

25º. Encontro Técnico AESABESP

DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE ADUTORAS POR GRAVIDADE ATRAVÉS DA MICROGERAÇÃO

Gustavo Meirelles Lima⁽¹⁾

Mestre em engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Atualmente é pesquisador do Grupo de Energia (GEN) da UNIFEI e engenheiro na S.O. ESCO, tendo como principais linhas de atuação: recursos hídricos, hidrometria, geração de energia, sistemas hidráulicos, uso racional de água e energia elétrica.

Augusto Nelson Carvalho Viana

Doutor em Engenharia Civil/Hidráulica pela Escola Politécnica (USP) e pós-doutor em Ciências da Engenharia Ambiental pela USP (São Carlos). Coordenador do Grupo de Energia (GEN) e do Laboratório de Etiquetagem de Bombas (LEB) tendo como linhas de pesquisa: máquinas hidráulicas, centrais hidrelétricas, sistemas hidráulicos, eficiência hidroenergética e hidrometria.

Renato Swerts Carneiro Dias Júnior

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Atua em projetos de eficiência energética (sistemas de bombeamento, iluminação, refrigeração, aquecimento), ensaios em usinas hidrelétricas e microgeração. Atualmente participa da equipe do Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN) e Grupo de Energia (GEN), na UNIFEI, e é engenheiro na S.O. ESCO.

Endereço⁽¹⁾: S.O. ESCO Serviços de Consultoria e Engenharia, Av. BPS, 1303, Campus José Rodrigues Seabra, Prédio PCTI, Itajubá, Minas Gerais, Brasil. Tel.: (35) 3629-1625. E-mail: gustavo@soesco.com.br.

RESUMO

O dimensionamento de adutoras, tanto de água bruta quanto tratada, é feito baseado no custo mínimo de implantação. Desta forma, para determinar o diâmetro de uma adutora que trabalha por gravidade, considera-se que toda a carga existente (queda bruta) deverá ser convertida em perda de carga na tubulação e acessórios. Assim, reduzem-se os custos de implantação e possíveis problemas com a alta pressão. Entretanto, toda esta energia dissipada poderia ser aproveitada para acionar uma turbina hidráulica e gerar energia elétrica. Para isto é necessário que as perdas de carga sejam reduzidas, aumentando o diâmetro da adutora e conseqüentemente a potência disponível. Assim, propõe-se uma nova metodologia para dimensionamento de adutoras por gravidade, onde deve ser encontrado o máximo benefício líquido, resultado da diferença entre o benefício obtido através da geração de energia e os investimentos adicionais da microcentral e aumento do diâmetro da adutora. A metodologia desenvolvida foi aplicada em um caso real, na cidade de Cruzeiro/SP, onde existem duas adutoras de água bruta, com uma queda bruta disponível de 120 m, mas que apresentam perda de carga da ordem de 50 %. A análise mostrou que o sistema poderia obter grandes benefícios caso o projeto inicial leva-se em conta a geração de energia.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência energética, adutoras, microgeração

INTRODUÇÃO

A concepção de um sistema de abastecimento de água é uma atividade complexa e que requer a coleta de muitas informações e uma equipe multidisciplinar, de modo que o projeto seja o mais eficiente possível e que apresente uma boa relação custo/benefício. São diversos fatores que podem impactar na concepção mais eficiente. Dentre elas destacam-se os parâmetros de qualidade do manancial em estudo e suas condições hidrológicas, a topografia de todo o sistema e as projeções de crescimento demográfico e de demanda de água (Tsutiya, 2006). A composição de todos estes fatores irá formar o custo de implantação do sistema.

Muitas vezes a opção escolhida é a mais barata, mas que não necessariamente é a mais econômica. Este fato é bastante observado em sistemas onde existem estações elevatórias, quando não é feita a seleção do diâmetro econômico de acordo com procedimentos estabelecidos, resultando em gastos excessivos na operação (Gomes, 2009). Existem diversas técnicas de otimização que podem ser utilizadas no dimensionamento econômico de um sistema de abastecimento de água, tendo como objetivo minimizar os gastos com a implantação e a operação, sempre respeitando restrições hidráulicas como a pressão e a velocidade do escoamento. Formiga (2006) e Bardales (2007) utilizam técnicas de otimização multiobjetivo com este intuito. Odan (2013) ainda propõe o uso de técnicas de previsão de demanda para que sejam consideradas condições críticas durante o período de operação, que podem afetar o desempenho do sistema e aumentar os custos operacionais. Além disso, como o sistema opera em tempo real, também é possível garantir a qualidade da água e identificar possíveis pontos de vazamento na rede.

No caso de adutoras que trabalham por gravidade, a opção escolhida é sempre a do menor diâmetro necessária para que a vazão desejada chegue ao local com a pressão mínima necessária. Desta forma, são observadas perdas de carga elevadas nestes locais, pois como não há consumo de energia elétrica para o transporte da água, a opção é economizar nos custos de implantação da adutora.

Entretanto, esta energia potencial existente, que é dissipada na forma de perda de carga, poderia ser mais bem aproveitada caso fosse utilizada uma turbina para gerar energia elétrica. Desta forma, ao invés de dissipar a energia ao longo da adutora, a perda de carga seria reduzida para que a pressão disponível na chegada da estação de tratamento ou de um reservatório fosse maior, gerando mais energia elétrica. Assim, a mesma perda de carga observada ao longo da adutora se tornaria uma perda localizada na turbina, gerando benefícios ao sistema. Porém existe um limite econômico onde o aumento do diâmetro da adutora não gera benefícios ao sistema, já que a redução da perda de carga não é tão significativa.

Portanto, este trabalho propõe uma nova metodologia para dimensionamento de adutoras por gravidade considerando-se a oportunidade de Microgeração. A proposta é obter o máximo benefício líquido, que é o resultado entre a diferença da energia elétrica gerada e o custo adicional para a implantação da adutora devido ao aumento do diâmetro. A metodologia foi aplicada na cidade de Cruzeiro/SP, que possui duas adutoras de água bruta que apresentam perda de carga da ordem de 50 %. Os resultados mostraram que o sistema poderia se beneficiar caso o projeto tivesse sido feito considerando a oportunidade da Microgeração.

METODOLOGIA

A metodologia proposta para o dimensionamento de adutoras consiste em maximizar a função objetivo L , definida como a diferença entre a economia de energia obtida através da Microgeração, EE , e os investimentos adicionais relativos ao custo da tubulação de maior diâmetro e aos custos necessários para a construção da microcentral, IA , conforme mostra a Equação 1.

$$L = EE - IA \quad \text{equação (1)}$$

onde:

- L [R\$] – lucro;
- EE [R\$] – economia de energia total;
- IA [R\$] – investimento adicionais;

A economia de energia será uma função da potência elétrica gerada, P_{el} , ao longo da vida útil da microcentral, da tarifa de energia praticada, T e do seu tempo de funcionamento, t (Equação 2). Neste caso foi considerada uma vida útil de 30 anos, uma tarifa de R\$ 0,32 por kWh (valor praticado atualmente) e uma disponibilidade

de operação de 90% (os 10% restantes do tempo são utilizados para manutenção e possíveis imprevistos). Para que possa ser feita a comparação com o investimento adicional, utilizou-se o valor presente líquido (VPL).

$$EE = P_{el} \cdot T \cdot t \quad \text{equação (2)}$$

onde:

- EE [R\$] – economia de energia total;
- P_{el} [kW] – potência elétrica da microcentral;
- T [R\$/kWh] – tarifa de energia;
- t [h] – tempo de operação da microcentral em um ano;

A potência elétrica gerada será calculada de acordo com os dados de vazão, Q , altura disponível, H , e rendimento do grupo gerador, η (Equação 3). A vazão e o rendimento do grupo gerador serão constantes, enquanto que a altura disponível é calculada através da diferença entre a queda bruta, H_b , e a perda de carga ao longo da adutora, ΔH (Equação 4). Como seu comprimento é maior que 4.000 vezes seu diâmetro, foram desprezadas as perdas de carga localizadas (Azevedo Netto, 1998). De acordo com a recomendação feita pela NBR 12215 (1991) para dimensionamento de adutoras, optou-se pelo uso da fórmula universal para o cálculo da perda de carga.

$$P_{el} = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad \text{equação (3)}$$

$$H = H_b - \Delta H = H_b - f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{equação (4)}$$

onde:

- EE [R\$] – economia de energia total;
- P_{el} [kW] – potência elétrica da microcentral;
- Q [m³/s] – vazão turbinada;
- H [m] – altura disponível;
- η [1] – rendimento do grupo gerador;
- H_b [m] queda bruta;
- f [1] – fator de atrito;
- L [m] – comprimento da adutora;
- D [m] – diâmetro da adutora;
- v [m/s] – velocidade média do escoamento na adutora;
- g [m/s²] – aceleração da gravidade;

A parcela dos investimentos adicionais é uma função do custo da tubulação, C_d , que depende do diâmetro da tubulação, D , e dos custos da microcentral, C_m , que depende da potência da microcentral, P_{el} . O custo da tubulação utilizado foi de R\$ 5.000,00 por tonelada, enquanto que os custos da microcentral foram obtidos através de uma curva empírica (Figura 1). Ressalta-se que optou-se pelo uso de bombas funcionando como turbina para reduzir os custos de implantação da microcentral (Viana e Ricardo, 2007 e Lima, 2013)

$$IA = f(C_d, C_m) \quad \text{equação (5)}$$

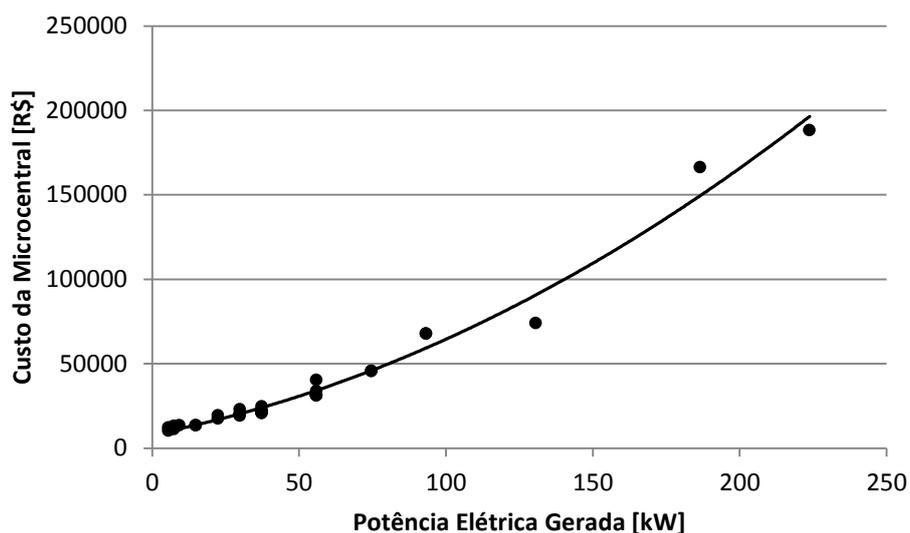


Figura 1: Curva de custos da microcentral (Fonte: adaptado de Ricardo, 2007)

RESULTADOS

Para avaliar a metodologia proposta, foi feito o estudo na cidade de Cruzeiro/SP. O sistema conta com três estações de tratamento. O estudo foi realizado na estação principal, que abastece 60% da população. Neste subsistema a água é captada no rio Batedor e conduzida através de um canal à uma pequena estação de tratamento, utilizada apenas na época de chuvas intensas para clarificação. Em seguida a água é conduzida à uma câmara de carga de onde saem duas adutoras, uma de 10” e outra de 12” para a ETA Avelino Júnior, onde será implantada a microcentral. A Figura 2 apresenta um esquema deste sistema.

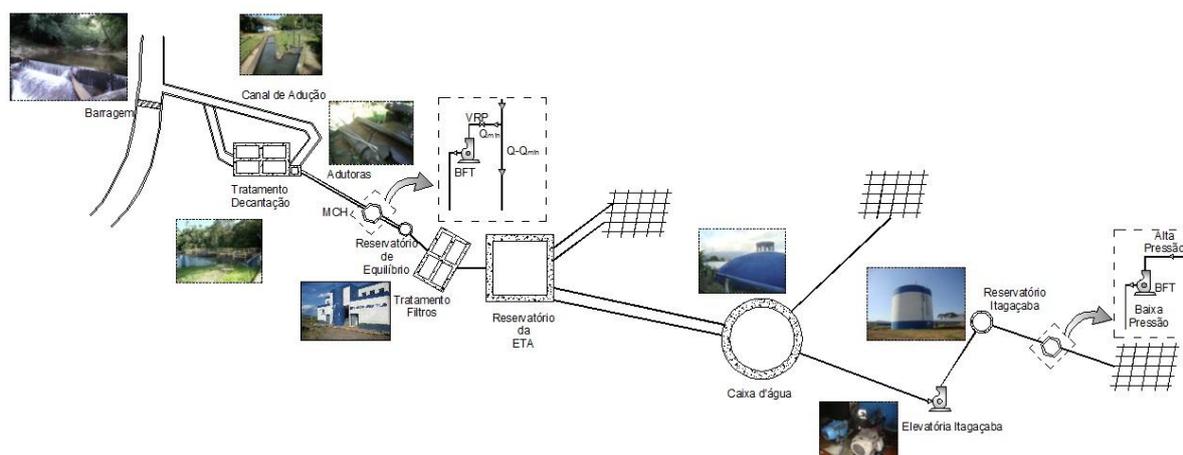


Figura 2: Esquema do sistema de abastecimento de Cruzeiro

A queda bruta existente no local é de 122 m, e o comprimento da tubulação é de 9.978 m, como mostra a Figura 3.

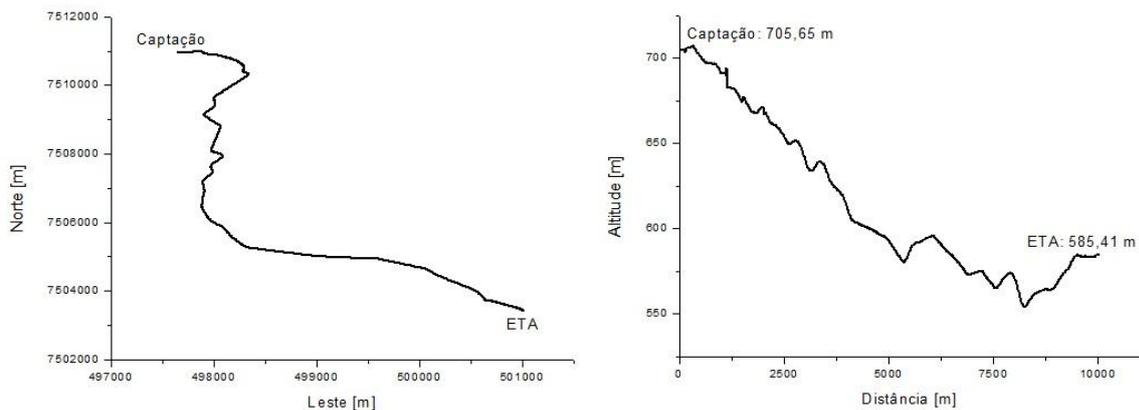


Figura 3: Perfil transversal e longitudinal das adutoras

Atualmente, a queda disponível para a tubulação de 10'' é de 31 m e para a tubulação de 12'' de 61 m. Após realizar a otimização do diâmetro da adutora, aumentando-se em apenas 50 mm cada uma das adutoras, as quedas disponíveis passariam para 80 e 90 m respectivamente. Isto representa uma benefício adicional médio de R\$ 105.852 por ano, com o retorno do investimento adicional ocorrendo após 6 anos de operação. As Figuras 4 e 5 apresentam os gráficos para a obtenção do diâmetro ótimo das duas adutoras. As curvas de benefício líquido representam a diferença entre a economia de energia gerada e o investimento adicional necessário para que haja um aumento da queda disponível e consequentemente da potência gerada. Como a curva do sistema (perda de carga) é uma função dependente do diâmetro à quinta potência, chega-se rapidamente a um ponto onde o aumento do diâmetro da adutora não implica uma redução significativa da perda de carga. A partir daí, o investimento adicional não se justifica economicamente, havendo uma queda no benefício líquido.

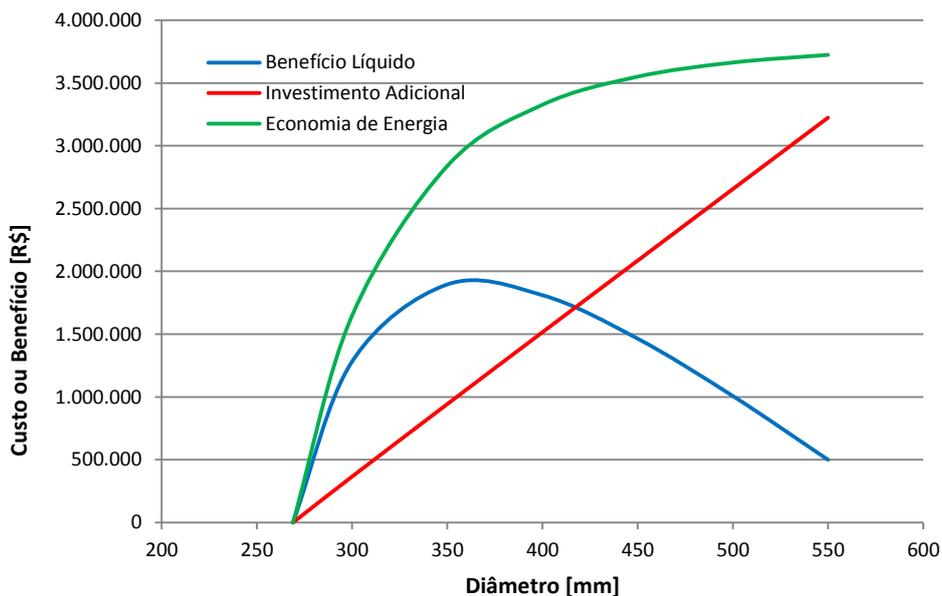


Figura 4: Curva de otimização da tubulação de 12''

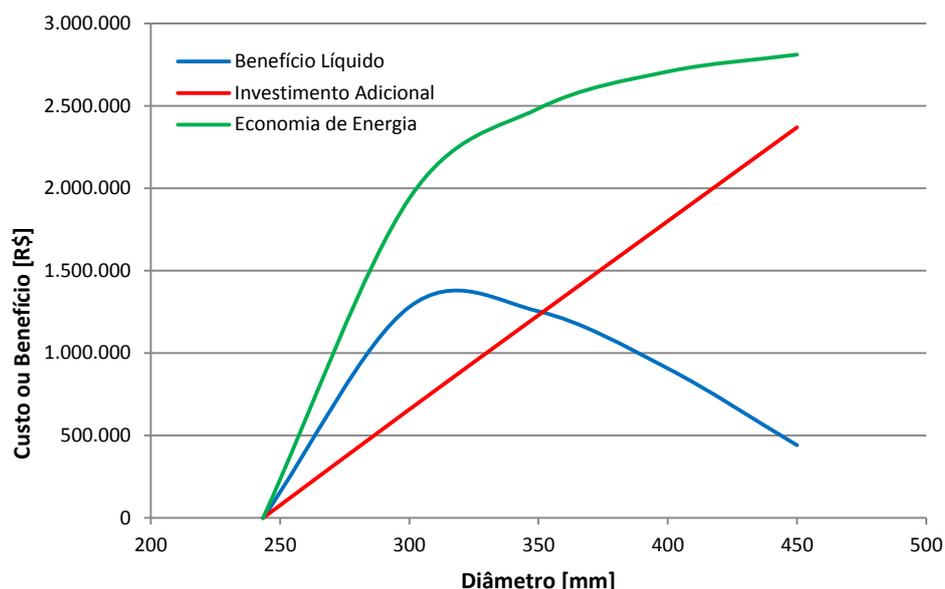


Figura 5: Curva de otimização da tubulação de 10”

CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma nova proposta para dimensionamento de adutoras por gravidade. A busca pelo custo mínimo não necessariamente é aquela que tem maior atratividade econômica. Se for considerada a Microgeração em conjunto com a adução de água, pode ser obtido um benefício adicional. Assim, o diâmetro da adutora poderá ser aumentado com o objetivo de reduzir as perdas de carga e aumentar a queda disponível, aumentando a energia gerada pela microcentral. Entretanto, este aumento deve ser feito de tal forma que o benefício líquido seja máximo, já que em certo ponto, o aumento da potência gerada é pequeno quando comparado com os investimentos necessários. Assim, a metodologia proposta é baseada na maximização do benefício líquido, resultado da diferença entre a economia de energia e os custos adicionais necessárias. Quando aplicada em Cruzeiro/SP, que possui uma adutora de grande extensão, a metodologia se mostrou bastante eficaz, mostrando que poderiam ser obtidos grandes benefícios com a implantação da microcentral. Locais onde a perda de carga é elevada e o comprimento da adutora não é tão grande podem ter benefícios ainda maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12215 (NB 591) – “Projeto de Adutora de Água Para Abastecimento Público”, 1991.
2. AZEVEDO NETTO, J. M. et al, “Manual de Hidráulica”, 8ª Ed., Editora Edgard Blucher, 670 p., 1998.
3. BARDALES, K. L. N., “Otimização Energética da Operação de um Sistema Adutor de Água Tratada Utilizando Algoritmos Evolucionários Multiobjetivo”. 132 p. Dissertação (Pós-graduação em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2007.
4. FORMIGA, K. T., CHAUDHRY, F. H. VIEIRA, M. E., “Otimização Multiobjetivo de Redes de Abastecimento de Água”, VI Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa, 2006.
5. GOMES, H. P., “Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias”. 3ª edição, 277 p., Editora Universitária – UFPB, João Pessoa, 2009.
6. LIMA, G. M., “Microgeração em Sistemas de Abastecimento de Água”. 86 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia da Energia) - Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.
7. Odan, F. K., “Estudo de Confiabilidade Aplicado à Otimização da Operação em Tempo Real de Redes de Abastecimento de Água”. 209 p. Tese (Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

8. RICARDO, M., “Estudo de Grupos Moto-Bomba Operando como Grupos Geradores em Microcentrais Hidrelétricas”. 240 p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia da Energia) - Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
9. TSUTIYA, M. T., “Abastecimento de Água”, 1ª edição, 644 p., Editora ABES, 2006.
10. VIANA, A. N. C.; RICARDO, M., “Microcentrais Hidrelétricas Utilizando Bombas Funcionando como Turbina e Motores de Indução como Gerador – Simplicidade e Baixo Custo para a Eletrificação Rural”. XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Bonito –MS, 2007.