

RESUMO

Uma bomba d'água acionada por correntezas de rios mediante um rotor Savonius submerso foi testada. Depois de um ano de uso contínuo a bomba ainda estava em funcionamento. Porém, certas modificações foram concebidas para diminuir os desgastes dos componentes. Novos desenhos e uma nova lista de materiais são apresentados. Um gráfico da vazão diária da bomba em função da velocidade da correnteza, mostrou que com correntezas de 0,5 até 1,1 m.s<sup>-1</sup> a vazão (y litros/dia) depende linearmente da corrente (x m.s<sup>-1</sup>), sabendo-se a altura (a metros) do bombeamento segundo a equação:

$$y = 7692 x - 1250 - \frac{500 a}{3}$$

A bomba é considerada prática, econômica, com uma vida útil adequada. Contudo a evolução da tecnologia é limitada pelo fato de que o rotor fica consideravelmente mais caro quando não se usa um camburão de óleo para a sua construção.

INTRODUÇÃO

Em trabalho anterior, Harwood & Almeida (1982) descreveram uma bomba de construção simples que é acionada por correnteza de rios mediante um rotor Savonius submerso. A unidade flutua no rio, atracada no local. A correnteza faz o rotor girar. Duas bombas acionadas pelo rotor jogam água do rio para uso em terra.

No presente trabalho o autor apresenta mais resultados de testes de desempenho e de durabilidade da bomba e sugere algumas modificações da construção em função destes resultados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Construção da bomba

A bomba foi construída segundo o trabalho de Harwood & Almeida (1982) e subsequen

---

(\*) Pesquisa financiada pelo Banco do Brasil S.A. através de seu Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico Científica (FIPEC).

(\*\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus - AM.

temente foi modificada como descrito nos "resultados".

#### **Medição da vazão diária em função da velocidade da correnteza**

Esta medição foi feita por simulação, isto é, rebocando a bomba a uma velocidade determinada, na água parada de uma lagoa. A bomba foi rebocada ao lado de uma embarcação de 18 m de comprimento, guardando 2 metros de distância entre o casco do barco e a bomba. Um medidor de correnteza (Current Meter AA, Scientific Instruments Inc., Milwaukee, USA) posicionado dois metros em frente da bomba mediu a velocidade do fluxo d'água. A mangueira que conduzia a água bombeada foi içada até uma altura determinada do mastro do barco e a vazão da bomba medida cronometrando-se o tempo para encher uma proveta de 1000 ml mantida a esta altura. A experiência foi repetida com várias velocidades de reboque e várias alturas de bombeamento.

#### **Testes de durabilidade**

A bomba foi instalada no rio Tarumã Grande perto de Manaus em março de 1982 e retirada em março de 1983 depois de um ano de uso contínuo. A altura do bombeamento foi de aproximadamente 8 m e a correnteza (que neste rio varia rapidamente em função da chuva) foi em torno de 0,7 m/seg. Ao fim da experiência a bomba foi desmontada e o desgaste das peças observado. Modificações do desenho das peças foram feitas em consequência das observações.

## **RESULTADOS**

#### **Vazão diária da bomba**

A vazão diária da bomba em função da correnteza em diferentes alturas de bombeamento está mostrado na (Fig. 1).

#### **Durabilidade**

Depois de um ano de uso a bomba ainda estava em funcionamento. Porém várias peças sofreram desgastes, principalmente o couro de um dos pistões e as buchas do eixo. Desgaste menos importante foi observado nas articulações superiores e inferiores das bielas. Toda a estrutura precisou ser lixada e pintada novamente. Em um outro teste foi observada a corrosão galvânica das extremidades do eixo, provocando a queda dos flanges que servem como virabrequins. Um outro problema que surgiu às vezes foi que pequenas partículas sólidas em suspensão na água se prenderam nas válvulas dos pistões, mantendo-as abertas e impedindo assim a pressurização da bomba.

Em consequência dos problemas observados durante um ano de testes, foram feitas as seguintes modificações:

a) Aumento do diâmetro do eixo: O eixo do rotor, feito de cano galvanizado de 3/4" foi substituído por um cano de 1". O aumento do diâmetro tem por consequência o aumento da área de contato dentro das buchas e assim a diminuição do desgaste destas. Logicamente, os virabrequins, feitos de flanges, também foram trocados, substituindo-se os

velhos de 3/4" por novos de 1". Esta última substituição tem por consequência aumentar a robustez da fixação dos flanges.

b) Incorporação de um filtro na entrada d'água: Uma entrada de água separada do pistão foi construída e equipada com um filtro de tela (Fig. 2).

c) Modificação da biela: A bucha inferior da biela foi modificada para facilitar a construção e troca (Fig. 3).

O sistema de furo e pino que segurava o pistão foi substituída por ligas de borracha de pneu, diminuindo assim o desgaste do metal (Fig. 4).

d) Fixação do flutuador: Originalmente o flutuador foi fixado usando-se tábuas em prensadas entre ele e a armação. Este sistema foi substituído por um sistema de braçadeiras que abrem facilmente, permitindo o flutuador de ser removido convenientemente durante transporte da bomba (Fig. 5).

## DISCUSSÃO

### Vazão diária da bomba

A Fig. 1, mostra a vazão diária da bomba em função da velocidade da correnteza e da altura de bombeamento. É interessante notar que a vazão (que é uma medida da potência mecânica) aumenta linearmente com a velocidade da correnteza. Essa relação linear já foi observada por Harwood (1980) medindo a potência com um dinamômetro e por Bazzo & Rogério (1981) usando um rotor Savonius eólico.

O segundo aspecto interessante do gráfico da Fig. 1, é o paralelismo das retas e o fato que a distância entre elas é proporcional às diferenças de altura de bombeamento, o que permite elaborar uma equação simples para o desempenho da bomba, usando-se o raciocínio seguinte:

A equação de qualquer uma das retas da Fig. 1, é da forma:

- (i) .....  $y = mx + c$  onde  $y$  é a vazão em litros/dia  
 $m$  é a constante da bomba  
 $x$  é a correnteza em  $m.s^{-1}$   
 $c$  é uma constante que depende da altura de bombeamento.

Olhando para a Fig. 1, o valor de  $m$  se calcula em 7692 (litros/dia) / (m/seg).

Os valores de  $c$  são: com 1,5m de altura, ~ 1500 litros/dia  
com 7,5m de altura, ~ 2500 litros/dia  
com 10,5m de altura, ~ 3000 litros/dia

o que faz com que:

- (ii) .....  $c = -1250 - \frac{500}{3} a$  onde  $a$  = a altura do bombeamento em metros.

Assim, substituindo os valores de  $m$  e  $c$  na equação (i) se obtém:

- (iii) .....  $y = 7692 x - 1250 - \frac{500}{3} a$

Desempenho de uma bomba d'água ...

Esta equação (iii) permite se calcular a vazão da bomba ( $y$  litros/dia) sabendo-se a velocidade da correnteza ( $x$  m/seg) e a altura de bombeamento ( $a$  metros).

A Fig. 6, mostra em forma gráfica a vazão da bomba, calculada usando-se a equação (iii). Porém a extrapolação deve se limitar a velocidade entre 0,5 e 1,1 m/seg. Com velocidades mais altas, os dados experimentais já não mostram linearidade e com velocidades inferiores a rotação do rotor se torna irregular.

A potência mecânica desenvolvida pelo rotor depende da vazão multiplicada pela altura ( $y \times a$ ). Substituindo na equação (iii) e diferenciando, se conclui que a potência máxima do rotor (em determinada correnteza) é desenvolvida quando o bombeamento se faz a uma altura equivalente à metade da altura máxima atingível com esta correnteza ( $a = \frac{1}{2} a_{\max}$ , com  $x$  fixo).

Uma outra conclusão concerne a eficiência ou rendimento do rotor. A equação (iii) mostra que a potência desenvolvida pelo rotor é linear com respeito a velocidade da correnteza, enquanto que a potência disponível na correnteza é proporcional ao cubo da velocidade. Como a eficiência do rotor é a primeira dividida pela segunda, pode-se concluir que a eficiência do rotor cai quando a velocidade da correnteza aumenta. Esta conclusão coincide com a observação de Harwood (1980) que usou um dinamômetro para medir a potência do rotor Savonius submerso.

#### **Durabilidade**

A bomba tem uma boa durabilidade. As experiências descritas aqui mostram que a manutenção necessária é mínima. Se aconselha retirar a bomba da água a cada seis meses e examiná-la, trocando as buchas principais e os couros dos pistões e pintando a estrutura inteira pelo menos uma vez por ano.

#### **Desenho final**

Novos desenhos incorporando às modificações feitas durante este trabalho e mostrando outros detalhes para facilitar a construção e a instalação, são apresentados nas figuras 7, 8, 9, 10 e 11. A lista de materiais necessários para construir a bomba é apresentada na Tabela 1.

#### **Perspectivas para um aumento de potência**

A bomba mostra-se ser um aparelho simples, econômico e prático. Contudo uma grande parte da sua simplicidade e economia é devida ao uso do camburão de óleo para fabricar o rotor. Quando se constrói um rotor maior numa tentativa de aumentar a potência, o custo e complexidade da construção aumentam consideravelmente. Quando se coloca mais camburões num só eixo, a construção torna-se mais problemática, porque o eixo sendo mais longo, sofre grandes forças de flexão.

Quando se precisa bombear um pouco mais de água, é preferível simplesmente instalar duas bombas do tipo descrito. Quando se precisa bombear muito mais água, é provável que um outro tipo de rotor (hélice, Darrieus ou outro) seja mais prático do que um rotor Savonius gigante. Uma outra possibilidade é que unidades hidreletrógeradoras do tipo "cata-água", descrito por Harwood (1984), que desenvolve 1 KW de potência elétrica instalado numa correnteza de 1,1 m/seg., podem fazer bombeamento em momentos em que a

eletricidade não seja necessária para outras finalidades, usando-se bombas elétricas convencionais.

Por estas razões os trabalhos futuros do autor terão como enfoque o desenvolvimento de outros rotores, considerando-se que o rotor Savonius, muito funcional na unidade descrita aqui, tem potencial limitado para ser aplicado em unidades maiores.

#### SUMMARY

A simple water-pump powered by a submerged Savonius rotor was tested. After one year of continuous operation the pump was still functioning. However certain modifications were designed to reduce wear on the components. New drawings and a new list of materials are presented. A graph of pumping rate against current speed showed that for currents of 0,5 to 1,1  $m.s^{-1}$  the pumping rate ( $y$  liters/day) depends linearly on the current speed ( $x$  meters/sec) for a given pumping height ( $a$  meters) according to the equation  $y = 7692 x - 1250 - \frac{500 a}{3}$ . The pump is considered practical, cheap and to have a useful lifetime. However further developments of the technology are limited by the fact that the rotor becomes much more expensive when it is no longer made from a sawn-up oil drum.

576 **Tabela 1.** Lista dos materiais utilizados na construção da bomba.

1	2	3	4	5	6
Material	Tipo	Quantidade Total	Especificação das peças feitas com esse material.	Número das peças tendo a função da coluna 6.	Fundação da peça descrita em 4.
<b>Cano</b>	galvanizado 1"	107 cm	peça de 107cm rosqueada em ambas as extremidades	1	eixo do rotor
	galvanizado 3/4"	518 cm	peça de 177cm rosqueada em uma extremidade	2	elemento vertical
			peça de 45cm rosqueada em ambas as extremidades	2	componentes de travessa superior
			peça de 37cm rosqueada em uma extremidade	2	entrada de água
	galvanizado 1/2"	370 cm	peça de 99cm	1	travessa inferior
			peça de 121cm	1	travessa média
	plástico	103 cm	peça de 75cm	2	bielas
			peça de 42cm rosqueada em ambas as extremidades	1	câmaras de ar
			peça de 33cm rosqueada em uma extremidade	2	cilindros das bombas
	<b>Cantoneira</b>	1/2" x 1/8"	6 m	peça de 150cm	4
<b>Barra</b>	3/4" x 1/16"	436 m	peça de 29 cm	2	braçadeiras do flutuador
			peça de 79 cm	2	
			peça de 110 cm	2	

continuação Tabela 1. Lista dos materiais utilizados na construção da bomba.

Ferragens	galvanizada	1 3	tampa fêmea 2" luva de redução 2" x 1"	1 2	tampa da câmara de ar partes superiores das bombas
				1	parte inferior da câmara de ar
	galvanizada	3	bucha de redução 1" x 3/4"	2	partes superiores das bombas
				1	parte inferior da câmara de ar
	galvanizada	13	nipples de 3/4"	1 2	saída da água parte inferior da câmara de ar
				10	partes superiores das bombas
	galvanizada	5	joelho 3/4"	4	partes superiores das bombas
				1	parte inferior da câmara de ar
	galvanizada	1	cruzeta 3/4"	1	parte da travessa superior
	galvanizada	4	"T" 3/4"	2	parte da travessa superior
				2	parte da bomba
	galvanizada	2 2	flange 1" braçadeira 1"	2 2	virabrequins segurar os filtros de entrada d'água
				1	segurar a mangueira de saída d'água
	latão	4	válvula de retenção vertical de 3/4"	4	parte das bombas
	latão	1	adaptador de 3/4" para mangueira plástica de 1/2"	1	saída de água
aço	1	manilha de 3/8"	1	ponto de amarrar o cabo	

continuação Tabela 1. Lista dos materiais utilizados na construção da bomba.

	aço	12	arruelas de 1" de diâmetro interno	12	calçar no eixo entre o rotor e as buchas	
	aço	2	discos de 45mm de diâmetro	2	segurar o couro nos pistões	
<b>Parafusos</b>	com porcas	4	2 1/2" x 3/8"	4	segurar as travessas	
	com porcas	2	4" x 5/10"	2	fixar o rotor ao eixo	
	com porcas	4	5" x 5/16"	4	segurar as buchas	
	com porcas	2	3" x 1/4"	2	segurar as flanges	
	com porcas	16	2" x 1/4" cabeça arredondada	16	ligar as duas conchas do rotor ao "sanduiche" de madeira	
	com porcas	2	1 1/4" x 1/4"	2	fixar as bombas às travessas	
	com porcas	2	2 1/2" x 7/16"	2	virabrequins (quatro porcas necessárias neste caso)	
			4	1 1/4" x 5/16"	4	fixar as ligas de borracha às bielas
			2	1 1/2" x 5/16"	2	fixar as ligas de borracha aos pistões
		com porcas	4	3" x 3/8"	4	fixar as bielas às buchas dos virabrequins
	com porcas	6	2" x 1/4"	6	fixar as braçadeiras do flutuador	
	com porcas	2	2" x 3/8"	2	ligar as braçadeiras do flutuador	
	para madeira	6	1/2" x 1/8"	6	segurar o couro dos pistões	
<b>Madeira</b>	Cumarū		bucha de 10cm x 10cm x 6cm	2	buchas do eixo	

continuação Tabela 1. Lista dos materiais utilizados na construção da bomba.

			bucha de 11cm x 5cm x 3,6cm	2	buchas dos virabrequins
			cilindro de 10 cm de altura e de 4,8cm de diâmetro	2	pistões
	tábua		37cm x 17cm x 2,0cm	4	ligar as conchas do ro- tor
Couro	1/8"		disco de 6cm de diâ- metro	2	revestimento dos pis- tões
Tambores	200	2		1	flutuador
Peneira	2mm (aproximadamente)		disco de 6cm de diâme- tro	2	filtro de entrada da água
Mangueira	1/2"		quanto se precisar		condução d'água

### Referências bibliográficas

- Bazzo, Walter A. & Rogério, T. S. Ferreira - 1981. Desempenho de rotores de eixo vertical tipo Savonius. *Atualidades do Conselho Nacional de Petróleo*, 13 (75): 16-20.
- Harwood, John H. - 1980. Comparação de três rotores feitos localmente com eixos em diferentes dimensões extraíndo energia cinética hidráulica dos rios amazônicos. *Acta Amazonica*, 10 (1): 167-177.
- Harwood, John H. - 1984. O cata-água, uma alternativa hidrelétrica para Amazônia. *Ciência Hoje*, 2 (10): 22-25.
- Harwood, John H. & Almeida, Ronaldo - 1982. Bomba acionada por um rotor Savonius submerso. *Acta Amazonica*, 12 (3): 639-648.

(aceito para publicação em 26.03.1986)