

Modelo de regressão linear múltipla aplicado a dados para geração de energia através do biogás

Multiple linear regression model applied to data for biogas power generation

DOI:10.34117/bjdv7n3-329

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 15/03/2021

Matheus da Silva Carvalho

Formação acadêmica mais alta: Engenheiro Eletricista
Instituição: UniFOA
Endereço: Rua 5, n° 111, Brasilândia, Volta Redonda - RJ
E-mail: matheuscarvalhos722@gmail.com

Vagner Silva Guilherme

Formação acadêmica mais alta: Doutor em Engenharia Metalúrgica
Instituição: UFF
Endereço: Rua Paraguai, n° 03, Paraíso, Pinheiral - RJ
E-mail: vsguilherme@bol.com.br

Claudio Jose de Oliveira Junior

Formação acadêmica mais alta: Engenheiro Eletricista
Instituição: UniFOA
Endereço: Rua das Hortências, n° 241, Dorândia, Barra do Piraí - RJ
E-mail: cjr_oliveira3@hotmail.com

Marco Antonio Costa

Formação acadêmica mais alta: Engenheiro Eletricista
Instituição: UniFOA
Endereço: Rua Rio Paraibuna, n° 53, Agua Limpa, Volta Redonda - RJ
E-mail: marco.costa@energize.eng.br

Guilherme de Araújo José

Formação acadêmica mais alta: Engenheiro Eletricista
Instituição: UniFOA
Endereço: Rua Rio Negro, n° 78, Agua Limpa, Volta Redonda - RJ
E-mail: guion2717@gmail.com

RESUMO

A industrialização mundial vem crescendo em larga escala, com isso fazendo com que a demanda de energia global também aumente. Acredita-se que para haver maior disponibilidade de energia, será necessário exigir muito mais do meio ambiente. Como algumas técnicas utilizadas para obtenção de energia são extremamente agressivas ao ecossistema, as fontes de energia renováveis desempenham um papel importantíssimo, comparado aos efeitos de obtenção de energia e sua relação a outras fontes de energia. A biomassa tem recebido muita atenção por parte da mídia e de líderes políticos, tanto em relação a fontes alternativas de combustível quanto uma maneira de minimizar a

dependência da importação de matéria-prima de países desenvolvidos. Este trabalho utiliza um método de modelagem usando comparativos do aplicativo CH₄ Biogás Simulator para avaliação de múltiplas variáveis afim de determinar a equação de regressão, assim obtendo a quantidade de biogás bruto e energia elétrica que se pode gerar utilizando dejetos de bovinos, suínos e aves pela ação de biodigestores. A equação gerada é de fácil aplicabilidade e resultou no modelo $Y = 1,572731 + 0,985985 \times \text{bovinos} + 0,191372 \times \text{suínos} + 0,021287 \times \text{aves}$ com ($r=0,99$) sendo assim adequada para estimação do valor do potencial de biogás.

Palavras-chave: Energia, Biomassa, Biogás, Biodigestores.

ABSTRACT

World industrialization has been growing on a large scale, thereby causing the global energy demand to increase as well. That said, in order to have more energy available, much more will be required from the environment. Because some energy-using techniques are extremely aggressive to the ecosystem, renewable energy sources play a major role compared to the effects of energy generation and their relationship to other energy sources. Biomass has received much attention from the media and political leaders, both regarding alternative fuel sources and a way to minimize dependence on raw material imports from developed countries. This research uses a modelling method using CH₄ Biogas Simulator comparatives for multi-variable evaluation in order to determine the regression equation, thus obtaining the amount of crude biogas and electrical energy that can be generated using biogas from cattle manure, pigs and poultry by means of biodigesters. The generated equation is easy to apply and evolve in model $Y = 1,572731 + 0,985985 \times \text{cattle} + 0,191372 \times \text{pigs} + 0,021287 \times \text{birds}$ with ($r= 0.99$) and is therefore suitable for estimating the potential value of biogas.

Keywords: Energy, Biomass, Biogas, Biodigesters.

1 INTRODUÇÃO

Para realização desta pesquisa foi utilizado a técnica de regressão linear que possui o objetivo de obter uma equação que explique satisfatoriamente a relação entre uma variável resposta Y (dependente) e uma e/ou mais variáveis explicativas X (independentes), possibilitando fazer a predição de valores de interesse (GUIMARÃES, 2012). Caso considerarmos apenas uma variável dependente dizemos que é uma regressão linear simples, se for duas ou mais variáveis se torna uma regressão múltipla (RODRIGUES, 2012).

De acordo com Guimarães (2012) estes modelos de regressão são amplamente utilizados em diversas áreas como: Engenharias, biologia, agronomia, tecnologia, saúde, administração, etc.

1.1 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A regressão linear múltipla é uma técnica utilizada como aproximação de funções. Não se sabe a verdadeira relação entre Y, x_1 e x_2 , porém, em certas faixas das variações independentes, o modelo linear é uma aproximação adequada (LARSON *et al.*, 2012; MONTGOMERY *et al.*, 2012).

- Expressão matemática

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

- Critério dos mínimos quadrados

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$$

- O sistema em forma de matriz

$$\begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ik} \\ \sum_{i=1}^n x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1} & \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ik}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{i1}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ik}y_i \end{pmatrix}$$

2 METODOLOGIA

As informações do trabalho dar-se através de pesquisas relacionadas as variáveis que envolvem a quantidade de energia que pode ser gerada através da digestão anaeróbica de resíduos de bovinos, suínos e aves da mesma em um biodigestor, com aplicação de modelo em uma fazenda para consumo próprio, obtendo também uma melhoria ecológica e econômica do sistema.

Pode-se afirmar, ainda, que esse estudo também é de caráter bibliográfico, constituindo-se de um estudo de casos que se da por meio da investigação e interpretação de livros, artigos e teses.

Para elaboração do projeto, é necessário:

- Analisar as diferentes tecnologias utilizadas para tratamento do biogás;

- Utilização de uma planilha de cálculo de animais por hectare utilizando valores aleatórios de cada espécie pecuária para início da coleta de dados e modelagem da fórmula;
- Levantamento de dados de uma amostra de 11 tamanhos diferentes de fazendas onde foram avaliadas as seguintes variáveis: Estimativa do teor de metano disponível para geração de energia elétrica e aquecimento, quantidade de dejetos, potencial do biogás bruto, matéria orgânica e energia elétrica;
- Determinação da quantidade de biogás que pode ser produzido de acordo com a quantidade de porcos, gados e/ou aves, para deter a energia que poderá ser aproveitada

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A variável Y do trabalho, isto é, a variável resposta, foi escolhida como a quantidade de biogás bruto que pode ser obtido a partir das variáveis independentes (x_1 , x_2 e x_3) do projeto; que são respectivamente as seguintes: Quantidade de bovinos, suínos e aves.

O número exato de animais varia conforme o tamanho e as condições da fazenda, mas procurando manter a viabilidade do projeto, será necessário que a de produção de biogás se mantenha em níveis adequados, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Produção de biogás a partir de resíduos pecuários

Especie pecuária	Unidade referência	Produção Específica de Biogás (m ³ /kg SV)	Produção Diária (m ³ /animal/dia)
Bovinos	Gado de corte ~ 500 kg	0,28	0,292
Suínos	Porco (50 kg)	0,45	0,799
Aves	Galinha (2,5 kg)	0,46 - 0,77	0,010 - 0,017

Fonte: CONDEBELLA (2006)

A escolha dessas três variáveis foi feita devido a participação que tem no setor agropecuário do país. De acordo com o censo agropecuário de 2017 divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de R\$ 263,9 bilhões do PIB do país é proveniente da pecuária, sendo 73,7% representada pela pecuária de corte.

A criação de suínos e aves para o abate pode ser feita em número consideravelmente maior em comparação ao do gado bovino, gerando mais empregos para suportar o tempo longo de produção. Como exemplo, o estado de Minas Gerais demonstrou no censo agropecuário de 2017 do IBGE um número de cabeças de suínos superior a 4.700.000 enquanto que o rebanho de galinhas equivalia a aproximadamente 124.413.000.

3.2 COLETA DE DADOS

A metodologia desse trabalho foi realizada utilizando-se o aplicativo CH₄Biogassimulator, que simula a produção de biogás em propriedades rurais por unidade de criação de animais, apresentando um relatório que informa os ganhos energéticos, ambientais e econômicos afim de recolher a máxima quantidade de dados possível para se realizar a regressão (CH₄ AGROENERGIA, 2015).

Foi montado uma planilha reunindo todos os dados úteis e relevantes demonstrando o que o aplicativo forneceu, sendo eles: Estimativa do teor de metano (CH₄) disponível para geração de energia elétrica e aquecimento, Quantidade de dejetos (Kg/dia), Potencial do Biogás Bruto (Nm³/dia), Matéria Orgânica (Kg/ciclo) e Energia elétrica (Kwh/dia).

Para o cálculo da quantidade de animais foi utilizado uma planilha que a Boi Saúde - Pecuária Inteligente fornece, levando em conta a quantidade de consumo de animal por dia/ano calculado a partir dos dados da média do peso da espécie pecuária considerada (bovinos, suínos e aves) conforme mostra a Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Exemplo de cálculo de quantidade de animais para animais de 700 quilos em 100 hectares

Planilha para cálculo da quantidade de animais por hectare	
Média de produção de pastagem por ano	15000 kg/hectare
Média de consumo por animal	4% do peso vivo do animal
Média do peso dos seus animais	700 quilos
Quantidade de consumo por animal de	28 quilos por dia
Quantidade de consumo por animal de	10220 quilos por ano
O ideal é ter aproximadamente	1,47 animais por hectare
Eu tenho	100 hectares
Portanto, considerando o pasto, devo ter	147 animais na minha propriedade

Fonte: Boi Saúde - Pecuária Inteligente (Adaptado pelos Autores)

Utilizou-se onze diferentes tamanhos de fazendas hipotéticas afim de analisar a variação de animal por cada hectare selecionado. A quantidade de animais utilizada por cada hectare escolhida não seguiu um padrão ou uma constante em todos tamanhos, pelo mesmo motivo de provocar esta variação e aumentar a probabilidade de êxito na construção

da fórmula de regressão linear das variáveis múltiplas. O Quadro 1 a seguir demonstra como ficou essa divisão.

Quadro 1: Quantidade de animais por tamanho de fazenda

Tamanho da fazenda (hectares)	Bovinos	Suínos	Aves
25,00	9,00	308,00	1233,00
27,50	11,00	247,00	822,00
30,00	13,00	205,00	4110,00
32,50	27,00	164,00	1849,00
35,00	13,00	144,00	7397,00
37,50	14,00	308,00	4932,00
40,00	17,00	257,00	6164,00
42,50	27,00	216,00	4932,00
45,00	20,00	329,00	5753,00
47,50	25,00	411,00	3699,00
50,00	23,00	308,00	7397,00

Fonte: Autores

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta da quantidade de dados de cada espécie pecuária por tamanho de fazenda, utilizamos estes valores para jogar no aplicativo CH₄Biogassimulator para realizar a equação de regressão linear múltipla. Sendo assim, foi escolhido como prioridade os dados recolhidos do potencial de biogás bruto. Conforme pode ser visto no Quadro 2, os resultados não foram crescentes, e isto propositalmente, pelo mesmo motivo de se obter esta variação e aumentar a credibilidade dos coeficientes independentes na fórmula final $Y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + b_3.x_3$.

Quadro 2: Análise do quantidade de biogás em Nm³/dia

Y	x1	x2	x3
Potencial do Biogás bruto (Nm ³ /dia)	Bovinos	Suínos	Aves
95,77	9,00	308,00	1233,00
76,52	11,00	247,00	822,00
140,78	13,00	205,00	4110,00
100,23	27,00	164,00	1849,00
199,49	13,00	144,00	7397,00
179,88	14,00	308,00	4932,00
198,91	17,00	257,00	6164,00
172,93	27,00	216,00	4932,00
207,01	20,00	329,00	5753,00
183,43	25,00	411,00	3699,00
240,89	23,00	308,00	7397,00
SOMA			
1795,84	199,00	2897,00	48288,00
MÉDIA			
163,26	18,09	263,36	4389,82

Fonte: CH₄Biogassimulator

Para início da montagem da regressão linear, dividimos cada variável representado no Quadro 3 e foi realizado os seguintes cálculos.

Quadro 3: Cálculo dos coeficientes da matriz 4x4 de regressão

x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	Yx_1	Yx_2	Yx_3
81,00	94864,00	1520289,00	2772	11097	379764	861,93	29497,16	118084,41
121,00	61009,00	675684,00	2717	9042	203034	841,72	18900,44	62899,44
169,00	42025,00	16892100,00	2665	53430	842550	1830,14	28859,9	578605,8
729,00	26896,00	3418801,00	4428	49923	303236	2706,21	16437,72	185325,27
169,00	20736,00	54715609,00	1872	96161	1065168	2593,37	28726,56	1475627,53
196,00	94864,00	24324624,00	4312	69048	1519056	2518,32	55403,04	887168,16
289,00	66049,00	37994896,00	4369	104788	1584148	3381,47	51119,87	1226081,24
729,00	46656,00	24324624,00	5832	133164	1065312	4669,11	37352,88	852890,76
400,00	108241,00	33097009,00	6580	115060	1892737	4140,2	68106,29	1190928,53
625,00	168921,00	13682601,00	10275	92475	1520289	4585,75	75389,73	678507,57
529,00	94864,00	54715609,00	7084	170131	2278276	5540,47	74194,12	1781863,33
SOMA								
4037,00	825125,00	265361846,00	52906,00	904319,00	12653570,00	33668,69	483987,71	9037982,04
MÉDIA								
367,00	75011,36	24123804,18	4809,64	82210,82	1150324,55	3060,79	43998,88	821634,73

Fonte: Autores

4 CONCLUSÃO

Utilizando este esquema de matriz 4x4 e a seguinte fórmula do coeficiente de correlação, foi estimado o valor dos coeficientes b_0 , b_1 , b_2 , b_3 e R . O Anexo 1 e 2 mostram como o resultado final foi alcançado.

$$\begin{vmatrix} n & \Sigma x_1 & \Sigma x_2 & \Sigma x_3 \\ \Sigma x_1 & \Sigma x_1^2 & \Sigma x_1x_2 & \Sigma x_1x_3 \\ \Sigma x_2 & \Sigma x_1x_2 & \Sigma x_2^2 & \Sigma x_2x_3 \\ \Sigma x_3 & \Sigma x_1x_3 & \Sigma x_2x_3 & \Sigma x_3^2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Sigma y \\ \Sigma x_1y \\ \Sigma x_2y \\ \Sigma x_3y \end{vmatrix}$$

$$R = \sqrt{\frac{\Sigma (y - \bar{y})^2}{(\Sigma y_i - \bar{y})^2}}$$

A equação gerada foi **Potencial de Biogás Bruto (Nm³/dia) = 1,572731 + 0,985985 x bovinos + 0,191372 x suínos + 0,021287 x aves** apresentando um ($r=0,99$) sendo assim adequada para estimação do valor do potencial de biogás.

Conforme mostra o Quadro 4, o valor resposta do biogás pode ser comparado com a quantidade de energia elétrica. Comparando-se a soma e a média das duas variáveis dependentes obtemos mais uma equação: **Energia Elétrica (Kwh/dia) = 1,167143 x Potencial do Biogás Bruto (Nm³/dia).**

Quadro 4: Comparação de Energia Elétrica com quantidade de biogás

Energia Elétrica Kwh/dia	Potencial do Biogás bruto (Nm ³ /dia)	Bovinos	Suínos	Aves
82,06	95,77	9,00	308,00	1233,00
65,56	76,52	11,00	247,00	822,00
120,62	140,78	13,00	205,00	4110,00
85,88	100,23	27,00	164,00	1849,00
170,93	199,49	13,00	144,00	7397,00
154,12	179,88	14,00	308,00	4932,00
170,43	198,91	17,00	257,00	6164,00
148,17	172,93	27,00	216,00	4932,00
177,36	207,01	20,00	329,00	5753,00
157,16	183,43	25,00	411,00	3699,00
206,39	240,89	23,00	308,00	7397,00
SOMA				
1538,68	1795,84	199,00	2897,00	48288,00
MÉDIA				
139,88	163,26	18,09	263,36	4389,82

Fonte: CH₄Biogassimulator (Adaptado pelos autores)

AGRADECIMENTOS

A UniFOA, seu corpo docente e administração que proporcionaram a realização desta pesquisa, ao professor e orientador do trabalho de conclusão de curso Vagner Silva Guilherme pelo apoio.

REFERÊNCIAS

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energias Renováveis: Um futuro sustentável**. São Paulo: Revista Usp, 2006-2007. 15 p

GUIMARÃES, Paulo Ricardo Bittencourt. **Métodos Quantitativos Estatísticos**. 1 ed. Curitiba: IESDE BRASIL S.A., 256 p., 2012. ISBN: 978-85-387-3028-6.

LARSON, R e Farber, B - **Estatística Aplicada**. Pearson Education - São Paulo- 2ª Edição, 2008.

MONTGOMERY, D. C. e Runger, G. C. - **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. Editora LTC - 2ª Edição, 2012

RODRIGUES, Sandra Cristina Antunes. **Modelo de regressão linear e suas aplicações**. 2012, 94 p. Relatório de Estágio (Mestrado). Universidade da Beira Interior.

Anexo 1: Cálculo da regressão linear múltipla

n	Σx_1	Σx_2	Σx_3	b_0	Σy
Σx_1	Σx_1^2	$\Sigma x_1 x_2$	$\Sigma x_1 x_3$	b_1	$\Sigma x_1 y$
Σx_2	$\Sigma x_1 x_2$	Σx_2^2	$\Sigma x_2 x_3$	b_2	$\Sigma x_2 y$
Σx_3	$\Sigma x_1 x_3$	$\Sigma x_2 x_3$	Σx_3^2	b_3	$\Sigma x_3 y$

11	199,00	2897,00	48288,00	b_0	1795,84
199,00	4037,00	52906,00	904319,00	b_1	33668,69
2897,00	52906,00	825125,00	12653570,00	b_2	483987,71
48288,00	904319,00	12653570,00	265361846,00	b_3	9037982,04

11	199	2897	48288	b_0	1795,84
0	436,9091	496,636364	30745,18182	b_1	1180,3118
0	496,6364	62160,5455	-63733,27273	b_2	11028,757
0	30745,18	-63733,2727	53386305,64	b_3	1154571

11	199	2897	48288	b_0	1795,84
0	436,9091	496,636364	30745,18182	b_1	1180,3118
0	0	61596,0169	-98681,44757	b_2	9687,092
0	0	-98681,4476	51222775	b_3	1071512,7

11	199	2897	48288	b_0	1795,84
0	436,9091	496,636364	30745,18182	b_1	1180,3118
0	0	61596,0169	-98681,44757	b_2	9687,092
0	0	0	51064679,9	b_3	1087032,2

$b_0 =$	1,5727312
$b_1 =$	0,9859849
$b_2 =$	0,1913721
$b_3 =$	0,0212874

Anexo 2: Cálculo do Coeficiente de Correlação

y	x ₁	x ₂	x ₃	y(ajustado)	(y-ym) ²	(yajustado - ym) ²
95,77	9,00	308,00	1233,00	95,6365165	4554,654685	4572,689621
76,52	11,00	247,00	822,00	77,18568344	7523,512185	7408,474977
140,78	13,00	205,00	4110,00	141,1128605	505,2686579	490,4152552
100,23	27,00	164,00	1849,00	98,9396743	3972,551703	4136,870409
199,49	13,00	144,00	7397,00	199,4107105	1312,744649	1307,005332
179,88	14,00	308,00	4932,00	179,308381	276,2848397	257,6088952
198,91	17,00	257,00	6164,00	198,7323844	1271,05214	1258,419049
172,93	27,00	216,00	4932,00	174,5199509	93,54406694	126,827442
207,01	20,00	329,00	5753,00	206,7200261	1914,221594	1888,931904
183,43	25,00	411,00	3699,00	183,618228	406,9022488	414,531481
240,89	23,00	308,00	7397,00	240,6555843	6026,699194	5990,357918
Soma					27857,43596	27852,13228
R=					0,999904802	