

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED ENVIRONMENTAL  
AND SANITARY  
ENGINEERING**

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

**APPLIED ENVIRONMENTAL  
AND SANITARY  
ENGINEERING**

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Collection: applied environmental and sanitary engineering

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied environmental and sanitary engineering /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. -  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-857-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.578221901>

1. Environmental and sanitary engineering. I. Paniagua,  
Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## PRESENTATION

The e-book: "Collection: Applied environmental and sanitary engineering" consists of nineteen book chapters that address different themes, but which converge to an enormous concern that increasingly threatens the quality and well-being of future generations: use sustainable environment and its different biotic and abiotic factors. In this sense, the organization and presentation of book chapters was carried out in four thematic areas, providing a better organization and sequencing, leading to a better understanding and ease in understanding each chapter in this e-book. Therefore, the e-book was divided into four thematic areas, namely: *i)* evaluation of the quality of water resources intended for human consumption; *ii)* emission of particulate materials from the combustion of fuels by the fleet of motor vehicles and the burning of large green areas in order to meet the interest of the agricultural sector; *iii)* actions to minimize the amount of waste sent to sanitary landfills, controlled or dumps based on the practice of segregating recyclable waste; *iv)* basic sanitation and the increase in the Human Development index, generation of energy and fertilizers from biodigestion processes and the presence of pesticides and pharmaceuticals in foods of animal origin.

The first theme consists of six book chapters dealing with the importance of continuous monitoring of water quality for drinking purposes, with studies being presented that prove the lack of efficiency in removing microorganisms with pathogenic properties. Furthermore, the importance and creation of public policies in order to avoid the eutrophication of aquatic bodies that are increasingly common in urban areas. The second consists of four chapters that evaluated the air quality from the emission of particulate materials from human activities, including the burning of fuels and fires in different biomes and how these have been influencing the increase in the formation of islands of heat in urban centers.

The third theme consists of four book chapters that address the importance of carrying out the construction of residential works (condominiums) in order to encourage residents to develop an environmental awareness in relation to the segregation of waste, especially organic and recyclable ones, and the latter would be intended for people who work and with recycling and who contribute significantly to the reduction in the final disposal of waste. Finally, the fourth theme consists of five chapters that present works that discuss the importance of biodigestion in rural areas, basic sanitation as an important factor in determining the HDI and the importance of monitoring the presence of pesticides and drugs in food of animal origin.

In this perspective, Atena Editora has been working with the aim of stimulating and encouraging researchers from Brazil and other countries to publish their work with a guarantee of quality and excellence in the form of books and book chapters that are available on the Editora's website and elsewhere. digital platforms with free access.




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES ATMOSFÉRICOS EM COMPOSTOS DE CHUVA OCORRIDOS NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO O MODELO NUMÉRICO WRF**


Fabricio Polifke da Silva  
Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva  
Wallace Figueiredo Menezes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219011>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

**ANÁLISE DO PADRÃO DA ÁGUA POTÁVEL COMERCIALIZADA EM RELAÇÃO AOS ELEMENTOS QUÍMICOS PRESENTES PELA TÉCNICA DE RADIAÇÃO SINCROTRON E DE COLIFORMES FECALIS PELO MÉTODO COLILLERT®**


Ariston da Silva Melo Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219012>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS (AQRM) ASSOCIADOS AO REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ-AL**


Ivo Gabriel Guedes Alves  
Marcio Gomes Barboza  
Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219013>

### **CAPÍTULO 4..... 42**

**GRAU DE EUTROFIZAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA, ES, BRASIL**


Gemael Barbosa Lima  
Gilberto Henke  
Wanderson de Paula Pinto  
Julielza Betzel Badotto  
Claudinei Antônio Montebeller

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219014>

### **CAPÍTULO 5..... 56**

**DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO CON PERSPECTIVA DE GÉNERO EN COMUNIDADES MAYAS DE MÉXICO**

Delghi Yudire Ruiz Patrón  
Cindy Vianely Cetina Aguilar  
Jesús Antonio Santos Tejero  
José Efraín Ramírez Benítez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219015>

### **CAPÍTULO 6..... 72**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ROTINA COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO**

## DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Lorena Francyne Queiroz Rocha

Marcio Gomes Barboza

Wagner Roberto Oliveira Pimentel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219016>

## **CAPÍTULO 7..... 87**

### COMPORTAMENTO DAS QUEIMADAS NOS BIOMAS BRASILEIROS ENTRE OS ANOS DE 2009 E 2020


Débora Cristina Correia Cardoso

Daniely Neckel Rosini

Jordana dos Anjos Xavier

Valter Antonio Becegato

Alexandre Tadeu Paulino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219017>


## **CAPÍTULO 8..... 102**

### QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS A PARTIR DA QUEIMA DE BIOMASSA EM LAGES-SC

Jordana dos Anjos Xavier

Valter Antonio Becegato

Alexandre Tadeu Paulino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219018>

## **CAPÍTULO 9..... 114**

### MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO KRIGAGEM NA MEDIÇÃO DE ILHA DE CALOR EM SANTARÉM-PA

Felizandra Pereira de Aquino

Hudson Ferreira Dias


Victor Hugo da Rocha Uchoa

Carlos Manoel Rocha Melo

Raphael Tapajós

Wilderclay Barreto Machado

Rodrigo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782219019>


## **CAPÍTULO 10..... 124**

### MODELAGEM E PREVISÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PM<sub>10</sub> NA CIDADE DE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO, BRASIL

Wanderson de Paula Pinto

Valdério Anselmo Reisen

Gemael Barbosa Lima


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190110>

## **CAPÍTULO 11..... 134**

### PANORAMA DA COLETA SELETIVA EM SALVADOR-BA E A EXPERIÊNCIA DE COOPERATIVAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS COM OS POSTOS DE ENTREGA

## VOLUNTÁRIA (PEV)


Juliane Figueredo de Araújo Ribeiro  
Gabriela Vieira de Toledo Lisboa Ataíde  
Luiz Roberto Santos Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190111>

## **CAPÍTULO 12..... 144**

### PROPOSTA METODOLÓGICA DE AVALIAÇÃO DE UMA FERRAMENTA PARA PROMOVER A RECICLAGEM INCLUSIVA


Andréa Cardoso Ventura  
José Célio Silveira Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190112>

## **CAPÍTULO 13..... 156**

### OPTIMIZING REVERSE LOGISTIC NETWORK PROPOSAL OF WASTE PICKERS ORGANIZATIONS WITH WASTE TRANSFER STATIONS TO IMPROVE THE ECONOMIC EFFICIENCY OF RECYCLING CHAIN


Marcus Camilo Dalvi Garcia  
Renato Ribeiro Siman  
Maria Claudia Lima Couto  
Luciana Harue Yamane  
Rodrigo Alvarenga Rosa  
Gisele de Lorena Diniz Chaves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190113>

## **CAPÍTULO 14..... 178**

### ECONDOMÍNIOS PROJECT: SOLID WASTE MANAGEMENT IN RESIDENTIAL CONDOMINIUMS


Gerson Araujo de Medeiros  
Ana Paula Loro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190114>

## **CAPÍTULO 15..... 186**

### ESTUDO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE BIODIGESTÃO UTILIZANDO RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ROSANA


Sabrina Emília de Almeida Pavez  
Letícia Sabo Boschi  
Claudia Gonçalves de Azevedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190115>

## **CAPÍTULO 16..... 205**

### RELAÇÃO ENTRE INDICADORES DE SANEAMENTO E ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO (IDH) NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL


Rafaela Ferrareis Loubato  
Gemael Barbosa Lima  
Claudinei Antônio Montebeller  
Wanderson de Paula Pinto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190116>

**CAPÍTULO 17.....218**

MONITORAMENTO DA REMOÇÃO MULTIELEMENTAR EM TRATAMENTO POR VALA DE FILTRAÇÃO

Ariston da Silva Melo Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190117>

**CAPÍTULO 18.....234**

QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS QUÍMICOS (MEDICAMENTOS VENCIDOS) GERADOS EM UM HOSPITAL ESCOLA LOCALIZADO NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Camila Cristina da Silva Moraes

João Vicente Franceschi

Letícia Piteli Balan

Lucas Eduardo Zacarias Gomes


Marcos Vinicius de Souza Serrano

Paulo Giovanni Coraucci Netto

Vinicius Solimani Marquezam

Vitor Vilela Pinese

Luciana Rezende Alves de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190118>

**CAPÍTULO 19.....245**


DETECTION AND QUANTIFICATION OF MULTIRESIDE PESTICIDES AND PHARMACEUTICALS IN FOODS OF ANIMAL ORIGIN USING THE QuEChERS METHOD IN PREPARATION OF SAMPLES

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Bruno Elias dos Santos Costa

Anelise dos Santos Mendonça Soares

Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.57822190119>

**SOBRE O ORGANIZADOR.....256**

**ÍNDICE REMISSIVO.....257**

## ESTUDO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE BIODIGESTÃO UTILIZANDO RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ROSANA

*Data de aceite: 10/01/2022*

*Data de submissão: 08/11/2021*

### **Sabrina Emília de Almeida Pavez**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp  
São Manuel – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6158965271428756>

### **Letícia Sabo Boschi**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp  
Rosana – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9070577381094673>

### **Claudia Gonçalves de Azevedo**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp  
Rosana – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9889362725920837>

**RESUMO:** O aumento dos resíduos sólidos urbanos está diretamente relacionado ao desenvolvimento de um país e a destinação correta de tais resíduos tem gerado discussões relevantes no âmbito acadêmico e industrial. Neste contexto, o tratamento biológico, por meio de biodigestores é uma das principais rotas tecnológicas que vem sendo estudadas para o aproveitamento da matéria orgânica que compõe mais de 50% dos resíduos gerados no Brasil. O biogás pode ser utilizado para a geração de energia e o biofertilizante torna-se adubo orgânico. A partir dos resultados obtidos na análise econômica verificou-se que a

implantação do sistema de biodigestão é viável no município de Rosana, gerando uma receita de aproximadamente R\$ 106.995,00/ano com a venda de energia gerada e R\$ 80.006,40/ano com a venda do biofertilizante. Além disso, a análise econômica também demonstrou a viabilidade do projeto, sendo o Valor Presente Líquido obtido de R\$ 142.165,86, a Taxa Interna de Retorno de 20% e o *Payback* de 4,42 anos. Desse modo verificou-se que esse sistema é economicamente atrativo para o município de Rosana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos. Biodigestão. Geração de Energia. Análise Econômica.

### STUDY FOR IMPLEMENTATION OF A BIODIGESTION SYSTEM USING SOLID URBAN WASTE IN THE CITY OF ROSANA

**ABSTRACT:** The increase in solid urban waste is directly related to the development of a country and the correct destination of such waste has generated relevant discussions in the academic and industrial field. In this context, biological treatment through biodigesters is one of the main technological routes that have been studied for the use of this organic matter, which represents more than 50% of the waste generated in Brazil. Biogas can be used for energy generation and biofertilizer becomes organic fertilizer. From the results obtained in the economic analysis, it was verified that the implementation of the biodigestion system is feasible in the municipality of Rosana, generating revenue of approximately R\$ 106,995.00/year from the sale of generated energy and R\$ 80,006.40/year with the sale of biofertilizer. In addition, the economic analysis

also demonstrated the feasibility of the project, with the Net Present Value obtained being R\$ 142,165.86, the Internal Rate of Return of 20% and the Payback of 4.42 years. Thus, it was found that this system is economically attractive for the municipality of Rosana.

**KEYWORDS:** Urban Solid Waste. Biodigestion. Power generation. Economic analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a sociedade tem demonstrado preocupações crescentes com o meio ambiente bem como com a utilização de fontes de energia renováveis. Neste contexto, merece destaque os resíduos sólidos, uma vez que a geração de tais resíduos aumentou consideravelmente ao longo das últimas décadas. No ano de 2018 no Brasil, foram geradas 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, equivalentes a 216.629 toneladas diárias e em média foram 380 kg/ano para cada pessoa (ABRELPE, 2019).

Em virtude da grande quantidade de resíduos gerados, bem como a destinação inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), o gerenciamento de tais resíduos se tornou um grande problema para as administrações municipais uma vez que é necessária uma grande área para o seu armazenamento, além de causar danos ambientais, tais como contaminação do solo e da água, além da ocorrência da liberação de gases que contribuem com o efeito estufa (GOUVEIA, 2012).

O gerenciamento dos RSU apresenta problemas de ordem econômica, ambiental, social, e cultural, de modo que é necessário aplicar técnicas capazes de minimizar ou evitar eventuais problemas relacionados à má gestão desses resíduos, uma vez representam uma ameaça ao meio ambiente e à saúde pública (BRASIL, 2012). Uma alternativa tecnológica para os resíduos sólidos, é o aproveitamento energético, e dentre as técnicas biológicas utilizadas para o aproveitamento energético dos RSU têm destaque o processo de biodigestão anaeróbica. A digestão anaeróbia é um processo onde ocorre a degradação da matéria orgânica a partir de microrganismos, na ausência de oxigênio, gerando como produto um gás combustível, o biogás e subprodutos que podem ser aplicados como fertilizantes orgânicos (VAN HAANDEL, LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 2007).

No cenário energético, a participação da biodigestão para obtenção de combustível ou geração de energia tem sido muito baixa, correspondendo aproximadamente 1% da matriz energética mundial. Entretanto, de acordo com PIRES (2019) a geração de biogás ganhou destaque durante os últimos anos, com um crescimento de 12,8 % ao ano. No ano de 2018, haviam cerca de 276 plantas de biogás em operação no Brasil, produzindo cerca de 3 milhões m<sup>3</sup> por dia biometano a partir da utilização de matéria-prima como esgoto, resíduos sólidos orgânicos e resíduos agropecuários. Cerca de 70% do biogás gerado é destinado à geração de eletricidade, 17% para geração de calor e 10% são desperdiçados por não atenderem as normas regulamentadoras da ANP (PIRES, 2019).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo projetar um sistema de

biodigestão para Resíduos Sólidos Urbano no município de Rosana, além de realizar o estudo da viabilidade econômica para implantação do sistema proposto. A implantação de uma unidade de biodigestão anaeróbica tem como objetivo reduzir a quantidade destes resíduos no descarte final no aterro sanitário do município, produzindo um combustível alternativo que possui poder calorífico semelhante ao gás natural, podendo assim ser utilizado para a geração de energia térmica, elétrica ou mecânica.

## 2 I ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS

Para realizar a análise da viabilidade econômica de investimentos podem-se adotar alguns tipos de métodos de análises, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e Valor anual (VA).

De acordo com YEO E QIU (2003) o VPL pode ser definido como sendo a diferença entre o valor presente da estimativa líquida das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa. Ao se analisar uma proposta de investimento com base na mesma Taxa mínima de atratividade (TMA), a melhor opção será aquela com que apresentar o maior valor presente (LINDEMEYER, 2008). A Equação 1 apresenta o cálculo do valor presente líquido (VPL).

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \quad (1)$$

sendo VPL o valor presente líquido,  $I$  o investimento de capital na data zero,  $FC_t$  o retorno na data  $t$  do fluxo de caixa,  $n$  o prazo de análise do projeto e  $TMA$  a Taxa Mínima de Atratividade para realizar o investimento, ou custo de capital do projeto de investimento.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) indica em termos percentuais a rentabilidade do investimento utilizado no projeto durante toda a sua duração considerando as receitas envolvidas e os investimentos. A TIR é a taxa que torna o valor presente dos lucros futuros iguais aos dos gastos realizados com o projeto, ou seja, é a taxa que anula o VPL do fluxo de caixa do investimento (Equação 2), indicando assim a taxa de remuneração do capital investido.

$$0 = I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (2)$$

A TIR é comparada a TMA, que representa a taxa mínima de retorno desejável para que o projeto seja viável, de modo que se  $TIR > TMA$  considera-se que o investimento é rentável e viável.

O método do tempo de retorno do capital ou *payback*, é uma maneira simples de estimar o prazo necessário para se recuperar o investimento inicial, ou seja, é o método que indica o tempo necessário para que o investimento inicial e o rendimento acumulado sejam equivalentes. A determinação do tempo de retorno do capital é feita analisando o

fluxo de caixa, e o valor do tempo é determinado quando os investimentos (saída de caixa) se igualam com as receitas (entrada de caixa). Desse modo, o tempo de retorno é dado pela razão entre o investimento inicial e a média do fluxo de caixa anual:

$$B = \frac{\text{Investimento inicial}}{\Sigma FC_{ano}} \quad (3)$$

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização do Município de Rosana

O município de Rosana está situado no extremo oeste do Pontal do Paranapanema à latitude de 22°34'48" Sul, à longitude de 53°03'32" Oeste, com uma altitude de 236 metros e uma extensão territorial de 744 km<sup>2</sup>. No extremo oeste da cidade, confluem os rios Paraná e Paranapanema, que se encontram respectivamente a norte e a sul do município.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) a população estimada do município é de 16.643 pessoas. Sua principal fonte de economia provém do setor da indústria, segundo Rosana (2015), sendo que o setor mais importante é o de plantio de cana-de-açúcar e o cultivo de mandioca.

De acordo Rosana (2015) a análise da composição gravimétrica dos RSU do município foi realizada pela Secretaria do Meio Ambiente em agosto de 2014. Os resultados obtidos no estudo são apresentados na Tabela 1.

<b>Material</b>	<b>Média (Kg)</b>	<b>%</b>
Plástico	121,0	3,9
Papelão	91,3	2,9
Metal	19,8	0,6
Vidro	9,5	0,3
Orgânico	1.732,0	55,4
Não Reciclável	1.154,7	36,9
<b>Total</b>	<b>3.128,3</b>	<b>100,0</b>

Tabela 1 - Dados do estudo gravimétrico município de Rosana

Fonte: ROSANA, 2015 (Adaptado).

A coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos do município de Rosana são competência da Secretaria de Mobilidade Urbana, Obras e Serviços Públicos, sendo a gestão dos mesmos realizada pela Secretaria de Meio Ambiente. Para o levantamento dos dados referentes aos resíduos sólidos urbanos orgânicos produzidos no município, durante os meses de Dez/19 e Jan/20, foram realizadas pesagens dos caminhões carregados com os resíduos, a fim de obter a quantidade de resíduos gerados, bem como



realizar os cálculos para obtenção da licença ambiental junto à CETESB.

### 3.2 Dimensionamento do Sistema de Biodigestão

Dentre os principais tipos de biodigestores, o modelo canadense, também chamado de biodigestor de fluxo tubular, tem sido amplamente utilizado uma vez que se apresenta como uma tecnologia mais moderna associada à uma construção simples e de custo reduzido. Desse modo, o modelo adotado para compor o sistema de biodigestão proposto no presente trabalho foi o modelo canadense. Para a determinação das principais dimensões do biodigestor, utilizou-se o modelo matemático desenvolvido por Ribeiro (2004) e a ferramenta Excel da Microsoft.

O modelo apresentado Ribeiro (2004) exige que sejam fornecidos parâmetros iniciais, tais como, raio da campana (r), comprimento (L) e a proporção de fase gasosa (p), que deve ser menor que 40%, uma vez que acima desse valor o volume da fase líquida não permite a manutenção da campana cheia de biogás. A escolha de tais parâmetros é condicionada ao volume estimado do biodigestor.

Equações	Descrição
$P = C = 2 \pi r$ (4)	$P$ = perímetro total transversal (campana e fossa) $C$ = circunferência da bolsa $R$ = raio da bolsa plástica
$A\% = 0,621 p^2 - 0,042 p + 0,352$ (5)	$A_{\%}$ = % do perímetro transversal do arco $p$ = proporção da fase gasosa desejada ( $p \leq 0,4$ )
$b = \left(\frac{-1}{3} A_{\%} + \frac{-1}{3}\right) P$ (6)	$b$ = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,68 b$ (7)	$a$ = largura maior da fossa
$h = 0,951 b$ (8)	$h$ = profundidade da fossa
$A_t = \frac{A_f}{(1-p)}$ (9)	$A_t$ = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana
$A_g = A_t - A_f$ (10)	$A_g$ = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás
$V_t = A_t L$ (11)	$V_t$ = volume total do biodigestor (campana mais gás) $L$ = comprimento do biodigestor
$V_f = A_f L$ (12)	$V_f$ = volume total da fossa
$V_g = A_g L$ (13)	$V_g$ = volume total do gás
$A_f = 0,4755 (a + b) b$ (14)	$A_t$ = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana

Quadro 1 – Equações dimensões biodigestor

Fonte: própria autora, baseado em RIBEIRO (2004).

A utilização do método de Ribeiro (2004) permite determinar o volume total do biodigestor, o volume total da fossa e o volume total do gás, dentre outros parâmetros, descritos nas equações dispostas no Quadro 1.

Inicialmente, será estimado o volume do biodigestor para comportar o volume de carga diária durante o tempo de retenção necessário para que ocorra a degradação da matéria orgânica. O volume total do biodigestor é determinado a partir da Equação 15:

$$V_t = V_c \times TRH \quad (15)$$

sendo TRH o tempo de retenção hidráulico (dias),  $V_t$  o volume total do biodigestor ( $m^3$ ) e  $V_c$  o volume de carga diária ( $m^3/dia$ ).

A fim de avaliar o potencial de geração de biogás em aterros sanitários, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (2006) apresentou uma metodologia amplamente aceita e utilizada em diversos países. O modelo apresentado permite estimar a quantidade de metano gerado em diferentes regiões geográficas, uma vez que leva em consideração parâmetros característicos de cada região (IPCC, 2006). A determinação da emissão anual de  $CH_4$ , para cada país ou região, pode ser calculada pela Equação 16 (IPCC, 1996):

$$Q_{CH_4} = [(RSU_{REC} \cdot FCM \cdot COD \cdot COD_f \cdot F \cdot 16/12) - R] \cdot (1 - OX) \quad (16)$$

sendo  $Q_{CH_4}$  a vazão de metano gerado ( $10^3 \text{ kgCH}_4/\text{ano}$ ),  $RSU_{REC}$  a quantidade de resíduos sólidos recebidos no aterro ( $10^3 \text{ kg/ano}$ ),  $FCM$  o fator de correção de metano (adimensional),  $COD$  o carbono orgânico degradável no resíduo sólido (adimensional),  $COD_f$  a fração de  $COD$  efetivamente degrada (adimensional),  $F$  a fração de  $CH_4$  no gás de aterro (adimensional),  $16/12$  a taxa de conversão de carbono em metano (adimensional),  $R$  a quantidade de metano recuperado ( $10^3 \text{ kgCH}_4 / \text{ano}$ ) e  $OX$  o fator de oxidação (adimensional).

A Equação (17) fornece o  $COD$  usando valores padrão de carbono por conteúdo (IPCC, 1996):

$$COD = 0,4 \cdot A + 0,17 \cdot B + 0,15 \cdot C + 0,4 \cdot D + 0,3 \cdot E \quad (17)$$

sendo A o percentual de papel e papelão na composição dos RSU, B o percentual de resíduos de poda, jardinagem e outros materiais orgânicos não alimentícios (resíduos de parques e jardins) na composição dos RSU, C o percentual de resíduos alimentícios orgânicos na composição dos RSU, D o percentual de têxteis na composição dos RSU e E o percentual de madeiras e resíduos florestais na composição dos RSU.

O cálculo do  $COD_f$  é realizado através da Equação (18) (IPCC, 1996):

$$COD_f = 0,014 \cdot T + 0,28 \quad (18)$$

sendo  $T$  a temperatura na zona anaeróbia do aterro. Assume-se que esta temperatura

permanece constante por volta dos 35 °C IPCC (1996).

De acordo com Lobato (2011) e Zilotti (2012), o potencial de energia elétrica gerada a partir do biogás pode ser determinado a partir das equações:

$$P_x = Q_x \cdot \eta \cdot PCI_D \quad (19)$$

sendo  $P_x$  a energia elétrica disponível (kWh),  $Q_x$  a vazão média diária de biogás gerado (m<sup>3</sup>/dia),  $\eta$  a eficiência elétrica de conversão (%),  $PCI_D$  o Poder calorífico inferior disponível (kWh/m<sup>3</sup>), dado pela equação:

$$PCI_D = \gamma_{CH_4} \cdot PCI_{CH_4} \cdot k \quad (20)$$

sendo  $\gamma_{CH_4}$  o peso específico do metano (kg/m<sup>3</sup>),  $PCI_{CH_4}$  o poder calorífico inferior do metano (kcal/kg) e  $k$  o fator de conversão de kcal em kWh (4,19/3600).

### 3.3 Levantamento de Gastos, Investimentos, Custos

O levantamento dos gastos, custos e equipamentos para a implantação do sistema de biodigestão foram feitos levando em consideração os dados de resíduos sólidos orgânicos para o ano de 2019, cerca de 138,82 t/mês, considerando que tais resíduos serão coletados 30 dias no mês.

Nesta etapa foi realizada uma pesquisa de mercado, de modo a averiguar o custo com equipamentos, materiais e mão-de-obra especializada que serão utilizados na construção e no funcionamento do sistema de biodigestão. O local selecionado para a implantação do projeto de biodigestão será um terreno já pertencente à prefeitura municipal de Rosana. O local conta com uma área total de 18. 516 m<sup>2</sup>, localizado na Rua dos Pedreiros, esquina com a Rua-17, Quadra 44f, no distrito de Primavera. Uma vez que o local é propriedade da prefeitura não haverá necessidade de adquirir um terreno para a implantação do biodigestor.

Foi realizado o levantamento de todos os equipamentos necessários para o sistema de biodigestão, de acordo com as suas dimensões, dentre eles, grupo gerador, manta de PVC flexível, tubulação de PVC para a entrada de e saída dos resíduos, tubulação de PVC para a saída do biogás, caixa de alvenaria, filtro de biogás, triturador mecânico e um termostato. Alguns materiais foram orçados através sites de em lojas especializadas, e outros foram a partir de orçamentos solicitados junto a empresas especializadas.

Também foi realizado o levantamento dos custos relacionados ao preparo do local onde o biodigestor será implantado, tais como escavação, instalações elétricas, mão de obra, bem como custos com as licenças ambientais emitidas pelo Órgão Regulador do Estado de São Paulo, CETESB.

No local do empreendimento será necessário um funcionário, que ficará responsável pela limpeza e acionamento dos equipamentos, um encarregado e um operador de trator. Além disso, estimaram-se os custos com a mão de obra necessária para a manutenção

dos equipamentos.

De acordo com a Instrução Normativa SRF n° 162/1998, que estabelece o prazo de vida útil de equipamentos e construções, e a taxa de depreciação dos mesmos. Para o gerador e a mini carregadeira o prazo de vida útil é de 10 anos e a taxa de depreciação é de 10%, enquanto para a manta de PVC o prazo de vida útil de é 5 anos e a taxa de depreciação é de 10% (BRASIL, 1998).

A receita gerada pelo sistema de biodigestão será definida pela venda do biofertilizante e da energia elétrica gerada a partir do biogás produzido. Para a receita gerada pela comercialização do fertilizante, o valor médio de venda é de R\$ 60 por tonelada e para a receita gerada pela venda da energia, considera-se a sua equivalência energética por m<sup>3</sup> de biogás pelo valor em R\$ do kWh de energia.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Obtenção dos Dados dos Resíduos Sólidos Urbanos

Para o dimensionamento do sistema de biodigestão foram considerados os dados da população do ano de 2019, 16.643 habitantes segundo o IBGE (2019). Desse modo, através das pesagens realizadas pela Secretaria do Meio Ambiente, para esse total de habitantes, obtém-se a quantidade de 9,003 toneladas de resíduos e rejeitos por dia. Adotou-se a média nacional da fração orgânica do Brasil de 51,4 %, sendo assim, tem-se 138,82 t/mês de resíduos orgânicos para Rosana. Para o cálculo do volume, considerou-se que peso específico do resíduo sólido urbano é 0,7 t/m<sup>3</sup> (Rosana, 2015) e que a coleta dos resíduos sólidos urbanos acontece diariamente, trinta dias por mês. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 2.

População (2019)	Resíduo Coletado por (t/mês)	Geração RSU orgânico (t/mês) (51,4%)	Geração RSU orgânico (t/d)	Geração RSU Orgânico (m <sup>3</sup> /mês)
16.643	270,10	138, 82	4,63	198,323

Tabela 2 - Dados dos Resíduos Sólidos Urbanos

Fonte: própria autora, baseado em dados da Secretaria do Meio Ambiente de Rosana.

Considerando que o peso específico do resíduo sólido urbano é 0,7 t/m<sup>3</sup>, tem-se que o volume de resíduos orgânicos gerados é 6,61 /dia.

### 4.2 Projeto do sistema de biodigestão anaeróbica

Inicialmente estimou-se o volume do biodigestor considerando a carga de 13,22 m<sup>3</sup>/dia e que o material orgânico foi misturado com água na proporção 1:1, e um tempo de retenção hidráulico de 35 dias. A partir da Equação o volume obtido foi 462,7 V<sub>t</sub> =

462,7 m<sup>3</sup>. O valor estimado do volume do biodigestor servirá de base para comparar o cálculo do dimensionamento do biodigestor. A partir das equações apresentadas no Quadro 1, foi possível determinar as dimensões do biodigestor de modo a obter um volume do biodigestor próximo ao valor estimado.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros iniciais necessários para a determinação do volume do biodigestor, considerando que o biodigestor será alimentado diariamente, ou seja, alimentação contínua, conforme a coleta dos RSU.

Proporção Fase líquida/ gasosa (p)	Raio da campana (r)	Comprimento do biodigestor (L)
30%	2,5 m	25 m

Tabela 3 - Parâmetros iniciais para o dimensionamento do biodigestor

Fonte: própria autora.

O valor da proporção da fase gasosa adotado foi  $p=30\%$  para a evitar que a campana encoste nos resíduos contidos na fossa, o valor do raio da campana  $r=2,5\text{m}$  foi escolhido de modo que não ultrapasse a altura da fossa e o comprimento  $L=25\text{ m}$  a fim de atender as especificações do biodigestor.

De posse dos dados iniciais e a partir do equacionamento apresentado no Quadro 1 foi possível determinar o volume do biodigestor através da metodologia de Ribeiro (2004). Os valores obtidos para as dimensões do biodigestor são apresentados na Tabela 4 e verifica-se que o volume do biodigestor proposto é próximo ao valor estimado do volume.

Variáveis	Valores
Perímetro total transversal ( $P$ )	15,70796327
Porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco ( $A_g$ )	0,39529
Lateral, base ou largura da menor fossa ( $b$ )	3,166254156
Largura maior da fossa ( $a$ )	5,122999224
Profundidade da fossa ( $h$ )	3,011107702
Área transversal da fossa ( $A_f$ )	12,47991735
Área total transversal ( $A_t$ )	17,82845336
Área transversal da campana ( $A_g$ )	5,348536007
Volume total do biodigestor ( $V_b$ )	445,7113339
Volume total da fossa ( $V_f$ )	311,9979337
Volume total do gás ( $V_g$ )	133,7134002

Tabela 4 - Dimensionamento do biodigestor

Fonte: própria autora, baseado em Ribeiro, 2004.

Após o dimensionamento do biodigestor proposto, foi realizada a estimativa da vazão de metano gerado, a fim de verificarmos o potencial de geração de energia. Para tanto, assumiu-se que o  $FCM$  para o caso de aterro é 1 de acordo com IPCC (1996). Considerou-se que a fração em volume de  $CH_4$  no biogás de aterro ( $F$ ) é igual a 50%, valor este geralmente aceito conforme IPCC (2006). De acordo com IPCC (2006) o valor padrão para a recuperação de metano ( $R$ ), bem como o fator de oxidação ( $OX$ ) são zero.

Para o cálculo do  $COD_r$ , assume-se que esta temperatura permanece constante por volta dos 35 °C IPCC (1996), de modo que  $COD_r=0,77$ . Para o cálculo do  $COD$ , uma vez que os dados disponíveis não estavam discriminados da mesma forma que o modelo do IPCC (1996), foi feita uma adaptação a fim de considerar apenas o percentual de resíduos alimentícios orgânicos  $C$ , na composição dos RSU, de modo que  $COD=0,0771$ .

Conhecidos todos os parâmetros e a de quantidade de resíduos sólidos recebidos no aterro ( $t/ano$ ), tem-se o de metano gerado será  $Q_{CH_4}=65,97 ton/ano$ . Considerando a densidade do metano igual a  $0,0007168 t/m^3$ , tem-se que a quantidade de metano gerado será de  $91.955,13 m^3/ano$ , de modo que a vazão média diária de biogás gerado é de  $255,43 m^3/dia$ .

Para determinar a energia elétrica disponível é necessário encontrar o Poder calorífico inferior disponível do metano. Considerou-se o poder calorífico inferior do  $CH_4$  igual a  $3.281,92 kcal/kg$  para uma concentração de 50% de  $CH_4$  no biogás, e o peso específico igual a  $1,3372 kg/m^3$ . Desse modo,  $PCI_D=5,11 kW/m$ .

Com relação à eficiência elétrica de conversão, considerou-se  $\eta=0,34$  de acordo com Coldebella, 2008. Conhecidos o Poder calorífico inferior disponível, a vazão média diária de biogás gerado e a eficiência elétrica de conversão tem-se que a energia gerada a partir da utilização do biogás produzido será  $P_x=443,6-kW/dia$ .

De posse do dado de vazão  $255,43 m^3/dia$ , equivalente à  $10,64 m^3/h$ , o modelo encontrado é o JET184E da marca JET POWER Generation, cujas especificações são apresentadas na Tabela 5.

Modelo	Potência (kW)	Consumo ( $m^3/h$ )	Tensão (V)
JET184G	12-500	12	110/220

Tabela 5 - Especificações Motogerador

Fonte: própria autora.

### 4.3 Análise de viabilidade econômica do sistema de biodigestão anaeróbica

#### 4.3.1 Custos, Despesas e Investimentos do Sistema de Biodigestão Anaeróbica

A partir do dimensionamento do biodigestor foi possível determinar quais

equipamentos e materiais seriam necessários para a implantação e o funcionamento do sistema de biodigestão. Foi realizada uma pesquisa de mercado para especificar o preço de todos os materiais e equipamentos. Os materiais e equipamentos foram separados de acordo com a sua utilização, tipo em são custos variáveis ou fixos. A Tabela 6 apresenta os equipamentos necessários para operação do sistema de biodigestão e o valor referente à cada um deles bem como o custo total e a Tabela 7 apresenta os equipamentos necessários para a construção do biodigestor e os seus respectivos valores.

Na Tabela 8 são apresentados os equipamentos necessários para o funcionamento do sistema de biodigestão

Tipo	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Balança Digital Plataforma 300 kg	1	570,00	570,00
Peneira Manual	1	12,00	12,00
Picador Rotativo	1	13.850,00	13.850,00
Carrinho Caçamba (60 L)	1	124,70	124,70
<b>Subtotal</b>	-	-	14.556,7

Tabela 6 – Custo dos materiais necessários para operação da unidade

Fonte: própria autora.

Tipo	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Manta PVC Flexível 1 mm	12,48 m <sup>2</sup>	79,95 por m <sup>2</sup>	997,776
Tubulação PVC 150 mm	6 m	137,39 por m <sup>2</sup>	137,39
Tubulação PVC 40 mm	10 m	27,72 por m	55,44
Caixa de Alvenaria	1	851,18	851,18
<b>Subtotal</b>			2041,789

Tabela 7 - Equipamentos necessários para a construção do biodigestor

Fonte: própria autora.

Tipo	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Trator minicarregadeira	1	75.000,00	75.000,00
Motogerador	1	24.607,80	24.607,80
Termostato	1	169,62	169,62
<b>Subtotal</b>	-	-	99.777,42

Tabela 8 - Equipamentos - Sistema de biodigestão

Fonte: própria autora.

Para a construção do biodigestor se faz necessária a escavação da fossa e adequações no local. Os custos referentes à construção e adequações são apresentados na Tabela 9. Os custos com a escavação foram orçados a partir da tabela de valores de Pernambuco (2020), que considera a profundidade da fossa e o tipo de terra a ser

escavada. O levantamento dos custos para a instalação da rede hidráulica, bem como da instalação elétrica foi feito de acordo com o Site Habitissimo (2020).

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Unitário (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Escavação	1 diária	1.000, 00	1.000, 00
Mão de Obra	1 diária	1.000, 00	1.000, 00
Rede Hidráulica	25 m <sup>2</sup>	37, 00	925, 00
Rede elétrica	200 m <sup>2</sup>	50, 00	10.000
<b>Subtotal</b>	-	-	12.925, 00

Tabela 9 - Custos com construção e adequações

Fonte: própria autora., baseado em SÃO PAULO, 2020.

Para este empreendimento são necessárias licenças ambientais, sendo elas a licença prévia (LP), de instalação (LI) e de operação (LO), que são fornecidas pelo órgão regulador. Os custos referentes à tais licenças ambientais foram estimadas a partir de uma simulação realizada no site da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2020) e são apresentados na Tabela 10.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Licença Ambiental (LP, LI, LO)	1	11.900,00
<b>Subtotal</b>	-	11.900, 00

Tabela 10 - Custo estimado das licenças ambientais

Fonte: própria autora.

A fim de determinar os custos variáveis para o sistema de biodigestão proposto, se faz necessária a determinação dos custos com energia elétrica, equipamentos de proteção individual, embalagens e manutenção dos equipamentos. Para determinar os gastos com energia elétrica, inicialmente foi feito o levantamento do consumo de energia dos equipamentos do sistema de biodigestão. Considerou-se que os equipamentos do sistema de biodigestão serão utilizados de segunda a sexta, sendo os períodos de funcionamento: luminárias 2 h/dia e o picador 8 h/dia. Os custos referentes às luminárias dizem respeito à iluminação do barracão, uma vez que o mesmo será utilizado para guardar equipamentos. De posse dos dados de consumo dos equipamentos, foi determinado o custo com a energia a partir de uma simulação online fornecida pela empresa responsável pela distribuição da energia ELEKTRO considerando a média das três bandeiras tarifárias.

A Tabela 11 apresenta o consumo de energia elétrica para os equipamentos do sistema de biodigestão e a Tabela 12 apresenta os custos referentes ao consumo de energia elétrica, sendo considerada a média dos valores das três tarifas.



<b>Equipamento</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Horas do dia</b>	<b>Dias</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Picador	11,1855	8	18	1.610,712
Luminárias x 29	5,8	2	26	31,6
<b>Subtotal</b>	-	-	-	1.642,312

Tabela 11 - Consumo de energia dos equipamentos

Fonte: própria autora.

O consumo do empreendimento enquadra-se no grupo B1, além disso, considerou-se que o projeto se enquadra na classificação de indústria e tarifa comum.

<b>Tarifa</b>	<b>Valor (R\$)</b>
1	1.985, 18
2	2.006, 69
3	2.092, 78
Média Mensal	2.028, 22
Média Anual	24.338, 60

Tabela 12 - Custos com o consumo de energia

Fonte: própria autora.

Os custos com equipamentos de proteção individual (EPI's) foram encontrados em sites especializados em vendas desses materiais e os valores obtidos estão dispostos na Tabela 13.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitário (R\$)</b>	<b>Valor anual (R\$)</b>
Uniforme (3 trocas no ano)	6	69, 90	419, 40
Protetor auricular	1	57, 00	57, 00
Bota	3	30, 75	191,16
Botina de couro	6	47, 90	287,40
Luva	1	34, 90	34, 90
Óculos de proteção	6	3, 71	22,26
Máscara facial	1	601, 35	601, 35
Avental	9	6, 27	56, 43
<b>Subtotal</b>	-	-	1.669, 90

Tabela 13 - Custos com EPI's para o sistema de biodigestão

Fonte: própria autora.

O custo com as embalagens para armazenar o biofertilizante foi feito com base em

sites especializados. Para o levantamento dos custos com manutenção e a operação dos equipamentos, considerou-se uma taxa de 10% ao ano do valor total dos equipamentos. A Tabela 14 apresenta os valores dos custos variáveis que incluem: gastos com consumo de energia elétrica, embalagens, manutenção de equipamentos e reposição de EPIs.

<b>Tipo</b>	<b>Valor mês (R\$)</b>	<b>Valor Anual (R\$)</b>
Energia Elétrica	2.028, 22	24.338, 60
Galão 50 L (6000 unidades)	-	39.360,00
EPI's	1.669, 90	1.669, 90
Manutenção dos Equipamentos	-	2.460,78
<b>Subtotal</b>	-	<b>67.828,38</b>

Tabela 14 - Custos variáveis (despesas) para o sistema de biodigestão

Fonte: própria autora.

Considerou-se que para operacionalização do sistema serão necessários 3 funcionários, sendo eles 1 ajudante geral, 1 operador de trator e 1 encarregado. A Tabela 15 apresenta os valores dos custos fixos que incluem as despesas relacionadas com o pagamento de salários e encargos trabalhistas para os colaboradores.

<b>Função</b>	<b>Nº de funcionários</b>	<b>Salário mensal (R\$)</b>	<b>Salário anual (R\$)</b>
Ajudante Geral	1	1.119,00	13.428,00
Encarregado	1	2.739,00	32.868,00
Operador de trator	1	1.851,00	22.217,00
<b>Subtotal</b>	-	-	<b>68.513,00</b>

Tabela 15 - Custos fixos com funcionários para o sistema de biodigestão

Fonte: própria autora.

#### *4.3.2 Receitas e tributos do Sistema de Biodigestão Anaeróbica*

A receita gerada no projeto será proveniente da venda da energia elétrica e da venda do biofertilizante. O valor da receita será estimado para um período de 10 anos.

Considerou-se que 80% de todo o material orgânico será transformado em biofertilizante, onde serão produzidas 1.333,44 toneladas por ano de fertilizante. O valor de venda do biofertilizante foi obtido a partir de sites especializados, sendo o valor médio de R\$ 60 por tonelada. A receita gerada pela venda do biofertilizante por ano e para um período de 10 anos é apresentada na Tabela 16.

Ano	Valor (R\$/t)	% de venda	Biofertilizante ano (t)	Receita de venda anual (R\$)
Ano 1	60	80	1.333,44	80.006,40
Ano 1-10	-	-	13.334,40	800.064,00

Tabela 16 - Receita gerada a partir da venda do biofertilizante

Fonte: própria autora.

Sabendo que a energia gerada será 443,60 kWh pode-se determinar a quantidade de energia gerada ao longo do ano, bem como a receita de venda anual. Considerou-se que 100% da energia produzida será comercializada e o valor de venda considerado será o valor da tarifa emitida pela concessionária, sendo equivalente a R\$ 0,67/kWh. A receita gerada pela venda da energia por ano e para um período de 10 anos é apresentada na Tabela 17.

Ano	Volume (m³)	Energia gerada (kWh)	Valor (R\$/kWh)	% de venda	Receita de venda (R\$)
1	91.955,13	159.694,80	0,67	100	R\$ 106.995,50
1-10	919.551,3	1.596.948	0,67	100	R\$ 1.069.955,0

Tabela 17 - Receita gerada a partir da venda de energia

Fonte: própria autora.

Com relação aos tributos relacionados a receita gerada, considerou-se que o sistema de biodigestão enquadra-se no Simples Nacional, que abrange Microempresas e Empresas de Pequeno Porte. Os tributos considerados segundo a Lei Complementar nº 123/2006, são: IRPJ, CSLL, PIS/Pasep, COFINS, IPI, ICMS, ISS e CPP. Portanto, a alíquota atribuída a esse empreendimento pode ser de até 11,2% uma vez que a receita não ultrapassa o valor o limite de R\$ 720.000,01 até 1.800.000,00, e o valor a ser deduzido é de R\$ 22.500,00. Uma vez que o faturamento do empreendimento não ultrapassa o valor de R\$ 4,8 milhões não será cobrado o valor de ICMS.

#### 4.3.3 Depreciação do Sistema de Biodigestão Anaeróbica

A determinação da depreciação dos equipamentos e estruturas baseou-se na Instrução Normativa SRF nº 162/1998, em função do tempo de durabilidade de cada item. A fim de determinar tais despesas, divide-se o custo unitário de cada bem pelo seu tempo de vida útil. Considerou-se a minicarregadeira e o gerador, sendo que os dois equipamentos, tem uma vida útil de 10 anos e a taxa de depreciação é de 10%. A lona de PVC foi inclusa neste valor, pois a mesma tem uma durabilidade de 5 anos, e os cálculos serão realizados para um período de 10 anos. A Tabela 18 apresenta as despesas com depreciação dos equipamentos para o período de 10 anos.

Item	Previsão de durabilidade (anos)	Taxa de depreciação (%)	Depreciação Mensal (R\$)
Equipamentos	10	10	9.960,78
Manta de PVC	5	10	199,55
<b>Subtotal</b>			<b>10.160,33</b>

Tabela 18 - Depreciação e equipamentos para o sistema de biodigestão

Fonte: elaborada pela autora, baseado na Instrução Normativa SRF n° 162/1998.

#### 4.3.4 Análise Econômica do Sistema de Biodigestão Anaeróbica

No presente trabalho considerou-se que o tempo de vida útil do sistema de biodigestão é de 10 anos e para a montagem do fluxo de caixa foram estipuladas e reunidas todas as receitas e despesas para a implantação e operação do sistema proposto. Considerando o cálculo do Simples Nacional, a alíquota de tributação para empreendimentos de biodigestão é determinada com base no faturamento da empresa. As receitas utilizadas para esse cálculo foram a venda de energia elétrica e a venda do biofertilizante. A fim de determinar o valor da alíquota, as receitas de todos os anos foram inseridas em Contábeis (2020), sendo possível determinar o total descontado e a receita bruta, cujo valor encontrado para tabela Selic 2019 considerando os meses de janeiro a dezembro de 2019 foi de 5,76%. Os resultados são apresentados na Tabela 19.

Descrição	Receita Ano (1-10)
Alíquota	4,62%
Venda do biofertilizante	R\$ 80.006,4
Venda da energia elétrica	R\$106.995,50
Total Receita Bruta	R\$ 3.635,98
<b>Total Descontado</b>	<b>R\$ 178.362,41</b>

Tabela 19 - Alíquota para o sistema de biodigestão – Simples Nacional

Fonte: própria autora, baseado em Contábeis, 2020.

Com relação às alíquotas do imposto de renda (IR) vigentes, tem-se 15% sobre o lucro apurado, com adicional de 10% sobre a parcela do lucro que exceder R\$ 20.000,00 / mês (BRASIL, 2020).

Após a determinação do lucro real verificou-se que para todos os anos o lucro obtido está acima do valor de teto, de modo que o valor do IR será de 25%. Para a determinação do fluxo financeiro considera-se a receita bruta, que é a receita de venda da energia elétrica e do biofertilizante para cada ano e deduz-se o valor do imposto de modo a se obter a receita líquida. Ao valor da receita líquida subtraem-se os custos fixos, variáveis e de depreciação de modo a se obter o lucro líquido do sistema proposto. A Tabela 20 apresenta de maneira resumida o fluxo de caixa para o sistema de biodigestão proposto.

Ano	0	1	...	10
(+) Receita	-	80%		80%
(+) Venda Biofertilizante	-	R\$ 80.006,4		R\$ 80.006,4
(+) Venda energia elétrica	-	R\$ 106.995,50		R\$ 106.995,50
(-) Imposto	-	R\$ 8.639,49		R\$ 8.639,49
(=) Receita Bruta	-	R\$ 178.362,41		R\$ 178.362,41
(-) Custos Fixos	-	R\$ 68.513,00		R\$ 68.513,00
(-) Custos Variáveis	-	R\$ 67.828,38		R\$ 67.828,38
Lucro Líq. Antes do IR	-	R\$ 42.021,03		R\$ 42.021,03
(-) Depreciação	-	R\$ 9.960,78		R\$ 9.960,78
Lucro Líq. Após IR	-	R\$ 27.251,21		R\$ 27.251,21
(-) Investimento	-R\$ 145.255,32	-		-
<b>(=) Fluxo de Caixa</b>	-	R\$ 34.005,97		R\$ 34.005,97

Tabela 20 - Fluxo de Caixa Compactado para o sistema de biodigestão

Fonte: própria autora.

De posse dos dados de investimento inicial, lucros líquidos antes e depois do imposto de renda e o fluxo de caixa é possível se determinar os indicadores econômicos, Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e o *PayBack*. A Tabela 21 apresenta os resultados da avaliação econômica realizada a partir da análise do fluxo de caixa considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 5,76%.

Variáveis	Valores
TMA	5,76%
VPL	R\$ 102.893,29
TIR	18%
<b><i>Payback</i></b>	4,42 anos

Tabela 21 - Valores de VPL, TIR e *Payback*

Fonte: elaborado pela autora.

Comparando a Taxa Interna de Retorno (TIR) com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), verifica-se que a TIR igual a 18% é superior a TMA de 5,76%, o indica que o projeto é viável. O Valor Líquido Presente obtido para o sistema proposto foi de R\$ 102.893,29, mostrando que o projeto é economicamente rentável e exequível, demonstrando que o investimento é atrativo. O Tempo de Retorno de Investimento ou *Payback* obtido foi positivo, demonstrando que para o investimento do projeto será possível obter retorno em aproximadamente 4,42 anos. Embora seja gerada uma baixa quantidade de resíduo sólido orgânico no município de Rosana, a implantação de um sistema de biodigestão se mostra uma opção viável do ponto de vista econômico.

## 51 CONCLUSÃO

Considerando a quantidade de resíduos sólidos orgânicos gerados no município serão produzidos anualmente 91.955,13 m<sup>3</sup> de metano (CH<sub>4</sub>), o que corresponde a uma vazão de 10,64 m<sup>3</sup>/h. Verificou-se que para esta vazão de biogás a energia gerada será de aproximadamente 443,60 kWh. Considerando que toda a energia elétrica obtida a partir da utilização do biogás será comercializada, a receita gerada pela venda da energia será de R\$ 106.995,50/ano. Considerando que 80% do resíduo gerado no processo de biodigestão será efetivamente transformado em biofertilizante, tem-se que a receita gerada a partir de sua venda será de R\$ 80.006,40/ano. A partir da análise econômica, verificou-se que a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi 18%, valor este superior a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 5,76%, indicando que o projeto proposto é viável. O Valor Líquido Presente (VPL) obtido foi de R\$ 102.893,29, sendo este valor atrativo para a implantação do projeto. O valor *Payback* obtido para o projeto é de 4,42 anos, valor este considerado razoável para um empreendimento. Desse modo, conclui-se que o sistema de biodigestão proposto é um projeto viável, exequível e economicamente atrativo para o município.

Uma vez que no levantamento dos resíduos não foram considerado os resíduos de poda e carpina espera-se que a fração orgânica existente no município seja superior à 4,63 t/dia, de modo que ao incorporar tais resíduos a receita gerada pela venda da energia e do biofertilizante obtidos do processo de biodigestão seria aumentada.

A partir dos resultados obtidos no presente estudo verifica-se que a implementação do sistema de biodigestão no município de Rosana é viável, permitindo a geração de receitas para o município a partir comercialização de energia, biofertilizante, bem como a geração de emprego para os municípios.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Edição Especial 10 anos**, [S.l.], 2012. 114 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, Ago. de 2012.

BRASIL. SISTEMA NORMAS - GESTÃO DA INFORMAÇÃO, Receita Federal. INSTRUÇÃO NORMATIVA SRF N° 162, DE 31 DE DEZEMBRO DE 1998: Anexo I - Bens relacionados na Nomenclatura Comum do MERCOSUL - NCM. Brasil, 31 dez. 1998. Disponível em: <<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/anexo1-in-srf-162-1998.htm>>. Acesso em: 29 jun. 2020.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v.5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

COLDEBELLA, ANDERSON; SOUZA, SAMUEL N. M.; FERRI, PRISCILA; KOLLING, EVANDRO M. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. Informe Gepec, v. 12, n. 2, Jul/Dez. 2008.

CONTÁBEIS. **Simplex Nacional (Supersimples) - CNAES e Anexos**. Simplex Nacional. 2020. Disponível em: <https://www.contabeis.com.br/ferramentas/simples-nacional/3839401/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Ciência & Saúde Coletiva, [s.l.], v. 17, n. 6, p. 1503-1510, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232012000600014>.

HABITISSIMO. **Instalação hidráulica: Preços e Orçamento On-line**. Disponível em: <https://www.habitissimo.com.br/orcamentos/fazer-instalacao-hidraulica-completa#1>. Acesso em: 2 jun. 2020.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Plano de Resíduos Sólidos do Estado São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, CETESB. 1ª ed. – São Paulo: SMA, 2014. 350p.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. População estimada de 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso: 03 mai. 2020.

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

PERNAMBUCO. Compensa. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. **Portal Engenharia**. 2020. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/engenharia/#>. Acesso em: 10 ago. 2020.

PIRES, A. **Potencial do Biogás no País é Enorme**. 2019. Disponível em: <<http://www.ceisebr.com/conteudo/potencial-do-biogas-no-pais-e-enorme.html>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

RIBEIRO, D. Biodigestor: Maximización del volumen. Universidade EARTH, Guácimo. 2004. 13 p. Trabalho de aluno.

ROSANA. Prefeitura Municipal de Rosana. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Rosana, 2015. 286 p.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Epígraf, Paraíba, 1994.

YEO, K. T., & QIU, F., The value of management flexibility a real option approach to investment evaluation. International Journal of Project Management, 21(4), 243–250, 2003.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

- Activated sludge 72, 73
- Anthropogenic actions 88
- Aquatic biota 250
- Artificial ecosystem 115
- Atmospheric indicators 1, 2

### B

- Biodigesters 186
- Biodigestion 186, 187
- Biofertilizer 186, 254
- Biogas 186, 204, 254
- Biological filters 72
- Biomass 102, 103, 112

### C

- Cerrado biome 88
- Chlorination 28
- Contaminants of Emerging Concern (CEC) 245

### D

- Drugs 235, 246, 251, 252, 254, 255

### E

- Ecosystem 115
- Effluents 28, 43, 72, 256
- Environmental impact 218
- Evapotranspiration 115

### F

- Fecal coliforms 15

### G

- Geostatistical method of spatialization (Krigagem) 115

### H

- Heat islands 115, 123
- Human Development Index (HDI) 205



## **I**

Inclusive recycling 145

## **L**

Lakes 54

## **M**

Mayan communities 57

Mixed Integer Linear Programming (MILP) 156, 158

## **N**

National Institute for Space Research (INPE) 88

National Solid Waste Policy (PNRS) 134, 159, 166, 169, 175, 178, 235

## **O**

Oligotrophic 43

Organic waste 178, 180, 181, 182

## **P**

Percolating 72

Pesticide 245, 248, 249, 251, 252, 253, 254

Pharmaceuticals 245, 247, 249, 250, 251, 252

Phytoplankton 43

Polishing pond 72

Precipitable water (PW) 2, 4

## **Q**

QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) 245, 247, 248, 249, 250, 251, 253, 254, 255

## **R**

Recyclable materials 134, 135, 154, 162, 164, 178, 183

Residential condominiums 178, 179, 183

Reuse 27, 28, 135, 180, 183, 218, 256

Rivers 43

## **S**

Sanitation 70, 165, 166, 169, 174, 205, 206

Sewage treatment 252, 256

Solar radiation 115, 256

Solid waste 134, 154, 156, 157, 158, 159, 166, 169, 171, 175, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 235

Solid Waste Master Plan 178

Stabilization ponds 72

State Institute for the Environment and Water Resources (IEMA) 124

Sustainability 176, 178, 182, 184, 219

Synchrotron radiation 15, 218

## **U**

United States Environmental Protection Agency (USEPA) 28

Urban solid waste management 159, 175, 183

## **W**


Waste Transfer Station (WTS) 156, 157, 171, 174, 176


Water pollution 15


Water resources 26, 57, 124, 162, 250


Water treatment 218

World Health Organization (WHO) 28, 250

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

---

*Collection:*

# APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

---

*Collection:*

# APPLIED ENVIRONMENTAL AND SANITARY ENGINEERING