

Dimensionamento de Biodigestores Batelada através do Método Primal Dual Barreira Logarítmica

Márcia A. Zanoli Meira e Silva¹

Departamento de Computação, UNESP, Bauru, SP

Helenice de Oliveira Florentino Silva²

Departamento de Bioestatística, UNESP, Botucatu, SP

Isabella Lombardo Alvarez³

Departamento de Computação, UNESP, Bauru, SP

Resumo. A busca por economia de energia e a preocupação com o meio ambiente faz com que os produtores rurais se interessem cada vez mais pelo uso de biodigestores, pois através da fermentação anaeróbica dos dejetos animais além de fornecer biogás e biofertilizantes proporcionam um destino adequado a estes dejetos. Para que um biodigestor seja eficiente e satisfaça as necessidades do produtor rural alguns cuidados devem ser tomados durante seu dimensionamento. Este trabalho apresenta um software que auxilia no dimensionamento de biodigestores do modelo batelada. O aplicativo trata o dimensionamento como um problema de programação não linear irrestrito e utiliza o método primal dual barreira logarítmica para determinar os principais parâmetros para o dimensionamento. Seu desenvolvimento faz uso das plataformas *free* Java e NetBeans e complementa um estudo para os biodigestores indiano e chinês. Os resultados obtidos são melhores que os obtidos por outras duas metodologias utilizadas para comparação, além de usar apenas tecnologias *open source* tornando-o acessível a qualquer produtor.

Palavras-chave. Biodigestores Batelada, Método Primal Dual Barreira Logarítmica, Software

1 Introdução

O setor agropecuário brasileiro encontra-se em crescimento e como consequência aumentando a produção de dejetos animais e restos de cultura. Este aumento de dejetos é foco de preocupação dos produtores, pois se não descartados corretamente podem causar danos ao meio ambiente. Visando resolver o problema de descarte de dejetos e ainda produzir energia sustentável para sua propriedade o uso de biodigestores tem despertado interesses no setor.

Os biodigestores utilizam os dejetos animais como matéria prima e, através da fermentação anaeróbica, produzem biogás e biofertilizantes. O biogás é rico em metano e

¹marciazm@fc.unesp.br

²helenice@ibb.unesp.br

³isabella.lombardo@hotmail.com

pode ser utilizando como fonte de energia para abastecer a propriedade rural minimizando o custo de energia. Por sua vez, o biofertilizante consiste no resíduo da matéria orgânica após a fermentação sendo utilizado como adubo. Assim, os biodigestores tornam-se uma alternativa viável tanto para o destino dos dejetos animais quanto para a minimização de custo de energia e adubos.

Para a construção de um biodigestor que satisfaça as necessidades do produtor os cálculos de seu dimensionamento consideram o tipo e a quantidade de matéria prima (dejeito) existentes na propriedade, o consumo de energia diário que deve suprir e quais aparelhos farão uso dessa energia (motores, iluminação, cozimento, entre outros). Cada matéria prima possui um fator de rendimento obtido em laboratório ou adquirido na literatura.

Uma metodologia sistematizada e complexa para determinar os parâmetros principais para o dimensionamento de biodigestores, a altura (H) e o diâmetro (D), é apresentada em [4]. Outros parâmetros são necessários para o dimensionamento, porém dependem da altura e do diâmetro, e devem satisfazer restrições e equações interdependentes, chamadas aqui de relações fundamentais.

Dentre as várias técnicas encontradas na literatura uma abordagem interessante para esse problema de dimensionamento é o uso da programação não linear, entre elas destaca-se o modelo apresentado em [3]. O modelo tem como função objetivo minimizar o volume do biodigestor e suas restrições correspondem as relações fundamentais propostas em [4].

Visando complementar o estudo realizado anteriormente para os biodigestores indiano e chinês, este trabalho apresenta um software para dimensionar um biodigestor do modelo batelada utilizando uma nova abordagem do modelo de [3]. A abordagem proposta transforma o modelo restrito em um modelo irrestrito utilizando o método Primal Dual Barreira Logarítmica. O desenvolvimento deste software faz uso apenas de ferramentas gratuitas.

2 Biodigestores

De acordo com o tipo de abastecimento os biodigestores são classificados em contínuo (modelos indiano e chinês) ou batelada. Nos biodigestores contínuos a sua alimentação, isto é o fornecimento dos desejos, é realizada periodicamente em pequenos intervalos de tempos. No modelo batelada, foco deste estudo, seu abastecimento é realizado de uma só vez e mantido fechado por um período conveniente, para que ocorra a fermentação da matéria orgânica ([2]).

De acordo com [4], o biodigestor modelo batelada é composto por um corpo cilíndrico, um gasômetro flutuante e uma estrutura para guia do gasômetro, que poderá ser um sistema de travas e roldanas. Sua instalação pode ser apenas um tanque anaeróbio ou vários tanques em série. Este modelo é utilizado quando a biomassa fica disponível em períodos mais longos, como no caso das avícolas de corte que disponibilizam sua biomassa após a venda dos animais e limpeza do galpão. No modelo batelada a produção de biogás ocorre na forma de picos, seu abastecimento é de uma só vez e seu tempo de fermentação é relativamente longo.

A Figura 1 ilustra este tipo de biodigestor com seus parâmetros fundamentais.

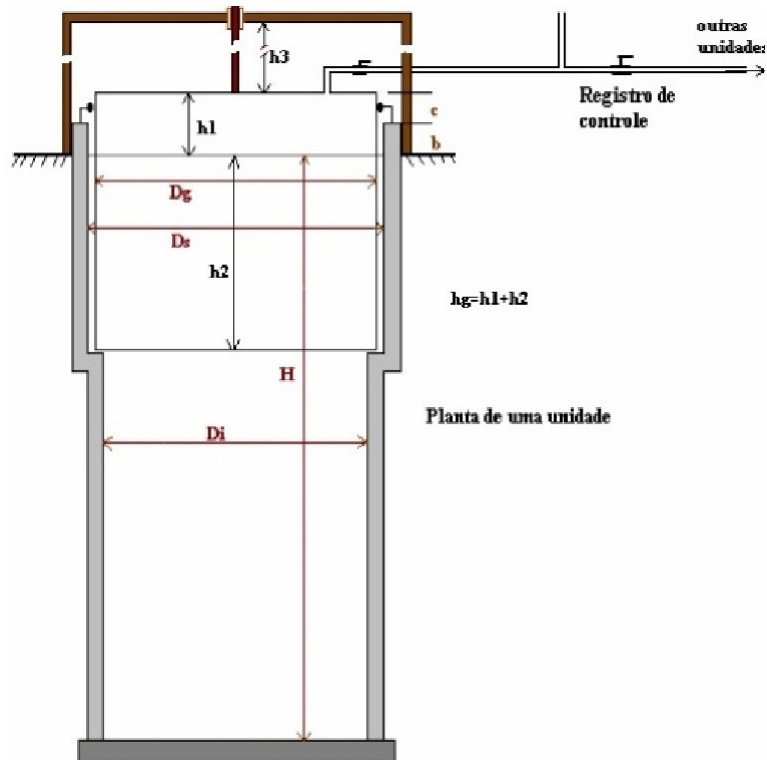


Figura 1: Vista frontal de um biodigestor modelo batelada.

Os parâmetros apresentados na Figura 1 são definidos como:

- H:** altura do nível do substrato;
- D_i** diâmetro interno do biodigestor;
- D_g** : Diâmetro do gasômetro;
- D_s** : diâmetro interno da parede superior;
- h_1** : altura ociosa do gasômetro;
- h_2** : altura útil do gasômetro;
- h_3** : altura livre para o deslocamento do gasômetro;
- h_g** : altura do gasômetro;
- b:** altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;
- c:** altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

A Figura 2 mostra a representação tridimensional, em corte, do interior do biodigestor.

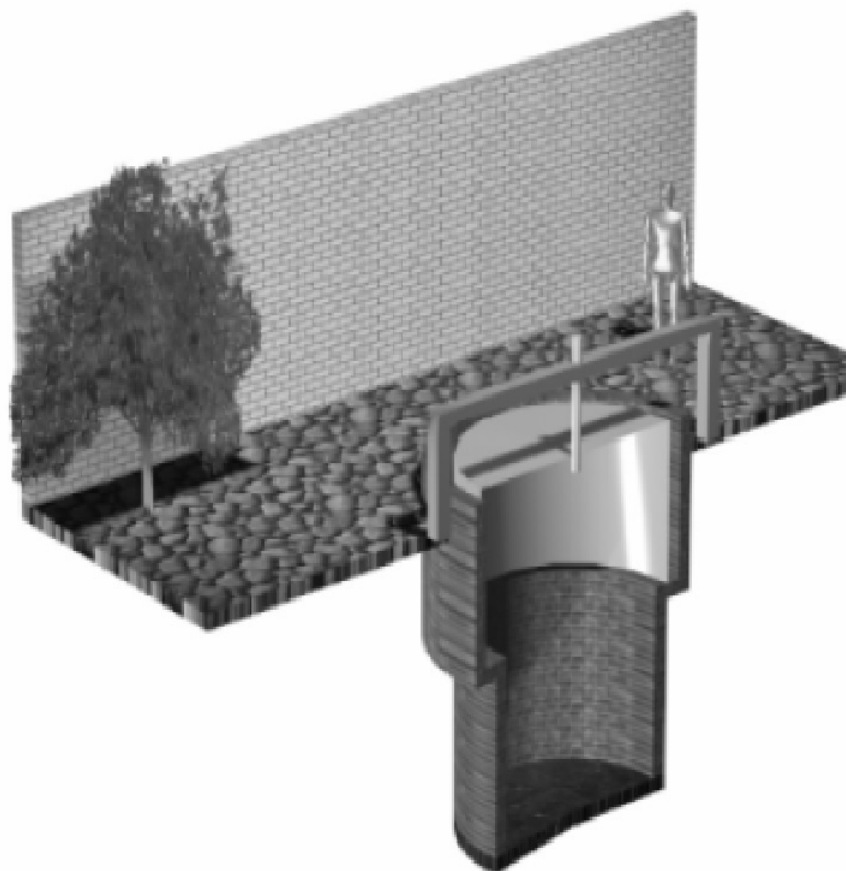


Figura 2: Corte tridimensional do biodigestor do modelo batelada.

3 Modelo Matemático

Em [4] tem-se uma metodologia para o dimensionamento de biodigestores rurais, sem o uso de agitadores, aquecedores e controladores de temperatura, que atende uma demanda energética máxima de $25m^3$ de biogás por dia. Esta metodologia, chamada aqui de “tentativa e erro”, consiste em atribuir valores iniciais para o diâmetro interno (D) e a altura (H) do biodigestor. Na sequência verifica-se se esses valores satisfazem algumas relações fundamentais que garantam a eficiência do biodigestor. Caso não satisfaçam tais relações altera-se o valor de H e repete-se o processo até que as relações fundamentais sejam satisfeitas. Desta forma, nota-se que tal metodologia pode tornar o processo lento e complexo.

Uma alternativa capaz de determinar esses parâmetros fundamentais de forma mais eficiente é proposta por [3]. A proposta é um modelo de programação não linear cujas variáveis são a altura H e o diâmetro D . Para um biodigestor batelada o modelo é dado por:

$$\text{Minimizar } \frac{\Pi}{4} D^2 H \tag{1}$$

sujeito a:

$$\frac{\Pi}{4} D^2 H \geq VD \tag{2}$$

$$H - D \geq 0 \tag{3}$$

$$0.6H - D \leq 0 \tag{4}$$

$$0 < H < 6 \tag{5}$$

sendo:

H: a altura do nível do substrato (m);

D: o diâmetro interno do biodigestor (m);

VD: o volume do substrato que deve ser colocado no biodigestor (m³).

A função objetivo (1) representa o volume útil do biodigestor. Assim D e H são determinados de forma a minimizar este volume. A equação (2) determina a energia necessária e as relações de desempenho são representadas pelas equações de (3) a (5). A nova abordagem apresentada neste trabalho transforma este modelo não linear restrito em um modelo irrestrito através do método Primal Dual Barreira Logarítmica, ou seja, acrescentando as restrições à função objetivo com o uso de um parâmetro de barreira. Assim, o modelo de [3] para o biodigestor batelada (equações de (1) a (5)) pode ser escrito como um problema não linear irrestrito dado por:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } V = & \frac{\Pi}{4} D^2 H - \mu (\ln(s_1) + \ln(s_2) + \ln(s_3) + \ln(s_4) + \ln(s_5)) + \\ & \Pi_1 \left(VD - \frac{\Pi}{4} D^2 H + s_1 \right) + \Pi_2 (D - H + s_2) + \Pi_3 (0.6H - D + s_3) + \\ & \Pi_4 (-H + s_4) + \Pi_5 (H - 6 + s_5) \end{aligned} \tag{6}$$

4 Aplicação

Com o uso do algoritmo PDBL de [1] e das ferramentas computacionais *open source* Java e NetBeans desenvolveu-se um software com o objetivo de resolver o modelo representado pela equação (6).

Visando a utilização do software em propriedades rurais onde a conexão com a internet pode ser ruim ou não existir, o aplicativo foi desenvolvido em desktop. A utilização das ferramentas Java e NetBeans justifica-se por atenderem essa necessidade, além de serem gratuitas e se adequarem a qualquer sistema operacional.

Para teste do software utilizou-se os dados apresentados em [4]. Sabe-se que a propriedade utiliza resíduos de bovino disponíveis a cada 65 dias com 85.5% de sólidos totais. A

necessidade diária de biogás é de $15m^3$ com pico de consumo de $10m^3$ e o substrato possui 8% de sólidos totais. A pressão máxima do biogás necessária é de 20 c.c.a.

Todos os métodos necessários para o desenvolvimento do software aqui proposto foram desenvolvidos utilizando-se apenas tecnologias *open source* e processados em um micro-computador i7-3770 com 8GB de RAM.

A tela de saída do software mostra a figura do biodigestor representada na Figura 1 e os valores obtidos para a altura H, o diâmetro D e alguns parâmetros necessários para o seu dimensionamento que dependem das variáveis H e D. Para uma melhor visualização, a Figura 3 mostra apenas a parte da tela referente aos valores obtidos.

Valor das Variáveis	
Diâmetro Interno do Biodigestor (Di):	3,884 m
Altura do nível do substrato (H):	4,732 m
Diâmetro Interno da parede superior (Ds):	4,084 m
Diâmetro do Gasômetro (Dg):	3,984 m
Altura ociosa do Gasômetro (h1):	0,300 m
Altura útil do Gasômetro (h2):	0,418 m
Altura livre para o deslocamento do Gasômetro (h3):	0,500 m
Altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato (b):	0,200 m
Altura do Gasômetro acima da parede do Biodigestor (c):	0,100 m
Altura do Gasômetro (hg):	0,718 m
Volume útil da Unidade Biodigestora (Vd):	56,063 m ³

Figura 3: Valores dos parâmetros obtidos pelo software.

5 Conclusões

O modelo de [3] é resolvido com os mesmos dados de [4] utilizando o PROC NLP do módulo OR do Sistema SAS, que é uma ferramenta paga.

A Tabela 1 apresenta, para o biodigestor modelo batelada, os valores obtidos para a altura H e o diâmetro D pelo método de "tentativa e erro" [4], pela abordagem não linear restrita de [3] e pelo software proposto neste trabalho.

Tabela 1: Comparação dos valores D, H e o volume de um biodigestor modelo batelada.

Modelos	D	H	V
Tentativa e Erro [4]	3.800	5.000	56.706
Modelo Restrito [3]	3.814	4.908	56.073
Proposto	3.884	4.732	56.065

Como V é o volume a ser minimizado dado por $\frac{\pi}{4}D^2H$, observa-se que o valor obtido pela metodologia apresentada neste trabalho é melhor que o obtido pelas metodologias consideradas.

Comparando os volumes obtidos pela metodologia nova e pela metodologia de "tentativa e erro" observa-se que o primeiro é 1.130% menor que o segundo. Outra vantagem é que os cálculos são desenvolvidos pelo sistema de forma rápida e segura.

A redução do volume obtido pelo software em relação ao valor de [3] é de apenas 0.014%, porém sua grande vantagem é que o aplicativo foi desenvolvido sem a necessidade do uso da internet e, principalmente, com tecnologias *free*, tornando-o acessível aos produtores rurais.

Referências

- [1] E. C. Baptista, E. A. Belati, V. A. Sousa, and G. R. M. Costa. Primal-Dual Logarithmic Barrier and Augmented Lagrangian Function to the Loss Minimization in Power Systems. *Electric Power Components and Systems*, 34:7, 775-784, 2006.
- [2] M. Benincasa, A. F. Ortolani e J. Lucas Júnior. Biodigestores convencionais? Jaboticabal: FCAV, UNESP, 1991. 25p.
- [3] H. O. Florentino. Mathematical tool to size rural digesters. *Scientia Agricola*, 2014. v. 60, n.1, p. 185-190, 2003.
- [4] A. F. Ortolani, M. Benincasa e J. Lucas Júnior. J. Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada. Jaboticabal: FCAV, UNESP, 1991. 35 p.