

# Microgeração de energia com uso de bomba funcionando como turbina (BFT) em sistemas de abastecimento de água (SAA)

## *Microgeneration of energy with pump functioning as turbine in water systems supply*

- **Data de entrada:**  
26/06/2017
- **Data de aprovação:**  
14/06/2018

Silvia Fernanda Paffrath<sup>1\*</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.005>

### ORCID ID

Paffrath S.F.  <https://orcid.org/0000-0002-3045-9934>

### Resumo

Cada vez mais têm sido estudadas formas de minimizar gastos com energia e/ou de obter formas alternativas de geração, principalmente pela diminuição de oferta hídrica em diversos locais. Nos sistemas de abastecimento de água, são altos os gastos com energia, principalmente nas estações elevatórias. Em sistemas que fazem a distribuição de água por gravidade, não é rara a utilização de válvulas redutoras de pressão em pontos específicos em que é necessária essa redução para garantir condições favoráveis de transporte de água na tubulação. Nesse sentido, ocorre dissipação de energia que poderia ser aproveitada no próprio sistema. Tendo em vista esse aproveitamento energético, esse estudo tem como objetivo determinar de forma teórica a potência gerada por uma bomba funcionando como turbina em locais onde há excedente de pressão, tomando por base dados de um sistema teórico de abastecimento de água de município de pequeno porte. Os resultados mostram que a alternativa é tecnicamente viável, gerando 2,2 KW de potência e 16,4 MW/ano de energia, que poderia ser utilizada no próprio sistema, em pontos onde seria necessário bombeamento, seja na captação ou na própria rede de abastecimento, em transição de zonas baixas para altas.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Bomba funcionando como turbina (BFT).

### Abstract

*It has increasingly been studied ways to minimize energy costs and to obtain alternative forms of generation, mainly by the reduction of water supply in various locations. In water supply systems, energy costs are high, especially in pumping stations. In systems that make the distribution of water using gravity, it is not uncommon to use pressure reducing valves at specific points at which this reduction is necessary to ensure favorable conditions of water transport in the pipe. In this sense, there is dissipation of energy that could be used in the system itself. In view of this energy use, this study aims to determine theoretically the power generated by a pump functioning as turbine in places where there is excess pressure, based on data from a theoretical system of a small town water supply. From the results, the alternative proved to be technically feasible, with power generated at 2.2 KW and energy at 16.4 MW/year, which could be used in the system itself, at points where pumping would be required, either on capture or in the supply network, in transition from low to high areas.*

**Keywords:** Energy efficiency. pump functioning as turbine.

<sup>1</sup> Sanepar - Companhia de Saneamento do Paraná - Engenheira na Gerência Projetos Especiais, área de tratamento de água. Curitiba (PR), Brasil.

\* **Autor correspondente:** [silviapaffrath@hotmail.com](mailto:silviapaffrath@hotmail.com).

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento na demanda hídrica, para abastecimento, geração de energia, etc., e do custo da tarifa elétrica, surgiram novos estudos de eficiência energética sobre métodos alternativos de fontes de energia a menores custos e em diversas áreas, e consequente redução no consumo de energia elétrica.

Com relação ao setor do saneamento, segundo relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento referente ao ano de 2015 (SNIS, 2017) e informações da Empresa de Pesquisa Energética para o mesmo período (EPE, 2016), 2,41% do consumo total de energia elétrica no país era desse setor.

Especificamente em sistemas de abastecimento de água, dados do mesmo relatório citado apontam para 2,37% do consumo total de energia elétrica. Nesses sistemas, 95% desse consumo é devido aos sistemas de bombeamento, para garantir que a água captada chegue até a estação de tratamento e/ou a água tratada chegue até os pontos de consumo, quando não se pode utilizar a gravidade para esse transporte de água (TSUTIYA, 2001).

Existem sugestões de algumas medidas de eficiência energética no setor, como redução de perdas reais de água e redução de altura manométrica de bombeamento (GOMES, 2013).

Com relação às perdas, segundo Pérez (2008), 30% delas vêm de vazamentos na rede, havendo uma relação direta entre esses e as pressões, conforme pesquisas e resultados de autores que estudam essa relação há mais de 20 anos e comprovam que ambos aumentam proporcionalmente.

Para controle de pressão, é comum o uso de válvulas redutoras de pressão (VRPs) para redução dessa para abastecimento de zonas baixas, com dissipação de energia. Vale destacar que não é rara a utilização, em local específico, de reservatórios

elevados projetados para abastecimento tanto de zonas altas como de zonas baixas. Nesses casos, o uso de VRP é recomendado para atuar sobre as linhas de pressão na rede, a partir do reservatório, baixando a linha piezométrica para abastecimento de uma zona baixa (TSUTIYA, 2006).

Resultados de algumas pesquisas mostram redução de perdas após a instalação de VRPs. No Distrito Federal notou-se queda de 6200 m<sup>3</sup>/dia para menos de 4500 m<sup>3</sup>/dia em um setor após a instalação de VRP entre os anos de 1997 e 1998 (GONÇALVES et al., 2005, apud PÉREZ, 2008).

Comprovada a necessidade das VRPs para controle de pressões e consequente redução de perdas pela diminuição de vazamentos na rede, a energia dissipada pelas válvulas poderia ser aproveitada em outros pontos do sistema, reduzindo, por exemplo, custos de energia elétrica do bombeamento ou outras unidades.

Uma forma de aproveitamento dessa energia, já testada em alguns países, como os Estados Unidos, é o uso de turbinas em pontos específicos da rede. Na cidade de Portland, no final de 2014, começou a ser testado um tipo de tubulação com turbinas internas que se movimentam com o fluxo da água. A energia mecânica das turbinas é transmitida para geradores para transformação em energia elétrica, podendo gerar até 1100 MWh/ano (LUCID ENERGY, 2016).

Para atuar de forma semelhante, no Brasil já há estudos da utilização de bombas funcionando como turbinas (BFT), com sentido do fluxo do fluido inverso, tendo como vantagem o menor custo daquelas em relação a essas, sendo de 2 a 3 vezes menor (RICARDO, 2007).

Nesse sentido, destaca-se a Resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012) sobre as condições de micro e minigeração de energia elétrica, sistema de compensação e outros.

Para viabilizar a utilização de bombas como turbinas, alguns métodos de seleção de bombas foram desenvolvidos, como o método europeu de Chapallaz et al. (1992), além de alguns brasileiros como o de Viana (1987), a partir de dados conhecidos no sistema, como vazão e altura manométrica, que deverão ser constantes.

Justificada a necessidade de serem estudados métodos de diminuição no consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (SAA), e também de redução de perdas por vazamentos, muitas vezes pelo excesso de pressão, sendo necessária sua diminuição e, com isso, ocorrendo dissipação de energia, o objetivo geral deste estudo é verificar a eficiência de uma BFT em ponto específico de um SAA, considerando município de pequeno porte, com cálculo da potência gerada e o possível uso dessa potência.

## 2 METODOLOGIA

Para a determinação da bomba, é necessário conhecer alguns dados, como vazão e altura manométrica. Por se tratar de município teórico, apenas com populações conhecidas, deve ser estimada a população de alcance de projeto (para 20 anos, dada por  $P_f$ ), e a partir desta as vazões de demanda em pontos específicos do sistema, utilizando a Eq. (1).

$$Q = \frac{P_f \cdot q \cdot K_1 \cdot K_2}{86.400} + \Sigma Q_{gc} \quad (1)$$

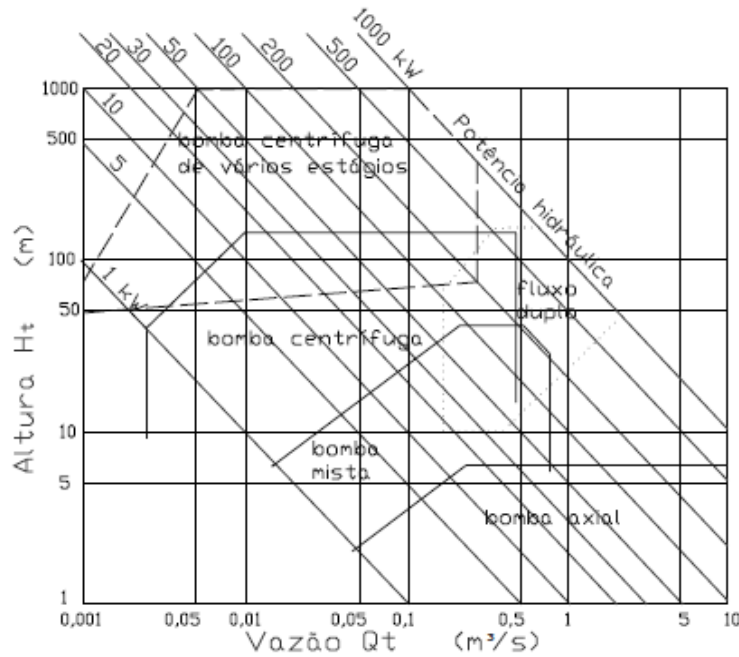
Na qual  $q$  é o consumo per capita de água,  $K_1$  e  $K_2$  os coeficientes do dia e hora de maior consumo, respectivamente, e  $\Sigma Q_{gc}$  o somatório de vazões de grandes consumidores (também estimado nesse estudo).

Com essa vazão e altura manométrica (aquela do reservatório elevado dimensionado para atendimento dessa população), é possível determinar o tipo de bomba, a partir do método de Chapallaz et al. (1992).

Inicialmente deve ser lembrado que como o sentido do fluxo do fluido será invertido, para que as perdas sejam compensadas, a vazão e a altura da BFT deverão ser maiores que a da bomba funcionando como bomba (BFB). Para isso, altura e vazão da BFT terão acréscimos com coeficientes de altura e vazão, respectivamente, conforme as Eq. (2) e (3) a seguir.

$$H_b = \frac{H_t}{c_H}, \text{ e } Q_b = \frac{Q_t}{c_Q} \quad (2) \text{ e } (3)$$

Nas quais  $H_b$  e  $Q_b$  referem-se à altura e à vazão na bomba,  $H_t$  e  $Q_t$ , na turbina, e  $c_H$  e  $c_Q$  aos coeficientes de altura e vazão utilizados. Conhecendo  $H_t$  e  $Q_t$ , determina-se o tipo de bomba que será utilizada como turbina, a partir do ábaco da Fig. 1, e a rotação específica  $n_{qt}$  a partir da Eq. (4).

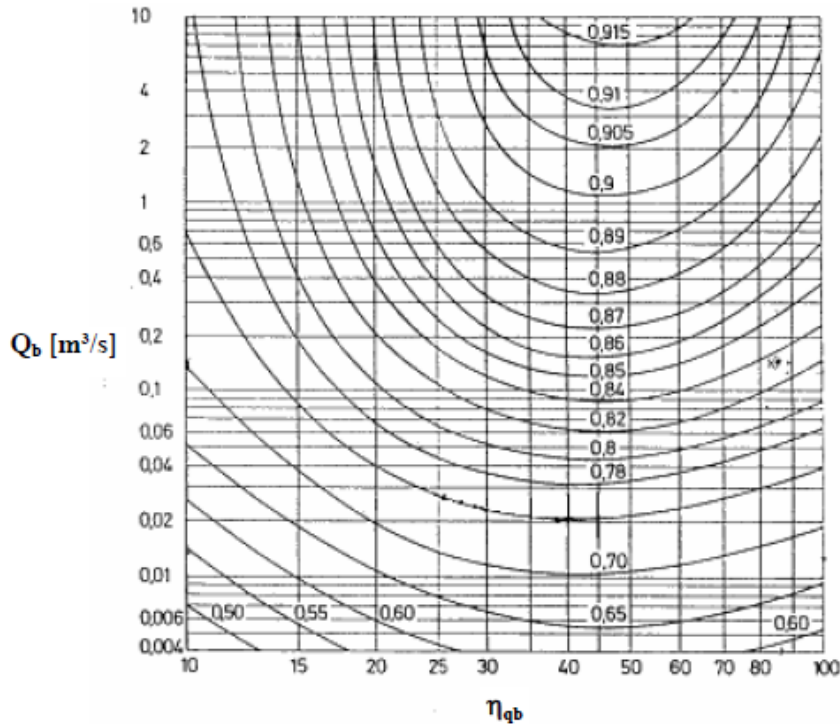


**Figura 1 – Pré-seleção da BFT**  
 Fonte: Chapallaz et al., 1992.

$$n_{qt} = \frac{n_t \sqrt{Q_t}}{H_t^{3/4}} \quad \text{(Equação 4)}$$

Para conhecer o rendimento da bomba, é necessário o cálculo da rotação específica e da vazão

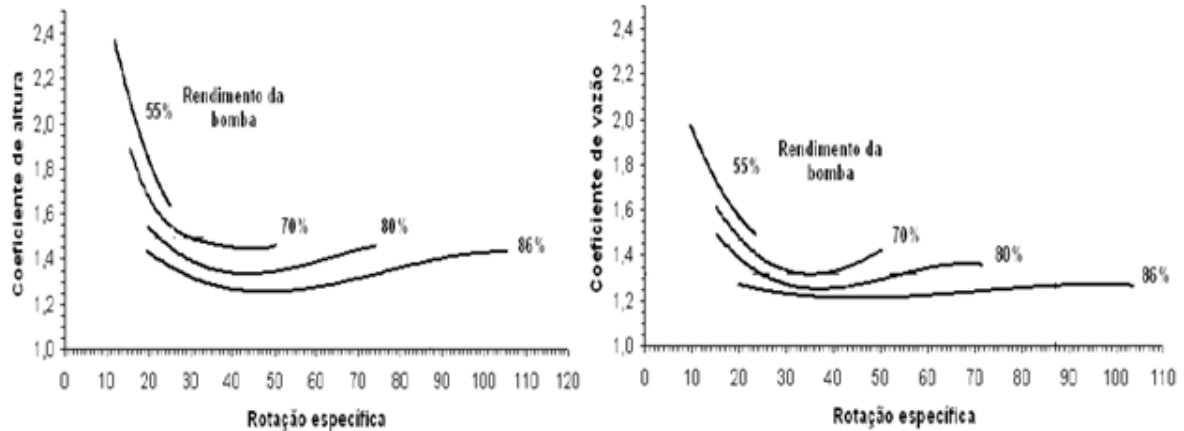
da bomba. Estimativamente, são 0,89 e 1,3 vez menor que a rotação específica e a vazão da BFT. Assim, o rendimento é dado pelo ábaco da Fig. 2.



**Figura 2 – Rendimento da bomba**  
 Fonte: Chapallaz et al., 1992.

O rendimento da bomba adotado a partir do ábaco da figura acima será o mesmo da BFT, e a partir desse é possível determinar os coeficien-

tes de altura e vazão (Fig. 3) para os cálculos da altura e vazão da BFT, voltando às Eq. (2) e (3) citadas anteriormente.



**Figura 3** – Coeficiente de altura e de vazão BFT  
 Fonte: Chapallaz et al., 1992.

O método descrito por Chapallaz et al. (1992) encerra-se aqui. No entanto, alguns autores comentam sobre a necessidade de correção da altura e vazão por meio de leis de semelhança, pela diferença existente entre a rotação da BFT e a rotação da BFB (velocidade síncrona). Conforme Porto (2006), a correção pode ser feita a partir das Eq. (5) e (6).

$$H_b = \left(\frac{n_b}{n_{0b}}\right)^2 \cdot H_{0b}, \text{ e } Q_b = \frac{n_b}{n_{0b}} \cdot Q_{0b} \quad (5) \text{ e } (6)$$

Nas quais  $H_b$  e  $Q_b$  são a altura e a vazão referentes às velocidades nominais da bomba (do catálogo do fabricante);  $n_b$ , a própria velocidade nominal da bomba (também do catálogo);  $H_{0b}$  e  $Q_{0b}$ , a altura e vazão referentes às velocidades síncronas; e  $n_{0b}$ , a velocidade da BFT.

Com a altura e a vazão da BFT já corrigidas, escolhe-se entre os modelos dos fabricantes a que melhor se adequa à situação.

Por fim, calcula-se a potência a partir da vazão ( $Q_t$ ), altura ( $H_u$ ), peso específico do fluido ( $\gamma_f$ ) e rendimento da turbina ( $\eta_{tb}$ ), considerando as perdas de energia no interior do equipamento por meio de fatores de correção (FERREIRA, 2015).

A Eq. (7) a seguir é a equação geral para o cálculo da potência.

$$P_u = (Q_t \cdot H_u \cdot \gamma_f) \cdot (\eta_{tb}) \quad (7)$$

O rendimento da turbina será o rendimento da bomba dado pelo fabricante ( $\eta_b$ ) com um fator de correção CR que geralmente varia entre 0,92 e 0,99 (Oliveira, 2008), uma vez que o sentido contrário do fluxo faz com que a BFT tenha rendimento menor que o da BFB. Além disso, outros fatores de correção também são usados para reduzir esse rendimento de forma a se obter valores próximos aos reais de funcionamento. Esses fatores são dados por  $\eta_g$  e  $\eta_t$  e dizem respeito às relações entre potências de fluxo e de gerador.

Assim, a Eq. (7) acima é convertida para a (8) para o cálculo da potência.

$$P_u = (Q_t \cdot H_u \cdot \gamma_f) \cdot (\eta_b \cdot C_R \cdot \eta_g \cdot \eta_t) \quad (8)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora teórico, já que não levaremos em consideração a topografia e a distribuição de economias no local para elaboração da rede de distribuição, adotamos dados de população do município de Capitão Leônidas Marques (PR) para cálculo da população de alcance e vazão. Conforme dados dos censos do IBGE, o município tem população inicial de 10.859 habitantes no ano de 2010; considerando, ainda, as populações dos anos de 1991, 1996, 2000, foi estimado

crescimento populacional na forma geométrica, alcançando, em 2030, a população de 15.119 habitantes (Pf).

Considerando  $q = 126,29$  L/hab.dia (SNIS, 2010), K1 e K2 iguais a 1,2 e 1,5 (valores usuais), respectivamente, e  $\Sigma Q_{gc}$  igual a 5 L/s (estimado), foi calculada a vazão Q por meio da Eq. (1), resultando em 44,78 L/s. Se considerarmos que metade da população é atendida por reservatório elevado e a outra metade por semi-enterrado, podemos usar nos próximos cálculos metade da vazão encontrada, igual a 22,39 L/s.

A altura que utilizaremos nas demais equações será de 15 m, considerando um ponto em que se faça necessária a utilização de uma VRP para redução de pressão na ordem de 15 m.c.a.

Com as Eq. (2) a (4) e as Fig. 1 a 3, obtiveram-se os valores da Tabela 1.

**Tabela 1** – Resumo dos resultados encontrados

Dados/Características	Valores
Vazão ( $Q_t$ ) – Eq. (1)	0,022 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Tipo de Bomba – Fig. 1	Centrífuga
Modelo da Bomba – catálogo	KSB Meganorm 125-080-200
Rotação da BFT ( $n_b$ ) – catálogo	1750 rpm
Rendimento da bomba ( $\eta_b$ ) – catálogo	77%
Rotação específica da BFT ( $n_{qs}$ ) – Eq. (4)	34,36
Rotação específica da bomba ( $n_{qb}$ )	38,60
Vazão da bomba ( $Q_b$ )	0,017 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Rendimento máximo da bomba – Fig. 2	73%
Coefficiente de altura e vazão – Fig. 3	1,45 e 1,35
Altura da BFT ( $H_b$ ) – Eq. (2)	10,35 m
Vazão da BFT ( $Q_b$ ) – Eq. (3)	0,0166 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>

Fonte: Autoria Própria, 2016.

Com os valores da tabela e admitindo outros para os fatores de correção mencionados ( $CR = 0,955$ ;  $\eta_g = 0,95$   $\eta_t = 0,97$ ), a potência calculada a partir da Eq. (8) foi igual a 2,23 KW. O valor se confirma quando utilizamos a Figura 2 mostrada anterior-

mente, a partir de vazão e altura, resultando em bomba centrífuga com potência entre 1 e 5 KW, e pouco acima de 1 KW. Além disso, em um ano, com funcionamento de 20 h/dia, a energia será 16,44 MW/ano.

## 4 CONCLUSÕES

Para a determinação da potência gerada, foi adotada uma situação hipotética de abastecimento de água de área por reservatório elevado, que poderia gerar excedente de pressão em determinados pontos da rede de alguma zona baixa (pela topografia do local). Esse excedente seria dissipado em forma de energia com a utilização de uma válvula redutora de pressão, que se faz necessária para evitar perdas de água por rompimento da tubulação pelo excesso de pressão. O emprego de uma mini central hidrelétrica com bomba funcionando como turbina eliminaria esse desperdício de energia, convertendo-a em potência hidráulica, que poderia ser usada no próprio sistema, como na captação ou em pontos de transição entre zona baixa e alta da rede de abastecimento.

Em sistemas onde a captação ocorre por gravidade, o mesmo cálculo poderia ser feito para determinar a potência gerada nessa situação. Outra forma de obter resultados viáveis de geração de energia seria a partir da análise de uma rede existente, no ponto exato onde seria instalada a VRP, com vazão e diferença de pressão necessária para a redução.

As opções de aproveitamento energético em sistemas de abastecimento de água são variadas, exigindo estudos e testes, laboratoriais e em campo, a fim de determinar qual o ponto ótimo de aproveitamento: se na captação, se na saída de um reservatório elevado, se no ponto onde seria instalada a VRP ou em outro local em que há “sobra” de energia.

## 5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Res. Normativa nº 482**. Brasília, 2012.

CHAPALLAZ, J.; EICHENBERGER, P.; FISCHER, G. **Manual on pumps used as turbines**. Volume 11. Germany: Informatica International, 1992. 221 p.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo de energia elétrica no Brasil em 2015**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://antigo.epe.gov.br//mercado/Paginas/Consumodeenergiael%C3%A9tricacai2,1nopa%C3%ADsem2015.aspx>>. Acesso em: 26 jun 2018.

FERREIRA, R. M. P. **Aproveitamento de energia em sistemas de abastecimento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, 2015.

GOMES, A. S. In: **Seminário gestão do uso da energia elétrica no saneamento: importância e dimensões do problema**. Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. Rio de Janeiro, 2013.

MEGANORM, MEGABLOC. Disponível em: <[www.ksb.com.br](http://www.ksb.com.br)>. Acesso em: 25 ago. 2016.

LUCID ENERGY. **FAQ/Fast Facts** - LucidPipe Power System. Disponível em: <<http://www.lucidenergy.com>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

OLIVEIRA, A. F. M. **Recuperação de energia hidráulica em sistemas de distribuição de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2008.

PÉREZ, A. M. E. A. **Estudo ótimo da localização de válvulas redutoras de pressão em sistemas de distribuição de água considerando objetivos múltiplos**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2008.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4ª Edição. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2006. 519 p.

RICARDO, M. **Estudo de grupos moto-bomba operando como grupos geradores em microcentrais hidrelétricas**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Ministério das Cidades. **Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgoto**. Brasília, 2017.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. 1ª Edição. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. 185 p.

VIANA, A. N. C. **Comportamento de bombas centrífugas funcionando como turbinas hidráulicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 1987.