

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO  
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**WELLINGTON CARLOS MASSOLA**

**USO DA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR PARA O  
DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES INDIANOS**

**BAURU – SP**

**2015**

**WELLINGTON CARLOS MASSOLA**

**USO DA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR PARA O  
DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES INDIANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina Projeto e Implementação de Sistemas do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Márcia A. Zanolli  
Meira e Silva

BAURU – SP

2015

**WELLINGTON CARLOS MASSOLA**

## **USO DA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR PARA O DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES INDIANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina Projeto e Implementação de Sistemas do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia A. Zanolli Meira e Silva

Prof. Dr. João Pedro Albino

Prof. Dr. Aparecido Nilceu Marana

## **RESUMO**

Com o avanço da agropecuária no Brasil o gasto energético e o crescimento da geração de dejetos animais se tornaram um problema, pois podem prejudicar o meio ambiente caso sejam descartados incorretamente. Com o uso de biodigestores é possível transformar esse resíduo em biogás e biofertilizante, o que contribui para economizar energia e diminuir expressivamente os problemas relacionados ao descarte. Visando facilitar a construção de biodigestores esse trabalho tem por objetivo desenvolver um software, através da plataforma Java e do NetBeans, que determina os parâmetros essenciais para o dimensionamento de um biodigestor indiano de qualidade. O modelo de um biodigestor indiano foi analisado considerando-se técnicas de programação não linear para problemas restritos, conforme modelagem de Florentino (2003), seguindo a metodologia de Ortolani et al. (1991), complementando o trabalho de Matuyama (2015). Como resultado pode-se destacar que os parâmetros obtidos são melhores que os apresentados em Portes & Florentino (2006) e Matuyama (2015), além de utilizar ferramentas gratuitas. Assim, o software poderá ajudar o setor rural a reduzir seus gastos e dar uma destinação adequada aos seus dejetos.

Palavras-chave: Biodigestores, programação não linear, software de otimização.

## **ABSTRACT**

With the development of agriculture in Brazil, the energy expenditure and the growing generation of animal waste have become a problem, once they can harm the environment if they are disposed incorrectly. The use of digesters can turn this residue into biogas and bio-fertilizer, which helps to save energy and reduce significantly the problems related to disposal. To facilitate the construction of bio-digesters this study aims to develop software through the Java platform and also NetBeans, that determines the essential parameters for the design of an Indian digester with quality. The model of an Indian digester was analyzed considering non-linear programming techniques to restricted problems as modeling Florentino (2003), following the methodology of Ortolani et al. (1991), complementing the work Matuyama (2015). As result can be noted that the parameters obtained are better than those presented in Florentino (2003) and Matuyama (2015), besides using free tools. Therefore, the software can help the rural sector to reduce their spendings and give an appropriate destination for their waste.

**Keywords:** digesters, nonlinear programming, optimization software.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Corte Frontal em um Biodigestor Modelo Indiano .....	10
Figura 2 - Entrada de Dados .....	20
Figura 3 - Entrada de Horários de Funcionamento .....	21
Figura 4 - Resultados .....	22
Figura 5 - Valores dos parâmetros obtidos pela resolução do software .....	22

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	9
1.1.2 Objetivos específicos .....	9
<b>2 DETALHAMENTO DO PROBLEMA .....</b>	<b>10</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>14</b>
3.1.1 Plataforma Java.....	14
3.1.2 Java Development Kit.....	14
3.1.3 NetBeans .....	14
<b>3.2 Métodos .....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Resolução de Sistemas Lineares .....	15
3.2.2 Método de Newton para Otimização .....	15
3.2.3 Método da Barreira .....	16
3.2.4 Método Primal Dual Barreira Logarítmica .....	16
<b>4 DESCRIÇÃO DO PROJETO.....</b>	<b>19</b>
4.1 Encontrando a Função Irrestrita.....	19
4.2 Sistema Computacional Desenvolvido .....	19
4.2.1 Janela de Entrada de Dados .....	19
4.2.2 Janela para Entrada dos Horários de Uso de Energia .....	20
4.2.3 Janela de Resultados.....	21
4.3 Procedimentos de Teste e Validação do Projeto .....	23
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor rural é muito grande no Brasil e produz grandes quantidades de dejetos animais cujo descarte é um problema, pois se não for realizado de forma correta pode causar sérios danos ao meio ambiente. Por outro lado, fatores como o crescente custo de energia fizeram com que esses dejetos fossem vistos como uma solução econômica para a geração de energia, isso porque, através da biodigestão anaeróbia o uso de tais dejetos pode gerar biogás e biofertilizante, economizando energia e minimizando os problemas com seu descarte.

Segundo Benincasa et al. (1991) e Nogueira (1986) os biodigestores podem ser classificados como contínuos, que possuem uma alimentação de biomassa programada para intervalos de tempo menores como diariamente, por exemplo, gerando energia para suprir as necessidades diárias da propriedade agrícola (os modelos indiano e chinês são contínuos), ou, ainda, os biodigestores podem ser classificados como batelada que são abastecidos de uma só vez e esvaziados após um período conveniente de fermentação.

Apesar das vantagens do uso de biodigestores, para que eles sejam eficientes seus dimensionamentos precisam ser corretos. O processo de obtenção desses dados, em especial a altura e o diâmetro, é complexo (ORTOLANI et al. 1991) e qualquer erro nos cálculos pode dificultar o uso dos biodigestores.

Visando resolver esse problema Florentino (2003) propôs modelos matemáticos não lineares baseados na teoria de Ortonali et al. (1991) usados por Portes & Florentino (2006) para desenvolver um software, utilizando métodos de programação não linear com a ferramenta Matlab. Embora apresente um ótimo desempenho este software possui o inconveniente de ser desenvolvido utilizando uma plataforma com licença paga de custo elevado. Além disso, os modelos de Florentino (2003) são modelos não lineares restritos e a plataforma utilizada por Portes & Florentino (2006) possui uma rotina interna que transforma tais modelos em não lineares irrestritos sem especificar qual método tal rotina utiliza, apenas menciona ser um método da classe Quasi-Newton.

Com o objetivo de minimizar o custo do software e evitar os erros no dimensionamento, Matuyama (2015) desenvolveu um sistema na linguagem Java utilizando-se apenas da metodologia de Ortolani et al. (1991), que consiste em calcular os parâmetros necessários para o dimensionamento de um biodigestor indiano tendo em vista apenas uma metodologia baseada em “tentativa e erro”.



## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Desenvolver uma ferramenta que calcule os parâmetros necessários para o dimensionamento de biodigestores indianos utilizando técnicas de programação não linear para problemas restritos seguindo a metodologia de Ortolani et al. (1991) e a modelagem de Florentino (2003). Desta forma este trabalho complementa o trabalho de Matuyama (2015).

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Aprofundar o conhecimento sobre métodos de otimização por meio de uma revisão detalhada do conteúdo estudado nas disciplinas de Pesquisa Operacional e buscar mais informações.
- Entender o funcionamento do método Primal Dual Barreira Logarítmica (PDBL).
- Utilizar o método PDBL para remover as restrições do problema tornando-o irrestrito.
- Criar um programa que retorne o resultado de forma eficiente com base nas informações de Ortolani et al. (1991).
- Realizar testes para assegurar o funcionamento do programa.

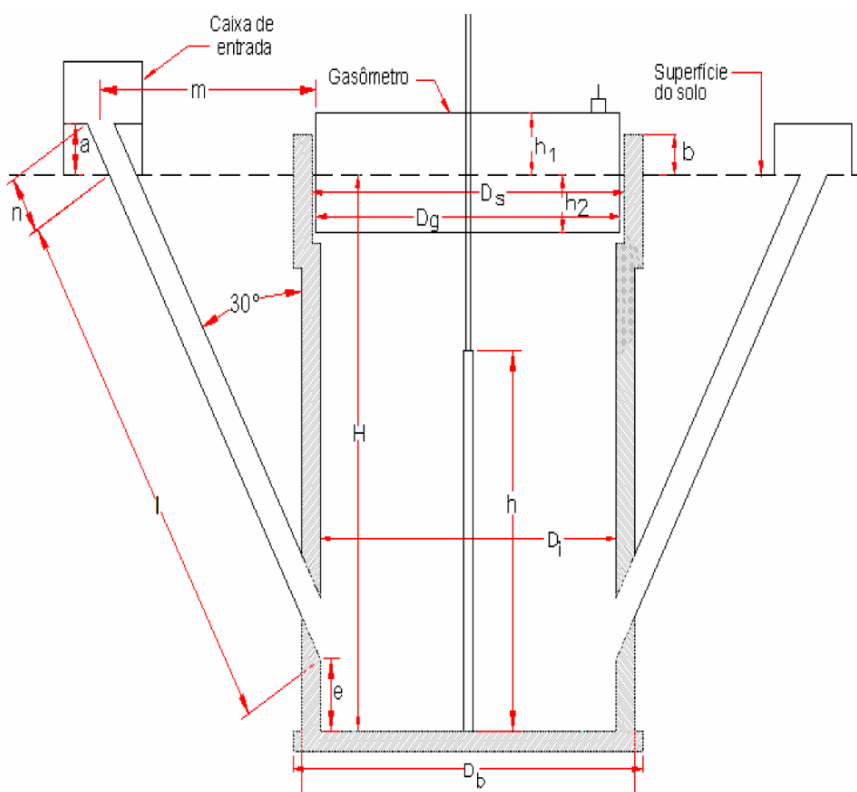
## 2 DETALHAMENTO DO PROBLEMA

Dos três modelos de biodigestores mais utilizados no Brasil – indiano, chinês e batelada – este trabalho tem foco no modelo indiano.

De acordo com a Figura 1, que mostra um corte frontal em um biodigestor do modelo indiano e os parâmetros necessários para sua construção, e segundo Ortolani et al. (1991) o biodigestor indiano caracteriza-se por um corpo cilíndrico, com uma parede construída em alvenaria ou pedra separando o tanque de fermentação em duas câmaras, um gasômetro flutuante em aço e uma caixa de entrada e outra de saída.

Em 1991 Ortolani et al. desenvolveram um estudo sobre os biodigestores rurais nos modelos indiano, chinês e batelada que continua sendo referência básica para biodigestores. Nele são analisadas todas as informações necessárias para a construção dos biodigestores e utilizado o método da “tentativa e erro”. Por meio desse método são determinados os parâmetros básicos para o dimensionamento dos biodigestores: diâmetro interno e altura. Na Figura 1 pode-se observar os parâmetros básicos e vários parâmetros obtidos a partir dos parâmetros básicos que são necessários para o bom funcionamento do biodigestor.

Figura 1 – Corte Frontal em um Biodigestor Modelo Indiano



Fonte: Portes & Florentino (2006)

Na Figura 1 temos os seguintes parâmetros:

H: altura do nível do substrato	b: altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato
h: altura da parede divisória	
$h_1$ : altura ociosa do gasômetro	n: comprimento do tubo de PVC acima da superfície do solo
$h_2$ : altura útil do gasômetro	e: altura do posicionamento dos tubos de entrada e saída
$D_i$ : diâmetro interno do biodigestor	
$D_g$ : diâmetro do gasômetro	m: distância entre a parede do gasômetro e o meio da caixa de entrada
$D_b$ : diâmetro da base	
$D_s$ : diâmetro interno da parede superior	l: comprimento do tubo de PVC até a superfície do solo
a: altura do fundo da caixa de entrada	

O método da “tentativa e erro” nem sempre leva a melhor solução ou é resolvido no menor tempo, pois como o nome sugere, existe a possibilidade de refazer os cálculos várias vezes.

Para minimizar esses problemas são necessárias técnicas alternativas. Destaca-se, com resultado significativo, a alternativa proposta por Florentino (2003) e desenvolvida por Portes (2006). Tal proposta trata o problema como um problema de programação não linear restrito e será considerada neste projeto.

O modelo proposto por Florentino (2003) determina os valores do diâmetro interno ( $D$ ) e da altura ( $H$ ) que são as informações essenciais para a construção do biodigestor. Essa modelagem minimiza o volume do biodigestor satisfazendo as restrições consideradas por Ortolani et al. (1991) e assim obtém o melhor valor possível para os parâmetros básicos diâmetro e altura. Como no método da “tentativa e erro”, conhecidos esses valores essenciais é possível determinar os demais parâmetros necessários para o bom dimensionamento de um biodigestor como mostra a Figura 1.

A modelagem do biodigestor indiano, segundo Florentino (2003), é dada por:

$$\text{Minimizar } \frac{\pi}{4} D^2 H \quad (1)$$

Sujeito a

$$\frac{\pi}{4} D^2 H \geq x K B \quad (2)$$

$$D - H \leq 0 \quad (3)$$

$$D - 0,6H \geq 0 \quad (4)$$

$$3 \leq H \leq 6 \quad (5)$$

sendo:

$D$  = diâmetro interno do biodigestor (m)

$H$  = altura do biodigestor (m)

$x$  = Porcentagem mínima a ser acrescentada no volume útil do biodigestor sendo seu valor 10%

$K$  = fator de rendimento (adquirido em literatura específica)

$B$  = demanda energética diária (m<sup>3</sup>)

$K B$  = volume útil do biodigestor e obedece a relação  $2 \leq K B \leq 25$

Como já mencionado Portes & Florentino (2006) utilizaram este modelo para desenvolver um software com a ferramenta Matlab para dimensionamento de biodigestores e, apesar de ser capaz de minimizar a função, esse software tem o problema de ser desenvolvido com uma ferramenta de licença proprietária.

Sabe-se também que Matuyama (2015) desenvolveu um software com técnicas baseadas em “tentativa e erro” de Ortolani et al. (1991) com a ferramenta gratuita NetBeans, porém essa técnica usada não é a mais eficaz.

Tendo como princípio os softwares de Portes & Florentino (2006) e Matuyama (2015) este projeto visa o desenvolvimento de um novo código em uma ferramenta *open source* com técnicas de programação não linear.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Nesta seção são descritos os softwares utilizados neste trabalho.

##### 3.1.1 Plataforma Java

Segundo o site da Oracle (2016) “Java é a base para praticamente todos os tipos de aplicações em rede e é o padrão global para o desenvolvimento e distribuição de aplicações móveis e incorporadas, jogos, conteúdo baseado na Web e softwares corporativos”.

Java é rápido, seguro e confiável, além disso, uma de suas principais vantagens é a sua compatibilidade com multiplataformas, isso porque ele funciona como um conjunto de programas que permite instruções serem executadas (geralmente em *bytecode* Java), dessa forma um código gerado para a plataforma Java pode ser executado em praticamente qualquer aparelho que possua essa plataforma.

##### 3.1.2 Java Development Kit

A ferramenta Java Development Kit (JDK) é essencial para desenvolver aplicações Java, pois possui um compilador Java que gera o *bytecode* Java (código que o Java executa) além de várias ferramentas para auxiliar o desenvolvedor como checar conflitos, gerador de documentação e *debugger*, entre outras como pode ser visto no site da Oracle.

##### 3.1.3 NetBeans

NetBeans é o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (*Integrated Development Environment – IDE*) oficial para o Java. Possui editores, analisadores de código e conversores para atualizar códigos em versões antigas do Java para as mais novas.

Outra vantagem é a rápida criação de interface gráfica para os programas, de forma a diminuir a dificuldade de programação.

#### 3.2 Métodos

A metodologia proposta para o trabalho consiste em transformar o modelo restrito apresentado por Portes & Florentino (2006) em um problema irrestrito. Para isso são necessárias técnicas de programação não linear. Nesse subcapítulo são apresentados os itens que foram estudados para atender essa proposta.

### 3.2.1 Resolução de Sistemas Lineares

O método de Eliminação de Gauss para resolução de sistemas lineares consiste em transformar o sistema dado num sistema equivalente em que a matriz dos coeficientes seja triangular superior. Para isso, conforme SPERANDIO (2003), são realizadas operações elementares na matriz diversas vezes de forma a zerar todos os elementos abaixo do primeiro elemento da primeira coluna e depois do segundo elemento da segunda coluna e assim sucessivamente até obter a matriz triangular superior desejada.

Porém o método utilizado foi uma modificação do método de Eliminação de Gauss para ter uma eficiência computacional maior, esse método é o “Gauss com pivoteamento parcial sem troca de linhas” que se baseia em escolher um elemento como pivô que será o maior elemento de cada coluna e então executar as operações para zerar os outros elementos da coluna os quais a linha ainda não teve um pivô selecionado.

### 3.2.2 Método de Newton para Otimização

De acordo com Bazaraa et. al. (2006), o método de Newton otimiza a função atualizando o  $x$  para a direção  $-H(x_k)^{-1}\nabla f(x_k)$ , ou seja, o próximo  $x$  (ou  $x_{k+1}$ ) é igual ao  $x$  atual menos o produto da inversa da matriz Hessiana pelo gradiente da função ( $x_k = x_k - H(x_k)^{-1}\nabla f(x_k)$ ) e a condição de parada da busca é a norma do gradiente da função igual a zero ( $|\nabla f(x)| = 0$ ). Esse método tem uma convergência rápida em relação às iterações, mas encontrar a inversa da matriz Hessiana requer muito processamento e pode demorar. Para evitar isso como demonstrado em Silva (2014) é possível rearranjar essa atualização de  $x$ , de forma que a direção do passo seja encontrada por um sistema linear usando a matriz Hessiana e o gradiente da função. Isto pode ser feito como segue:

$$x_{k+1} = x_k - [H(x_k)^{-1}]\nabla f(x_k) \quad (6)$$

Fazendo

$$w = -[H(x_k)^{-1}]\nabla f(x_k) \quad (7)$$

tem-se

$$x_{k+1} = x_k + w \quad (8)$$

$$H(x_k)w = -\nabla f(x_k) \quad (9)$$

A equação (9) é um sistema linear que, neste projeto, será resolvido pelo método de Gauss com pivoteamento parcial sem troca de linhas mencionado na seção 3.2.1.

### 3.2.3 Método da Barreira

O método da barreira torna problemas restritos em irrestritos fazendo com que as restrições se tornem parte da função principal.

Para isso, segundo Bazaraa et. al. (2006), considerando que todas as restrições sejam do tipo  $g(x) \leq 0$ , é possível criar uma função  $\Phi(y)$  que seja adicionada a função principal, tendo  $y = g(x)$  e as seguintes propriedades:

$$\Phi(y) > 0 \text{ se } y < 0 \quad (10)$$

$$\lim_{y \rightarrow 0^-} \Phi(y) = +\infty \quad (11)$$

Dessa forma é possível aplicá-la a cada restrição  $g(x)$  e adicioná-las a função  $f(x)$  de tal forma que quando for executada uma busca dentro da região viável, o resultado será o valor ótimo da região viável.

Luenberger et. al. (2008) apresenta esses dois tipos de barreira:

Função Barreira Inversa:

$$B(x) = \sum -\frac{1}{g_i(x)} \quad (12)$$

Função Barreira Logarítmica:

$$B(x) = -\sum \ln(-g_i(x)) \quad (13)$$

O critério de parada descrito em Bazaraa et. al. (2006) é dado por  $\mu B(x) < \epsilon$  ou  $\mu * \sum \Phi(g_i(x)) < \epsilon$ , porém quando o valor  $\mu$  é muito pequeno e o valor da barreira é muito grande, o cálculo desse critério de parada pode gerar erros computacionais grandes.

### 3.2.4 Método Primal Dual Barreira Logarítmica

O método Primal Dual Barreira Logarítmica utiliza três blocos cruciais, o método de Newton para otimização irrestrita, o método de multiplicadores de Lagrange para tratar restrições de igualdade e o método de barreira de Fiacco e McCormick para tratar as restrições de desigualdade como descrito por Baptista (2014).



Considerando um problema do tipo:

$$\text{Minimizar } f(x) \quad (14)$$

Sujeito a

$$g_i(x) = 0, i = 1, \dots, m \quad (15)$$

$$h_j(x) \leq 0, j = 1, \dots, p \quad (16)$$

Para utilizar esse método, as restrições de desigualdade são transformadas em restrições de igualdade por meio da introdução de variáveis de folga ou excesso positivas:

$$\text{Minimizar } f(x) \quad (17)$$

Sujeito a

$$g_i(x) = 0, i = 1, \dots, m \quad (18)$$

$$h_j(x) + s_j = 0, j = 1, \dots, p \quad (19)$$

$$s_j \geq 0 \quad (20)$$

Será nessas variáveis  $s_j$  a aplicação da função barreira e com esses dados é construída a função Lagrangeana associada ao subproblema:

$$L = f(x) - \mu \sum_{j=1}^p \ln(s_j) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x) + \sum_{j=1}^p \pi_j [h_j(x) + s_j] \quad (21)$$

$\lambda_i$  e  $\pi_j$  são os vetores dos multiplicadores de Lagrange, denominados de variáveis duais e  $\mu$  é um número positivo que tende a zero.

Nesse problema irrestrito é possível aplicar o método de Newton

$$W \Delta d = -\nabla_d L \quad (22)$$

Sendo  $W$  a matriz Hessiana da função Lagrangeana,  $\nabla_d L$  o seu vetor gradiente e  $\Delta d = (\Delta x, \Delta s, \Delta \lambda, \Delta \pi)$  é o vetor de busca que atualiza as variáveis  $x, s, \lambda$  e  $\pi$ .

Quando o gradiente da função Lagrangeana for menor que um valor de precisão  $\varepsilon$  é verificado se as condições de Karush–Kuhn–Tucker (KKT) são satisfeitas, caso forem o valor de  $x$  é ótimo, caso contrário o  $\mu$  deve ser atualizado através de um

heurística e Newton deve ser aplicado novamente. Essa última etapa irá se repetir até achar um  $x$  ótimo para o problema.

Um ponto bom desse método é que não é necessário um ponto inicial viável para a solução inicial, mas  $s$  e  $\pi$  devem ser sempre maiores que zero e na hora da atualização de variáveis esta condição deve ser garantida através da multiplicação das partes do vetor de busca de (22)  $\Delta s$  e  $\Delta \pi$  por um  $\alpha$  diferente para cada variável que deve ser obtido através da seguinte fórmula:

$$\alpha_p^{max} = \tau \min \left\{ \frac{s}{|\Delta s|} : \Delta s < 0 \right\} \quad (23)$$

$$\alpha_d^{max} = \tau \min \left\{ \frac{\pi}{|\Delta \pi|} : \Delta \pi < 0 \right\} \quad (24)$$

O valor de  $\tau$  é igual a 0,9995.

## 4 DESCRIÇÃO DO PROJETO

### 4.1 Encontrando a Função Irrestrita

Para encontrar a função irrestrita para aplicar o método, foram seguidos os passos descritos em 3.2.4, mas como existiam restrições do tipo “maior igual”, foi necessário fazer uma transformação, passando todas as restrições para “menor igual a zero”.

Após a transformação das restrições e usando o método PDBL o problema original transforma-se em um problema irrestrito modelado como apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } L = & \frac{\pi}{4} D^2 H - \mu(\ln(s_1) + \ln(s_2) + \ln(s_3) + \ln(s_4) + \\ & \ln(s_5)) + \pi_1 \left( xKB + \frac{\pi}{4} D^2 H + s_1 \right) + \pi_2 (D - H + s_2) + \\ & \pi_3 (0,6H - D + s_3) + \pi_4 (H - 6 + s_4) + \pi_5 (3 - H + s_5) \end{aligned} \quad (25)$$

Este problema possui 12 variáveis que ao aplicar o método de Newton geram um gradiente de 12 elementos e uma matriz Hessiana 12x12.

### 4.2 Sistema Computacional Desenvolvido

O sistema computacional desenvolvido nesse trabalho possui três janelas principais, as quais são para entrada de dados e exibição de resultados.

O seu funcionamento segue a ordem de: 1) receber os dados do usuário sobre os equipamentos e o consumo de energia diário desses equipamentos; 2) receber os horários de uso desses equipamentos e 3) com essas informações retornar os dados para a construção de um biodigestor indiano que use o mínimo possível de material na sua construção e gere energia o suficiente para cumprir as necessidades energéticas diárias dos equipamentos.

#### 4.2.1 Janela de Entrada de Dados

Essa janela tem a função de permitir que o usuário preencha os dados sobre o abastecimento do biodigestor e sobre o uso diário de energia com base em alguns aparelhos mais comuns.

As informações que devem ser colocadas são: tipo de resíduo, a quantidade de pessoas que moram na propriedade, o número de lâmpadas e quantas horas eles ficam ligados por dia, a quantidade de chuveiros, a frequência de retirada dos resíduos em dias e as informações sobre a quantidade, potência e uso de motores na residência. Após esses dados serem preenchidos o usuário deve pressionar o botão “Horários de uso dos equipamentos” e depois o botão “Executar”, como mostra a Figura 2.

Existe também um botão Exemplo que tem como padrão os dados iguais ao exemplo encontrado em Ortolani et al. (1991), possibilitando a comparação com os resultados obtidos pela metodologia da tentativa e erro.

Figura 2 - Entrada de Dados

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.2.2 Janela para Entrada dos Horários de Uso de Energia

Nessa janela o usuário deve colocar os horários de maior consumo, pois considerando apenas as informações de uso diário de energia o volume do gasômetro teria de ser grande para comportar todo o biogás gerado no dia, mas isso não é necessário, pois como Ortolani et al. (1991) mostram é possível calcular o volume para suprir as necessidades considerando o consumo simultâneo da produção do biogás, sem ter perda de biogás e gastando menos com o gasômetro já que seu custo é relativamente alto.

Para isso o usuário deve preencher na tabela o ciclo diário de consumo da propriedade em relação aos horários do dia e de cada equipamento. A Figura 2 mostra essa janela.

Figura 3 - Entrada de Horários de Funcionamento

The screenshot shows a software window titled "Horários de uso de energia" with a standard Windows interface (minimize, maximize, close buttons). Inside the window, there is a header text: "Digite as informações de uso de equipamentos em diferentes intervalos de tempo". Below this is a table with 6 columns: "Horario inicio (h)", "Horario fim (h)", "Motores em uso", "Chuveiros em uso", "Lampiões acesos", and "Fogões em uso". The table contains 7 rows of data. Below the table, there are four buttons: "+1 linha", "-1 linha", "Confirmar dados", and "Exemplo".

Horario inicio (h)	Horario fim (h)	Motores em uso	Chuveiros em uso	Lampiões acesos	Fogões em uso
22	5	0	0	0	0
5	6	1	0	2	1
6	9	0	0	0	0
9	12	0	0	0	1
12	17	0	0	0	0
17	19	0	5	6	1
19	22	0	0	8	0

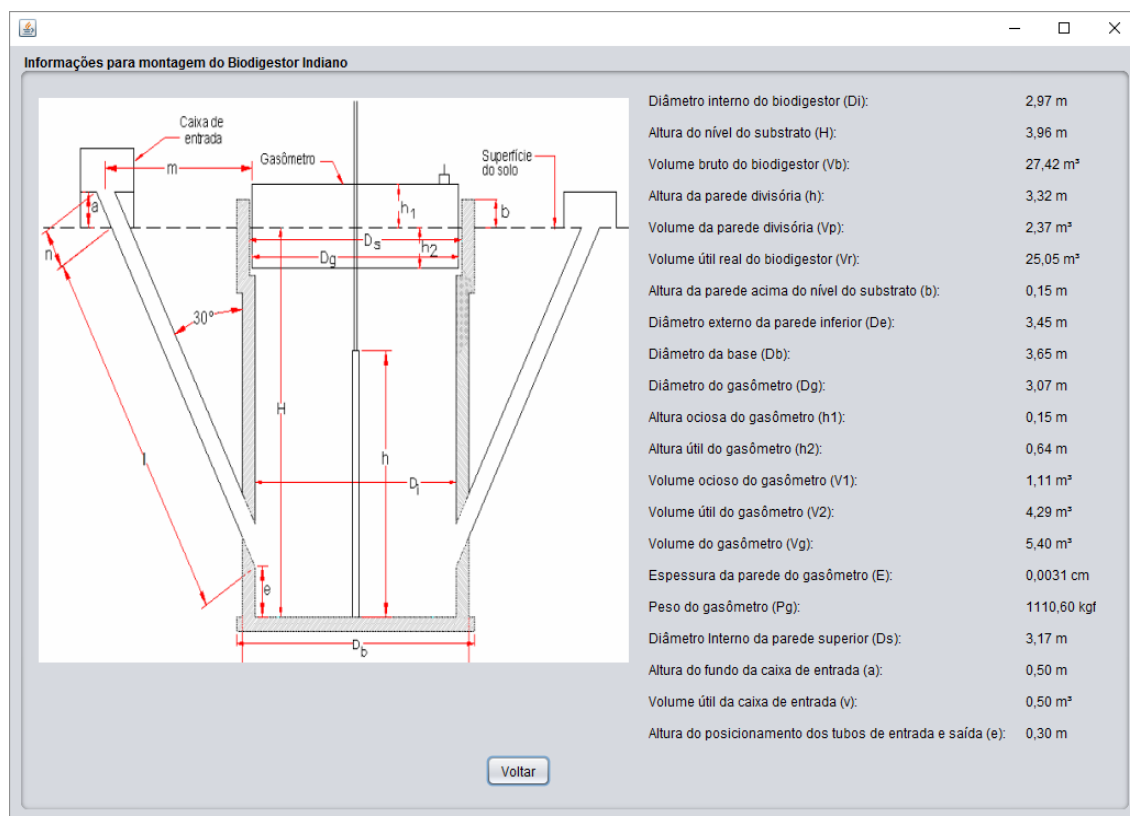
Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.2.3 Janela de Resultados

Após todos os passos das janelas anteriores serem feitos, todos os dados necessários para a construção do biodigestor são apresentados na janela da Figura 4.

Uma imagem localizada a esquerda na imagem indica as posições das variáveis do dimensionamento e a direita todos os dados sobre o biodigestor são apresentados, desde os dados necessários para o dimensionamento do mesmo, até as informações como volumes que o biodigestor construído irá possuir.

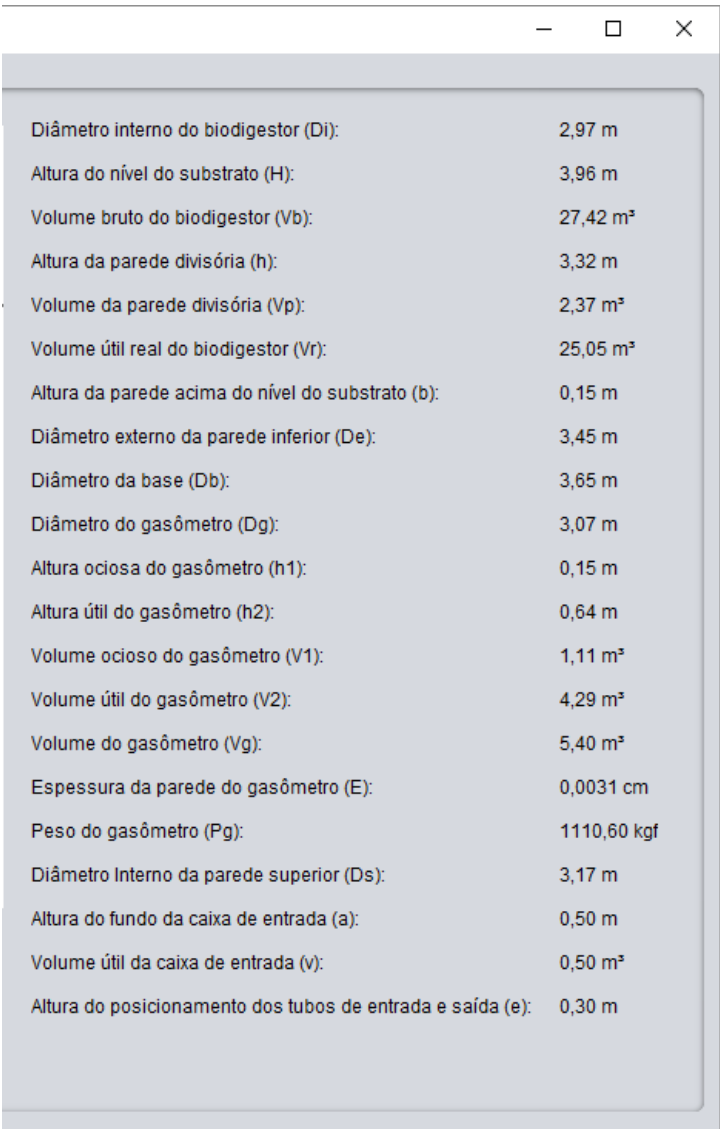
Figura 4 - Resultados



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para uma melhor visualização da Figura 4, a Figura 5 apresenta apenas os resultados obtidos pelo software – lado direito da Figura 4. O lado esquerdo da Figura 4 é igual ao mostrado na Figura 1.

Figura 5 – Valores dos parâmetros obtidos pela resolução do software



Diâmetro interno do biodigestor (Di):	2,97 m
Altura do nível do substrato (H):	3,96 m
Volume bruto do biodigestor (Vb):	27,42 m³
Altura da parede divisória (h):	3,32 m
Volume da parede divisória (Vp):	2,37 m³
Volume útil real do biodigestor (Vr):	25,05 m³
Altura da parede acima do nível do substrato (b):	0,15 m
Diâmetro externo da parede inferior (De):	3,45 m
Diâmetro da base (Db):	3,65 m
Diâmetro do gasômetro (Dg):	3,07 m
Altura ociosa do gasômetro (h1):	0,15 m
Altura útil do gasômetro (h2):	0,64 m
Volume ocioso do gasômetro (V1):	1,11 m³
Volume útil do gasômetro (V2):	4,29 m³
Volume do gasômetro (Vg):	5,40 m³
Espessura da parede do gasômetro (E):	0,0031 cm
Peso do gasômetro (Pg):	1110,60 kgf
Diâmetro Interno da parede superior (Ds):	3,17 m
Altura do fundo da caixa de entrada (a):	0,50 m
Volume útil da caixa de entrada (v):	0,50 m³
Altura do posicionamento dos tubos de entrada e saída (e):	0,30 m

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 4.3 Procedimentos de Teste e Validação do Projeto

Os testes de validação foram feitos sobre os dados encontrados em Ortolani et al. (1991) utilizando os valores de  $K = 2,5$ ,  $x = 1,1$  e  $B = 10$ . Dados esses que foram colocados com base nas mesmas entradas que Ortolani et al. (1991) supôs para seus testes.

Os valores padrões de K utilizados estão de acordo com Smith et al (1979 apud Matuyama, 2015, p.22), a saber, 3 para suíno, 1,5 para galinhas, 4,5 para gado de corte e 6 para gado leiteiro. O valor de K utilizado no exemplo é uma exceção, e está de acordo com Ortolani et al. (1991) com valor igual a 2,5.

## 5 CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido foi capaz de gerar resultados precisos através de técnicas de programação não linear com uma interface amigável e simples de ser usada, dessa forma o usuário não precisa de grande conhecimento em cálculos ou programação para conseguir gerar as informações para construir um biodigestor de forma eficiente.

A utilização de técnicas de otimização não lineares utilizadas junto com softwares gratuitos para o desenvolvimento do projeto permitiu, como resultado principal, a criação de um software capaz de realizar cálculos que seriam complicados de serem feitos manualmente sem processamento computacional. Isso tudo sem custo de uso do programa permitindo uma maior facilidade na construção de biodigestores e, assim, possibilitando que problemas de acúmulo de resíduos em propriedades rurais diminuam ao mesmo tempo em que os custos relacionados à energia para o uso diário dessas propriedades também diminuam.

Vale destacar que existem softwares que efetuam tais cálculos, mas utilizam a técnica de “tentativa e erro” ou utilizam ferramenta de licença proprietária, o que os tornam inviáveis principalmente os de licença proprietária devido ao seu custo. O sistema aqui desenvolvido além de utilizar a técnica de programação não linear faz uso de ferramentas *free*.

Como conclusão principal e considerando o exemplo de Ortolani et al. (1991) pode-se dizer que o software desenvolvido tem desempenho melhor que os dois aos quais foi comparado. O software desenvolvido por Matuyama (2015), assim como este, utiliza ferramentas *free*, porém a técnica utilizada para os cálculos é a de tentativa e erro, cujo processamento pode ser mais lento dependendo da quantidade de dados envolvidas. O software desenvolvido por Portes & Florentino (2006) utiliza a mesma técnica de programação não linear, porém faz usos de ferramentas de licença proprietária o dificultando o uso pelos produtores rurais em consequência de seu custo. Outro parâmetro a se comparar está relacionado ao volume, pois o modelo utilizado é um problema de minimização de volume. O volume obtido por Matuyama (2015) é o maior deles, seguido pelo obtido por Portes & Florentino (2006) e depois o obtido pelo software desenvolvido neste projeto. Em termos de porcentagem tem-se Matuyama (2015) 0,51% maior que o deste trabalho e 0,25% que o de Portes & Florentino (2006). Tem-se também que o volume obtido por Portes & Florentino (2006) é 0,25% maior



que o obtido no software aqui apresentado. Deve-se destacar que a diferença dos volumes é pequena, porém o exemplo utilizado envolve poucos dados.

Como contribuição a formação do autor, o estudo para o desenvolvimento deste software ajudou a aumentar o conhecimento sobre métodos de otimização e sobre programação em Java.

Como resultado final pode-se dizer que o sistema desenvolvido contribuiu para o crescimento do seu desenvolvedor, satisfaz as expectativas apresentado resultados melhores com os obtidos na literatura além de ser *free* e, poderá ajudar o setor rural a reduzir seus gastos e dar uma destinação adequada aos seus dejetos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, E. C. **Otimização não linear**. Apostila de aula, Bauru, 2014.
- BAZARAA, M. S.; SHERALI, H. D.; SHETTY, C. M. **Nonlinear Programming: Theory and Algorithms**. 3. Ed. United States of America. 2006.
- BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.F.; JUNIOR, J.L. **Biodigestores convencionais**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1991. 25 p.
- FLORENTINO, H. O. **Mathematical tool to size rural digesters**. Piracicaba: Scientia Agricola, v. 60, n. 1, p. 185-190, 2003.
- LUENBERGER, G. L.; YE, Y. **Linear and Nonlinear Programming**. 3. Ed. Springer Science & Business Media. 2008. 546 p.
- MATUYAMA, A. **Software para dimensionamento de biodigestores indianos**. UNESP-Bauru, 2015.
- NOGUEIRA, L. A. Biodigestão. **A alternativa energética**. São Paulo: Nobel, p. 93, 1986.
- ORACLE CORPORATION. **Legal Materials**. Disponível em: <<https://netbeans.org/about/legal/index.html>>. Acesso em: 4 janeiro 2016.
- ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; JUNIOR, J.L. **Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1991. 35 p.
- PORTES, Z.A.; FLORENTINO H.O. **Aplicativo Computacional para Projetos e Construções de Biodigestores Rurais**. Revista Energia na Agricultura, v. 21, n. 1, p. 118-138, 2006.
- SILVA, M. A. Z. M. **Pesquisa Operacional II**. Notas de aulas, Bauru, 2014.
- SMITH, R.J.; HEIN, M.E.; GREINER, T.H. **Experimental methane production from animal excreta in pilot-scale and farm-size units**. Journal of Animal Science, Albany, v. 48, n.1, p. 202-217, 1979.

SPERANDIO, D.; MENDES, J.T; SILVA, L.H.M. **Cálculo numérico: características matemáticas e computacionais dos métodos numéricos.** Prentice Hall, 2003. 354 p.