio utilizar-se-á como material alternativo o PVC, que é utilizado em tubulações de água e esgoto. A utilização deste, justifica-se por ser um material de menor custo em relação ao aço inox e por não apresentar danos ocasionados pela corrosão.

#### 4. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA AERADOR E GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA

##### 4.1. Localização da roda d'água na estação de tratamento de efluentes MINIETERA

Os testes da roda d'água construída foram feitos na miniestação de tratamento de efluentes e resíduos localizada no Campus de Guaratinguetá, conforme mostrado na Fig.(1b).



Figura 1 – Configuração da miniETERA e a localização da roda d'água

##### 4.1.1. Material utilizado na fabricação

O material utilizado na construção dessa roda d'água é basicamente o PVC. O PVC é um material leve ( $1,4 \text{ g/cm}^3$ ), o que facilita seu manuseio e aplicação. É resistente à ação de fungos, bactérias, insetos e roedores, resistente à maioria dos reagentes químicos, resistente às intempéries (sol, chuva, vento e maresia) e é também um bom isolante térmico. Sua vida útil em construções é superior a 50 anos. As placas utilizadas são de dois metros de comprimento e um metro de largura com espessuras de cinco milímetros. Os cubos foram feitos de caixas de esgoto modulares com

diâmetros de 300mm. Para suportar o peso da água, o eixo foi feito em aço inox, com diâmetro de 25mm e comprimento de dois metros.

#### 4.1.2. Configuração e construção da roda d'água em PVC

Para a construção da roda d'água foram utilizados a base de duas caixas múltiplas de esgoto em PEAD (Polietileno de alta densidade) e placas de PVC com 5 mm de espessura.

A Fig. (2) mostra a seqüência da construção e montagem da roda d'água, com diâmetro de um metro, com o aerador. A roda é composta de 16 cubas, com uma largura de 150 mm, com um volume aproximado de 6,7 litros cada uma.

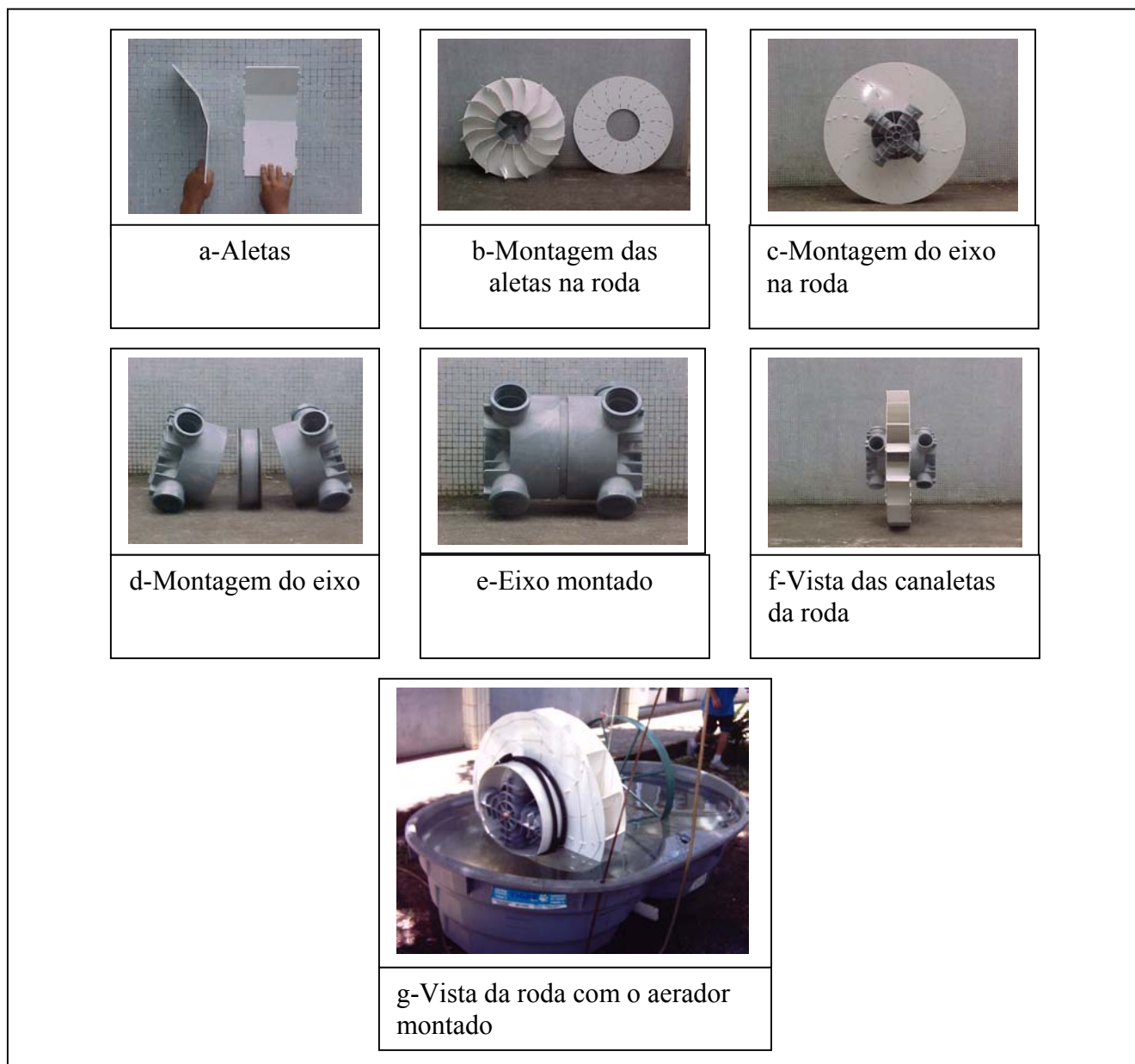


Figura 2 – Montagem da roda d'água com diâmetro de um metro e o aerador

#### 4.1.3. Configuração da roda d'água acoplada ao gerador de energia elétrica.

Para a geração de energia elétrica, a roda d'água foi acoplada a um gerador com rotor de ímãs permanentes (Souza, 2003) que pode fornecer até 1000W de potência elétrica por meio de uma correia de borracha em V tipo A.

A Figura 03 mostra a roda d'água acoplada ao gerador elétrico com rotor de ímãs permanentes.

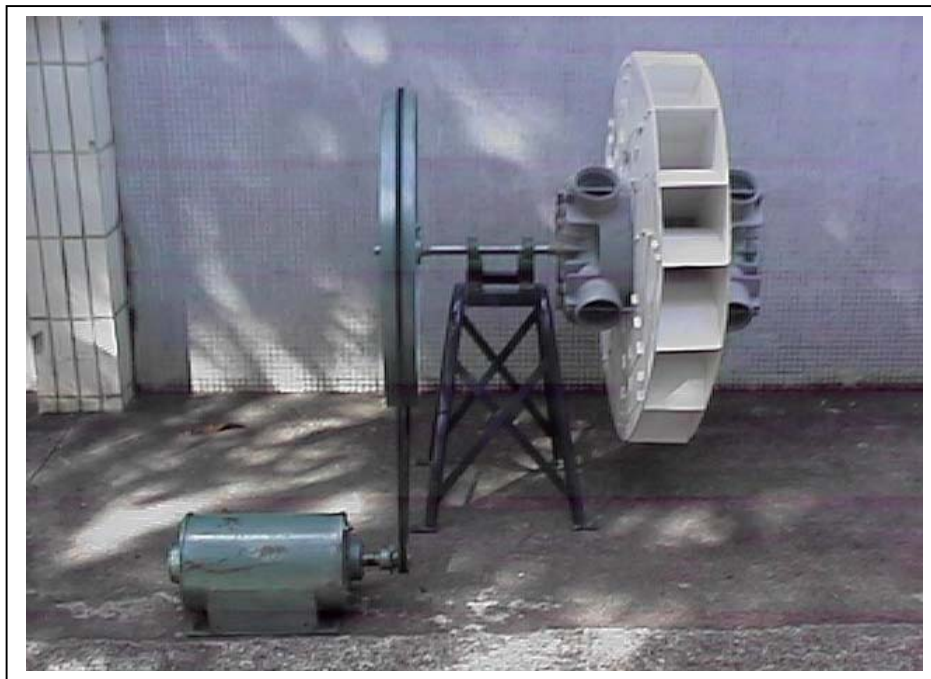


Figura 03 – Vista da roda d'água acoplada ao gerador de energia elétrica.

### 5. RESULTADOS OBTIDOS

As medidas mais importantes foram realizadas, entre elas a da rotação e a da potência fornecida pelo gerador. A rotação ideal de acordo com a Tab.(1) é 25 rpm. Nos ensaios a rotação teve seus valores entre 20 rpm e 50 rpm, com a ligação de mais cargas elétricas e menos cargas elétricas, respectivamente. A seguir serão apresentados os resultados experimentais obtidos com a geração de energia elétrica e a aeração do líquido.

#### 5.1. Geração de energia elétrica

Para uma roda d'água aerando a água e gerando energia elétrica, os testes levaram a Eq. (2), sendo P, a potência em watts, Q, a vazão em litros por segundo e, D, o diâmetro da roda em metros.

$$P = 5.Q.D \quad (2)$$

O fator de multiplicação 5 da Eq. (2) foi encontrado experimentalmente, visto que a roda d'água estava trabalhando com duas funções, como já foi mencionado acima. Se a roda d'água trabalhar somente gerando energia, este fator de multiplicação passa a ser acima de 7 (Souza, 2003).

Para a roda com diâmetro de 1,00 m, o gerador AC com rotor de ímãs permanentes fornece as potências mostradas na Tab. (2), onde  $P_A$  é encontrada com a roda d'água aerando a água e gerando energia elétrica, e  $P_S$ , somente gerando energia elétrica.

Tabela 2. Potência elétrica obtida experimentalmente da roda d'água construída com PVC com 1,00 m de diâmetro de acordo com a vazão.

Vazão Q (l/s)	Potência P <sub>A</sub> (W)	Potência P <sub>S</sub> (W)	Armazenamento em 10 h (Litros)	Vazão durante 4 h Q(l/s)	Potência P <sub>A</sub> (W)	Potência P <sub>S</sub> (W)
1	5	7	36000	2,5	12,5	17,5
2	10	14	72000	5,0	25	35
3	15	21	108000	7,5	37,5	52,5
4	20	28	144000	10	50	70
5	25	35	180000	12,5	62,5	87,5
10	50	70	360000	25	125	175
20	100	140	720000	50	250	350
30	150	210	1080000	75	375	525
40	200	280	1440000	100	500	700
50	250	350	1800000	125	625	875

## 5.2. Aeração do líquido

Conforme mostrado na Fig.(2.g), a aeração do líquido que sai da miniestação de tratamento, é feita colocando-se uma mangueira corrugada de cada lado da roda, quando a roda está com a metade submersa no líquido. Deste modo quando a roda movimenta e a mangueira passa no ar esta recebe o mesmo. Ao passar dentro do líquido esta mistura o líquido com ar. O movimento periódico ar-líquido-ar-líquido faz com que o líquido seja aerado.

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho, portanto, apresentou o projeto e desenvolvimento de uma roda d'água confeccionada em PVC para ambientes quimicamente agressivos. Sua utilização pode ser para permitir a aeração de líquidos, principalmente o que sai de biodigestores, assim como acionar um gerador com rotor de ímãs permanentes para fornecer energia elétrica. Os experimentos demonstraram que para a geração de energia elétrica, com uma potência satisfatória, o mais recomendável, quando há uma pequena quantidade de água, é armazenar durante todo o dia e utilizar durante cerca de 4 horas durante a noite.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PROPP – UNESP, a ZM Bombas, a NH Geradores e a Tigre pelas doações realizadas durante o desenvolvimento do projeto. Aos técnicos Rodolfo e José Carlos pelo apoio técnico.

À FAPESP pela bolsa IC 03/12697-4 e ao CNPQ pelas bolsas de Doutorado e Produtividade em Pesquisa.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Macintyre, A J., 1983 “Máquinas Motrizes Hidráulicas”, Ed. Guanabara Dois S.A.

Souza, T. M., Leonel, R. C., Bianchi, I., 2003, "Evaluation of the permanent magnets generator for power supply moved by 18-blades windmill", WVEC 2003 – The World Wind Energy Conference and Renewable Energy Exhibition. ISBN 0-95846639-4.

Souza, Teófilo M., Bianchi, I. et al. 2003. "Desenvolvimento de Software Para Dimensionamento de Microhidrelétricas com Geradores a Ímãs Permanentes e Potências até 10kW". 5<sup>th</sup>. Latin-American: Electricity Generation and Transmission. São Pedro-SP. ISBN 85-903471-1-7.

## **9. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### **THE USE OF ALTERNATIVE MATERIAL TO MAKE WATER WHEEL FOR AGGRESSIVE CHEMICALLY ENVIRONMENT**

**Teófilo Miguel de Souza,**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá  
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP  
E-mail: teofilo@feg.unesp.br

**Vinícius Lourenço dos Reis Silva**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá,  
E-mail: mec03264@feg.unesp.br

**Carlos Alberto Junqueira Branco Junior**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá,  
E-mail: civ03168@feg.unesp.br

**Murillo dos Santos Menezes**

Centro de Energias Renováveis – UNESP-Guaratinguetá,  
E-mail: mec03181@feg.unesp.br

**Ederaldo Godoy Júnior**

Depto. de Energia da UNESP–Guaratinguetá  
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP  
Depto. de Eng. Mecânica da Universidade de Taubaté, R. Daniel Danelli, s/n, Taubaté, SP  
E-mail: godoyjr@feg.unesp.br

**José Luz Silveira**

Depto. de Energia da UNESP–Guaratinguetá  
Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP  
E-mail: joseluz@feg.unesp.br

***Abstract.** This work presents the project, measurements and developments of a water wheel, with alternative materials in order to be used in chemically aggressive environments. The chosen material is the PVC used in water pipes and drain replacing the metal material. The main use is to start working the machine and to generate a small amount of energy. It's necessary to consider the water flow in liters per second and height of the waterfall. All the dimensions of the water wheel components were calculated to be used the mentioned environment. Among this dimensions are the diameter of the wheel in the incident point of the water the volume of each water blade, the amount of blade, the axis*



*dimensions of the wheel spoke and the way to stick the axis to the wheel. All the calculations were made for the water wheel with specific installations for the height of the water fall higher than 0.8 meters and 1.0 liter per second water flow, in the exits of the biodigestors, drains and other liquids residues. It's possible build a large wheel or use two narrow ones with a transmission system to obtain the necessary rotation to get the electric generator working well, for water falls with a large amount of water and low vertical height.*

**Keywords:** *energy generation, water wheel, PVC, aerobic.*