



**UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL**

AFONSO DE FARIA COIMBRA LICHTENFELS

**DIAGNÓSTICO DO MODELO ATUAL DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES, COMERCIAIS E PÚBLICOS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO
PRETO E PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
DISPOSIÇÃO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

RIBEIRÃO PRETO

2018

AFONSO DE FARIA COIMBRA LICHTENFELS

**DIAGNÓSTICO DO MODELO ATUAL DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES, COMERCIAIS E PÚBLICOS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO
PRETO E PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
DISPOSIÇÃO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

Dissertação apresentada à Universidade de Ribeirão Preto como requisito para a obtenção do título de mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dra. Carmen Silvia Gonçalves Lopes

RIBEIRÃO PRETO

2018

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

L699d Lichtenfels, Afonso de Faria Coimbra, 1964 -
Diagnóstico do modelo atual de gestão dos resíduos sólidos
domiciliares, comerciais e públicos no município de Ribeirão Preto
e proposta de adequação da tecnologia com aproveitamento
energético / Afonso de Faria Coimbra Lichtenfels. - Ribeirão Preto,
2018.
84 f.: il. color.

Orientadora: Profª. Drª. Carmen Silvia Gonçalves Lopes.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2018.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Custo de gerenciamento de
RSU. 3. Digestor anaeróbio modular I. Título.

CDD 628

Afonso de Faria Coimbra Lichtenfels

“ DIAGNÓSTICO DO MODELO ATUAL DE GESTÃO DOS RESÍDUOS
SÓLIDOS DOMICILIARES, COMERCIAIS E PÚBLICOS NO MUNICÍPIO DE
RIBEIRÃO PRETO E PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DA TECNOLOGIA DE
DISPOSIÇÃO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO”.

Dissertação apresentada como
requisito parcial para a obtenção do
título de Mestre pelo programa de
Mestrado Profissionalizante em
Tecnologia Ambiental do Centro de
Ciências Exatas, Naturais e
Tecnologias da Universidade de
Ribeirão Preto.

Orientador: Profa. Carmen Silvia
Gonçalves Lopes

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 23 de março de 2018

Resultado: aprovado

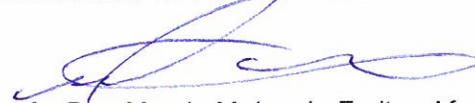
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Carmen Silvia Gonçalves Lopes
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP
Presidente



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP



Profa. Dra. Marcia Maísa de Freitas Afonso
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP

Ribeirão Preto
2018

Dedico este trabalho a minha esposa Ana Paula e ao meu filho Nathan por serem meus tesouros preciosos e unicamente a razão de meu esforço e dedicação a tudo nesta vida. Por me incentivarem a assumir este desafio e por me compreenderem em todos os momentos que a realização deste trabalho os privou de nosso precioso convívio.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Pela vida, pela família, pela salvação, pela graça, pelas conquistas, pela proteção e suprimento diários, por tornar tudo possível em minha vida.

A minha esposa Ana Paula,

Por sua força, paciência, incentivo, direcionamento, compreensão, dedicação e amor incondicional. Por sempre acreditar em mim e nunca ter me deixado. Meu abrigo, meu refúgio, minha vida e inspiração. Meu amor.

Ao meu filho Nathan,

Por ser verdadeiramente um presente de Deus em minha vida; por sua vivacidade e lucidez; por seu espírito humilde e equilibrado; por ser, desde a tenra idade, um grande homem e um filho em quem muito me comprazo e me orgulho. Minha herança e minha descendência.

A meus pais,

Pela vida, pelo exemplo, pela inspiração e preciosa formação que fizeram com que até hoje eu permanecesse íntegro e próspero.

Aos meus irmãos Aluizio, Cynthia, Ana Julia e Fabio por serem aqueles que, mesmo a distância, sempre me amaram e torceram por mim.

A Professora Doutora Carmen Silvia Gonçalves Lopes,

Por sua força, coragem e resignação ante os desígnios da vida. Pela graça, simpatia e encorajamento que sempre fizeram parte de seu atendimento e orientação; por me transmitir tanto em tão pouco tempo de convivência.

A Professora Doutora Luciana Rezende Alves de Oliveira,

Pelo apoio, encorajamento, disposição e compreensão que sempre fizeram parte de seu atendimento as minhas incontáveis e intrincadas contingências.

Ao Professor Doutor Valdir Schalck,

Pelo equilíbrio, mansidão e preciosas orientações.

Ao Professor Doutor Reinaldo Pisani Junior,

Pelos preciosos ensinamentos, por seu pragmatismo e seriedade, pela paciência, apoio, tempo e orientação a mim dispensados.

Ao Professor Doutor Murilo Daniel de Mello Innocentini,

Pelos preciosos ensinamentos, pela paciência e compreensão nas horas difíceis.

Ao Professor Doutor Luciano Farias de Novaes,

Pelos ensinamentos, pelas excelentes e bem humoradas aulas, pelo conhecimento, carisma e amizade.

A todos os colegas e amigos que fizeram parte desta trajetória e contribuíram de uma forma ou de outra, tornando possível a realização deste sonho.

A todos a minha gratidão e o desejo que Deus os abençoe sempre.

RESUMO

Os princípios e diretrizes estabelecidos na Política Municipal de Resíduos Sólidos e de Limpeza Urbana do município de Ribeirão Preto preconizam que o sistema de limpeza urbana de um município deve ser institucionalizado segundo um modelo de gestão que, na medida do possível e da realidade local, seja capaz de promover prioritariamente a sustentabilidade econômica das operações, preservar o meio ambiente e a qualidade de vida da população. Isso implica que, em todos os segmentos operacionais do sistema de limpeza urbana deverão ser escolhidas as melhores alternativas que atendam simultaneamente a duas condições fundamentais: que sejam as mais econômicas e que sejam tecnicamente corretas para o ambiente e para a saúde da população. Com base nisso, o presente trabalho objetiva diagnosticar o modelo de gestão dos resíduos sólidos domiciliares, comerciais e públicos adotado no município de Ribeirão Preto e propor uma tecnologia de disposição mais adequada ambientalmente e que possibilite ainda a geração e o aproveitamento energético com vistas a redução de custos para o município. Para tanto, o método utilizado caracterizou o modelo atual de gestão dos RSDCU adotado no município, no que tange o processo e os custos, através do levantamento de informações junto ao site da prefeitura, verificação *in loco* com registro fotográfico das operações envolvendo a coleta, transbordo, transporte e disposição dos RSDCU, contato com profissionais encarregados e orçamento de fornecedor de biodigestor anaeróbio modular para caracterização de seu processo e posterior análise comparativa do custo x benefício dessa tecnologia em relação ao modelo vigente. O resultado demonstrou não ser o modelo vigente o mais viável economicamente, sinalizando ainda para a perspectiva de utilização da tecnologia de biodigestores anaeróbios modulares para a geração do biogás e produção de energia elétrica que reduziriam os custos decorrentes do sistema de gerenciamento dos RSDCU atualmente vigente no município.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Domiciliares, Comerciais e Urbanos; Biodigestores Anaeróbios Modulares; Biogás; Viabilidade Econômica; Geração e Aproveitamento Energético.

ABSTRACT

The principles and guidelines established in the Municipal Solid Waste and Urban Cleaning Politics of the municipality of Ribeirão Preto state that the urban cleaning system of a municipality should be institutionalized according to a management model that, to the extent possible and local reality, is capable of promoting primarily the economic sustainability of operations, preserving the environment and the quality of life of the population. This implies that in all operating segments of the urban sanitation system, the best alternatives must be chosen that meet simultaneously two fundamental conditions: that are the most economical and that are technically correct for the environment and the health of the population. Based on this, the objective of this study is to diagnose the solid, commercial and public solid waste management model adopted in the city of Ribeirão Preto and to propose an environmentally more adequate disposal technology that also allows the generation and use of energy for reduction costs for the municipality. To do so, the method used characterized the current model of management of the RSDCU adopted in the municipality, regarding the process and costs, through the collection of information at the site of the city hall, verification in loco with photographic record of operations involving the collection, transshipment, transport and disposal of the RSDCU, contact with professionals in charge and supplier budget of modular anaerobic bio digesters to characterize its process and later comparative analysis of the cost x benefit of this technology in relation to the current model. The result showed that this was not the most economically viable situation, also signaling the prospect of using the technology of modular anaerobic bio digesters for the generation of biogas and the production of electric energy that would reduce the costs resulting from the management system of the RSDCU currently in force in the municipality.

Keywords: Domiciliary, Commercial and Urban Solid Waste; Modular Anaerobic Bio Digesters; Biogas; Economic viability; Generation and Energy Utilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do município de Ribeirão Preto	27
Figura 2 - Variabilidade mensal de precipitações no município de Ribeirão Preto.....	30
Figura 3 - Variabilidade mensal da temperatura no município de Ribeirão Preto.....	31
Figura 4 - Evolução populacional no município de Ribeirão Preto de 1980 à 2010	34
Figura 5 - Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará.....	35
Figura 6 - Esquema das etapas dos processos de digestão anaerobica simplificado... ..	42
Figura 7 - Correlação entre eficiência de redução de sólidos totais em relação a fração de inóculo no substrato	45
Figura 8 - Modelos de digestores anaerobico utilizados mundialmente	47
Figura 9 - Esquema tpico de um digestor europeu.....	49
Figura 10 - Esquema tpico de um biodigestor canadense	50
Figura 11 - Crescimento populacional no município de Ribeirão Preto	60
Figura 12 - Geração de RSU no município de Ribeirão Preto	61
Figura 13 - Resíduos sólidos domiciliares	64
Figura 14 - Resíduos sólidos comerciais.	64
Figura 15 - Resíduos sólidos públicos	65
Figura 16 - Caminhão compactador e coletores de resíduos sólidos domiciliares	65
Figura 17 - Estação de Transbordo.....	66
Figura 18 - Estação de Transbordo.....	66
Figura 19 - Estação de Transbordo.....	67
Figura 20 - Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará.....	67
Figura 21 - Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará	68
Figura 22 - Biodigestor canadense com três módulos	71
Figura 23 - Sistema de lagoas do biodigestor canadense	72

Figura 24 - Geomembrana que impermeabiliza as lagoas.....73

Figura 25 - Geomembrana que recobre o biodigestor73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Destino dos RSU no Brasil.....	25
Tabela 2 - Quantitativo das classes de uso e ocupação do solo de Ribeirão Preto	29
Tabela 3 - Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo	32
Tabela 4 - Estimativa da geração de RSU para o município de Ribeirão Preto.....	36
Tabela 5 - Gravimetria dos RSU do município de Ribeirão Preto baseada na PNRS	38
Tabela 6 - Custos de implementação de aterros sanitários por etapa	40
Tabela 7 - Características e composição típica do Biogás.....	54
Tabela 8 - Análise da implantação de plantas de digestão anaeróbias	56
Tabela 9 - Crescimento populacional no município de Ribeirão Preto.....	60
Tabela 10 - Geração de RSU no município de Ribeirão Preto.....	61
Tabela 11 - Cenário obtido para o município de Ribeirão Preto	69
Tabela 12 - Custos mensais de disposição dos RSU no município de Ribeirão Preto....	70
Tabela 13 - Receita estimada da venda de energia elétrica	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tecnologias de tratamento de RSU	52
---	----

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA	Áreas de difícil acesso
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ARCADIS	Estudo sobre o potencial de geração de energia a partir de Resíduos de Saneamento
ATERP	Associação de Transportadores de Entulho e Resíduos de Ribeirão Preto
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
DAERP	Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CGR	Centro de Gerenciamento de Resíduos
CLI	Coordenadoria de Limpeza Urbana
EGG	German Renewable Energy Sources Act
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FORSU	Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos
GEE	Gases de Efeito Estufa
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
NGA	Núcleo de Gerenciamento Ambiental
NBR	Norma Brasileira Registrada
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio

PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMRP	Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMRSLU	Política Municipal de Resíduos Sólidos e de Limpeza Urbana
PMSBRP	Plano Municipal de Saneamento Básico de Ribeirão Preto
PNMC	Plano Nacional sobre Mudanças do Clima
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PSLUMRSU	Plano Setorial de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos
RCD	Resíduos da Construção Civil e de Demolição
RDE	Resíduos Domiciliares Especiais
RFE	Resíduos de Fontes Especiais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSDCU	Resíduos Sólidos Domiciliares, Comerciais e Urbanos
RSS	Resíduos Sólidos dos Serviços de Saúde
SCPMRP	Secretaria da Cultura da Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto
SEADE	Fundação Sistema Estadual - Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
ST	Sólidos Totais
SUASA	Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária
TPR	Tempo de Processamento do Resíduo
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVOS GERAIS	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1 LEGISLAÇÃO	22
3.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE A DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU	24
3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE O MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO	27
3.3.1 Histórico do Município de Ribeirão Preto.....	28
3.3.2 Localização do Município de Ribeirão Preto.....	29
3.3.3 Uso e Ocupação do Solo	29
3.3.4 Aspectos Climáticos e Meteorológicos	30
3.3.5 Hidrografia	31
3.3.6 Geologia e Morfologia	32
3.3.7 Aspectos Antrópicos	33
3.3.8 Sistemas de Saneamento Básico	34
3.3.9 Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Ribeirão Preto.....	37
3.4 ATERROS SANITÁRIOS	38
3.4.1 Projeto e operação de um aterro sanitário.....	38
3.4.2 Legislação e normalização para aterros sanitários	39
3.4.3 Custos com implantação e operação de aterros sanitários	40
3.5 BIODIGESTORES ANAERÓBIOS	41
3.5.1 Etapas da digestão anaeróbia	41
3.5.2 Influência da concentração de sólidos na digestão anaeróbia.....	43
3.5.3 Digestão anaeróbia com alto teor de sólidos totais.....	45
3.5.4 Digestão anaeróbia com baixo teor de sólidos	46
3.5.5 Tipos de biodigestores anaeróbios.....	46
3.5.6 Capacidade energética dos digestores anaeróbios	51

3.5.7 Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	53
3.5.8 Biogás.....	53
3.5.9 Substratos das plantas de digestão anaeróbias	55
3.5.10 Custos das Plantas de Digestão Anaeróbias.....	55
4 METODOLOGIA	57
4.1 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E DE GERAÇÃO DE RSU NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO	57
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, COMERCIAIS E URBANOS ADOTADO NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO.....	57
4.3 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS COM COLETA, TRANSBORDO, TRANSPORTE E DISPOSIÇÃO FINAL DOS RSDCU ATUALMENTE NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO.....	58
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RSDCU EM BIODIGESTORES MODULARES POR MEIO DA DESCRIÇÃO DE DADOS TÉCNICOS APRESENTADOS PELO FORNECEDOR.....	58
4.5 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES	59
4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES E OS CUSTOS DISPENDIDOS PELO ATUAL SISTEMA DE GERENCIAMENTO DOS RSDCU ADOTADO PELO MUNICÍPIO	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1 PANORAMA SOBRE A AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E DE GERAÇÃO DE RSU NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO.....	60
5.2 DIAGNÓSTICO SOBRE O SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO.....	62
5.2.1 Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará (CGR).....	67

5.3 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS ATUALMENTE DISPENDIDOS NO MUNICÍPIO COM A COLETA, TRANSBORDO, TRANSPORTE E DISPOSIÇÃO FINAL DE RSD.....	69
5.4 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RSDCU EM BIODIGESTORES MODULARES POR MEIO DA DESCRIÇÃO DE DADOS TÉCNICOS APRESENTADOS PELO FORNECEDOR.....	71
5.5 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES.....	75
5.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES E OS CUSTOS DISPENDIDOS PELO ATUAL SISTEMA DE GERENCIAMENTO DOS RSDCU ADOTADO PELO MUNICÍPIO.....	75
6 CONCLUSÕES.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	79
ANEXO 1	

1 INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2010), o município de Ribeirão Preto está situado no noroeste paulista e possui aproximadamente 748.000 habitantes (SEADE, 2011). No contexto regional e estadual, apresenta grande relevância em virtude de seu desenvolvimento econômico, o que faz com que grande parte de sua população esteja concentrada em zonas urbanas.

De acordo com o Plano de Saneamento Básico do Município de Ribeirão Preto - PSBMRP (2012), o crescimento populacional acelerado presente no município de Ribeirão Preto tem contribuído com significativo aumento na geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) fato que, de acordo com as características desse resíduo, sugere a busca de alternativas para o gerenciamento de grandes volumes, bem como, de áreas e/ou tecnologias para disposição adequada desses resíduos.

Contudo, o crescimento populacional em conjunto com a falta de fiscalização dos órgãos públicos municipais vem acarretando elevado crescimento de despejos que, dispostos de forma inadequada, ocasionam riscos a saúde da população. Não obstante, as consequências do crescimento urbano aumentam a impermeabilização do solo e intensificam o assoreamento dos rios sujeitando a cidade a inundações que potencializam esses riscos (PSBMRP, 2012).

Segundo a Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, com base em um levantamento realizado no ano de 2011, estima-se que o total mensal de resíduos sólidos urbanos gerados no município seja em média 15.866,35 toneladas e a produção per capita de resíduos 0,859 kg/hab por dia. Destaca-se ainda que, tal estimativa foi realizada desconsiderando a geração de resíduos dos serviços de saúde e da construção civil (PMRP, 2012).

Devido ao crescimento populacional e ao método adotado pelo município de Ribeirão Preto quanto à disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos, que se contrapõe a Lei 12305/2010 que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, surge a necessidade de atendimento a este ordenamento e a consequente destinação adequada visando a redução dos custos e a utilização de novas tecnologias disponíveis no mercado.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM (2001), o gerenciamento integrado de resíduos sólidos é definido como um conjunto de atividades desempenhadas por órgãos municipais e da sociedade civil, propostos a realizar uma destinação dos RSU de forma correta, em conformidade com a lei 12.305/2010, sendo obrigatória a integração dessas atividades ao plano diretor do município definido pela lei municipal nº 2.157/2007.

A Lei 12305/2010 define em seu artigo 3º, inc. X, o gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

Os prestadores de serviços de coleta, transbordo, transporte e destinação final dos RSU do município de Ribeirão Preto são definidos por meio de licitações de ampla concorrência através de chamamentos públicos. Atualmente, este serviço está sob a responsabilidade do grupo empresarial Leão e Leão LTDA, incumbido de realizar a coleta, transbordo e transporte e, do Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guataparará (CGR), de iniciativa privada, responsável pela disposição final adequada dos rejeitos. O CGR de Guataparará recebeu o licenciamento de operação concedido pela CETESB no ano de 2007 e pela Secretaria do Meio Ambiente e, na atualidade, atende as normas e deveres estabelecidos por estes órgãos.

Segundo a prefeitura municipal de Ribeirão Preto (PMRP, 2014), estima-se que o custo médio mensal gasto com a disposição de forma adequada de seus resíduos seja de R\$ 4.452.988,00, o que abre uma série de questionamentos sobre a viabilidade econômica do sistema em vigor, bem como, da implantação de outros sistemas de gerenciamento dos RSU e disposição de rejeitos. Tal situação sinaliza ainda para a perspectiva de utilização de outra tecnologia como a implantação de digestores anaeróbios com vistas à geração do biogás e à produção de energia elétrica, reduzindo assim os custos decorrentes do sistema de gerenciamento dos RSU atualmente vigente no município.

Atualmente, existem disponíveis no mercado de biodigestores, projetos de plantas de digestão anaeróbia com vistas à produção de energia elétrica e comercialização de biogás para o tratamento da fração orgânica dos RSU. O custo

de implantação de cada módulo gira em torno de R\$ 545.000,00 para cada 100 mil habitantes e trás consigo uma capacidade de geração de energia elétrica de 1,43 kW.h/m³ que pode ser comercializada para a concessionária de energia elétrica, trazendo rentabilidade ao processo e um possível retorno no investimento no prazo aproximado de 36 meses (BARBOSA, *et al.*, 2004).

Tais fatos motivaram o presente estudo que tem o objetivo de diagnosticar o processo que envolve a coleta, transporte, transbordo e disposição final empregado atualmente pela prefeitura municipal de Ribeirão Preto, seus respectivos custos e a indicação de uma tecnologia mais adequada ambientalmente, mais viável economicamente e com aproveitamento energético.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi realizar um diagnóstico da situação vigente no município de Ribeirão Preto no que tange à problemática envolvendo a gestão dos Resíduos Sólidos Domiciliares e propor uma tecnologia que apresente melhoria no gerenciamento desses resíduos. O que se vislumbra é um comparativo entre o cenário atual de gestão, cujo processo envolve a coleta, transbordo, transporte e disposição final em aterro sanitário e um novo cenário por meio do qual a gestão inclua a indicação de uma tecnologia alternativa de disposição com aproveitamento energético e comprovação de sua viabilidade econômica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo pretendido, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares, comerciais e urbanos (RSDCU) no município de Ribeirão Preto;
- Avaliar as taxas de crescimento populacional e de geração de RSDCU no município de Ribeirão Preto;
- Avaliar os custos atualmente dispendidos no município com a coleta, transbordo, transporte e disposição final de RSDCU;
- Caracterizar a tecnologia de disposição final de RSDCU em biodigestores modulares por meio da descrição de dados técnicos apresentados por fornecedores;
- Avaliar os custos de aquisição, instalação e operação de biodigestores modulares;
- Comparar os custos de instalação, operação e manutenção de biodigestores modulares e os custos dispendidos pelo sistema de gerenciamento dos RSDCU atualmente adotado pelo município, com vistas à evidenciação de suas vantagens e viabilidade econômica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 LEGISLAÇÃO

Atualmente, existe no Brasil um amplo conjunto de leis, decretos, resoluções e normas que evidenciam grande preocupação com o meio ambiente e, especificamente no que tange a questão da limpeza urbana. A Constituição Federal, em seu artigo 225, estabelece que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e as futuras gerações (BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, 1988).

Há ainda iniciativas do Legislativo municipal por meio das leis orgânicas e demais instrumentos legais próprios, assim como a lei estadual paulista 12300/06 que estabelece a Política Estadual de Resíduos Sólidos e a lei federal 12305/10, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

A ABNT 2.004, por meio da NBR 10.004, caracteriza os resíduos sólidos como, qualquer resíduo nos estados sólido e semissólido resultante de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº 12.305 (2010) entende resíduo sólido como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL - Lei Federal nº 12.305, 2010)

Numa abordagem mais restrita, a NBR 8419 (ABNT, 1992) refere-se aos resíduos sólidos urbanos (RSU) como aqueles “gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos, [...]” (ABNT, NBR 8419, 1992).

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, NBR 10.004, 2004).

Nesse aspecto, o art. 225 da Constituição Federal também ajuda a esclarecer que todo município tem o dever de proteger o meio ambiente, uma vez que impõe ao poder público (União, Estados e Municípios) e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para a presente e futuras gerações. Posto isso, cada município deve legislar sobre proteção ambiental e as prefeituras devem se respaldar em suas leis orgânicas a fim de decidir, em função de sua escala urbana (determinada pelo tamanho de sua população), sua situação socioeconômica e cultural, alternativas possíveis para institucionalizar sistemas de limpeza urbana, formas de gestão, cobranças de taxas e tarifas e associações com outras entidades que possam atuar ou convergir esforços, independentemente de sua natureza institucional no país.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reafirma a definição da Lei 11.145/2007 sobre a obrigatoriedade de elaboração de Planos de Resíduos Sólidos para todos os municípios brasileiros. Em seu Art. 14 a Lei 12.305 define como planos de resíduos sólidos: (i) O Plano Nacional de Resíduos Sólidos; os planos estaduais de resíduos sólidos; (ii) os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas; (iii) os planos intermunicipais de resíduos sólidos; (iv) os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos; e (v) os planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

A referida Política Nacional de Resíduos Sólidos condiciona a elaboração de um plano de gestão integrada de resíduos sólidos pelos municípios e o Distrito Federal para acessar recursos da União, ou por ela controlados, destinado a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.

Em consonância, no âmbito municipal, a Câmara Municipal de Ribeirão Preto aprovou o Projeto de Lei Complementar nº 223/2012, de autoria do Executivo

Municipal, que institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos e de Limpeza Urbana - PMRSLU. No capítulo I, em seu artigo I, o parágrafo único estabelece que:

Estão sujeitos ao previsto nesta Lei todos os órgãos e entidades do Município, bem como os órgãos e entidades públicos ou privados que desenvolvam serviços e ações relativos a resíduos sólidos e limpeza urbana no âmbito do território do Município de Ribeirão Preto (Lei Complementar nº 2538, de 25 de maio de 2012).

No artigo 2º, inciso IV, essa lei considera como destinação final ambientalmente adequada de resíduos a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária - SNVS e do Sistema Único de Atenção à Saúde Agropecuária - SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Não obstante, define, no artigo VIII, o Gerenciamento de Resíduos Sólidos como: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e, ainda, no artigo IX, a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (RIBEIRÃO PRETO, 2012. Lei Complementar nº 2538). Com base nesses dispostos, há que se considerar a necessidade proeminente e contínua de empenho do poder público na busca por alternativas de gerenciamento capazes de mitigar o impacto da geração de resíduos em todas as dimensões.

3.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE A DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A industrialização e o conseqüente aumento da produção e consumo de bens industrializados trouxe consigo um acréscimo significativo na geração de resíduos seja em decorrência do processo produtivo, ou do consumo em si. Entretanto, esse aumento não é acompanhado pela velocidade com que a natureza decompõe esses

resíduos, gerando um volume que, por não ter destinação adequada, ocasiona um problema ambiental e de saúde pública.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada no ano de 2014 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em parceria com o Ministério das Cidades, revelou a magnitude do problema envolvendo os lixões no Brasil, como se observa na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Destino dos Resíduos Sólidos no Brasil

MUNICÍPIOS - TOTAL E COM SERVIÇO DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, POR UNIDADE DE DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES E/OU PÚBLICOS										
GRUPO DE MUNICÍPIOS	MUNICÍPIOS									
	TOTAL	COM SERVIÇO DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS								
		TOTAL	UNIDADE DE DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES E/OU PÚBLICOS							
			Vazadouro a céu aberto (lixão)	Vazadouro em áreas alagadas ou alagáveis	Aterro Controlado	Aterro Sanitário	Unidade de Compostagem de Resíduos Orgânicos	Unidade de Triagem de Resíduos Recicláveis	Unidade de Tratamento por Incineração	Outra
TOTAL	5564	5562	2810	14	1254	1540	211	643	34	134
	100%	99,96%	50,50%	0,25%	27,68%	27,68%	3,79%	11,56%	0,61%	2,41%

Fonte: Adaptado de PNSB, 2008 (2018)

Ao se analisar os dados apresentados na Tabela 1, observa-se que, em 50,5% dos municípios brasileiros, a destinação final dos resíduos para vazadouros a céu aberto (lixões) ainda está presente. Apesar da significativa mudança desse quadro nos últimos 25 anos, em especial nas Regiões Sudeste e Sul do País, constata-se ainda um cenário inadequado de destinação que exige soluções urgentes para o setor.

Contudo, Barbosa (2004) afirma que, proporcionalmente ao aumento da geração de resíduos, verifica-se o desenvolvimento e aplicação de tecnologias comprometidas com a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida, evidenciando uma preocupação crescente com a questão ambiental e social, em especial, no que tange ao gerenciamento e disposição de resíduos.

Neste aspecto, há que se considerar os diversos fatores que influenciam nas características e no volume de resíduos gerados são determinantes na definição do modelo de gerenciamento e tecnologia a ser utilizada. De maneira geral, fatores climáticos, geográficos, demográficos, socioeconômicos e culturais devem ser

analisados para se determinar o modelo adequado. O estudo técnico da caracterização, que determina a composição da massa de resíduos e informa as porcentagens de cada componente em relação ao peso total, é importante para revelar hábitos da comunidade e fornecer subsídios básicos para o dimensionamento e a forma de processamento desses resíduos (DIAS, 2003).

A preocupação central refere-se à geração antropogênica do gás metano (CH_4). Em alguns países, 20% da geração antropogênica do gás metano (CH_4) é oriunda dos resíduos humanos. O metano é um gás com potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o do gás carbônico (CO_2) e é emitido em grande escala durante o processo de degradação e aterramento de rejeitos e resíduos orgânicos. A alta geração do biogás - uma mistura de gases provenientes de material orgânico que tem como principal componente o metano, um dos gases de efeito estufa (GEE) - ocorre normalmente durante um período de 16 anos, podendo durar até 50 anos (BRASIL - PNMC, 2010).

Considerando, dessa forma, medidas possíveis de redução das emissões dos GEE e, portanto de combate ao aquecimento global, é que a política nacional sobre mudança do clima estabelece como um de seus objetivos a redução das emissões de GEE oriundas das atividades humanas, nas suas diferentes fontes, inclusive naquelas referentes aos resíduos (Art. 4º, ii). Assim, para minimizar os impactos no clima, que já são bastante perceptíveis, a Política Nacional sobre Mudança do Clima estabeleceu, em seu artigo 12, o compromisso nacional voluntário com ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, para reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões nacionais projetadas até o ano de 2020. O decreto 7.390/2010, que regulamenta a política, estabelece ações a serem implementadas para o atendimento desse compromisso (BRASIL - PNMC, 2010).

A Política Nacional sobre Mudanças do Clima (2010) definiu metas para a recuperação do metano em instalações de tratamento de resíduos urbanos e para ampliação da reciclagem de resíduos sólidos para 20% até o ano de 2015. Coerentemente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) definiu entre os seus objetivos a adoção, o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais: o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos, e o incentivo ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluindo a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL - PNMC,

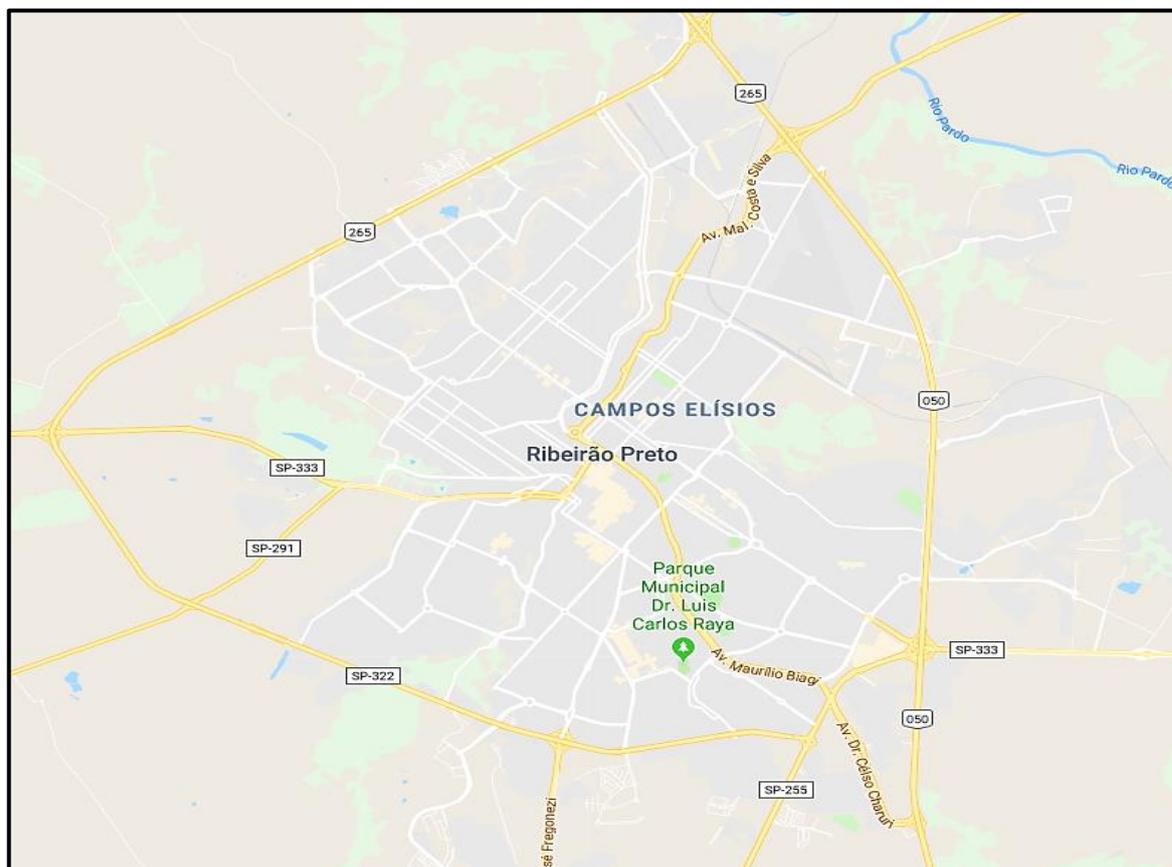
2010). Assim, o presente estudo será efetivado segundo um cenário idealizado, compatível com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE O MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

O município de Ribeirão Preto (Figura 3.1), com aproximadamente 642 km² de área territorial total, possui cerca de 748 mil habitantes, estando grande parte de sua população concentrada nas zonas urbanas. É um polo de desenvolvimento regional do nordeste paulista que apresenta grande crescimento urbano e desenvolvimento econômico em virtude das inúmeras atividades realizadas no município (IBGE, 2004).

A cidade de Ribeirão Preto dista a um raio de 200 km de algumas das principais cidades do interior do estado de São Paulo, tais como, Araraquara, Barretos, Campinas, Franca, Limeira, São Carlos e São José do Rio Preto e, de algumas cidades do estado de Minas Gerais, como, Uberaba e Uberlândia entre outras, tendo seu acesso facilitado pela grande quantidade e qualidade das rodovias que se interligam (SEADE, 2011).

Figura 1 - Município de Ribeirão Preto



Fonte: Google Maps (2018)

Historicamente, as atividades econômicas na cidade de Ribeirão Preto se iniciaram através dos grandes cafeicultores e suas fazendas latifundiárias de café que, antes mesmo do mercado do açúcar e álcool, já propiciavam grandes avanços econômicos ao município e para a chamada Região Metropolitana de Ribeirão Preto. Com o incremento das atividades industriais ligadas ao setor sucroalcooleiro, a economia de Ribeirão Preto e de cidades próximas, tais como, Sertãozinho, Bonfim Paulista, Jardinópolis foi alavancada em virtude da intensidade deste setor econômico, atraindo o interesse de grandes empresas, investidores e famílias para a região (SCPMRP, 2014).

3.3.1 Histórico do Município de Ribeirão Preto

O histórico que contextualiza a ocupação ao município de Ribeirão Preto está diretamente ligado à história da mineração no estado de Minas Gerais, visto que a região e municípios - até então chamado de “campos no norte paulista” - eram neste período muito influenciados pelo povo mineiro. Com o passar dos anos, a localidade passou a atrair mais pessoas, o que gerou a necessidade de edificação de estruturas urbanas, como, moradias, igrejas e mercados (IBGE, 2004).

Através da doação de algumas terras de fazendeiros, iniciou-se a construção da cidade de Ribeirão Preto e, somente em 1856, foi possível a formação do patrimônio municipal de Ribeirão Preto com a construção da ermida de São Sebastião, entre os córregos Retiro e Ribeirão Preto (IBGE, 2004).

A independência do Brasil, as atividades, o desenvolvimento agrícola e a alta atratividade gerada pela nova vila de Ribeirão Preto que, à época, já contava com considerável número de famílias, sendo uma delas, em particular, responsável pela introdução do café tipo “Bourbon” nestas terras, fez com que a economia da região tivesse seu primeiro alavanco (IBGE, 2004).

A fama de prosperidade de Ribeirão Preto se espalhou pelo estado e, como decorrência, a região atraiu cada vez mais habitantes. Neste período, identificou-se grande leva de migrantes cafeicultores que abandonaram o Vale do Paraíba e se instalaram em Ribeirão Preto (IBGE, 2004).

Assim, com o passar dos anos, o surgimento da estrada de ferro no ano de 1883, de municípios vizinhos atraídos pela cultura do café, de grandes colheitas dessa cultura e do enriquecimento e crescimento da população, em 30 de junho de

1881, o município é definitivamente denominado Ribeirão Preto através da Lei nº 99 que, a despeito de promulgações anteriores, já possuía seu território definido.

3.3.2 Localização do Município de Ribeirão Preto

O município de Ribeirão Preto localiza-se no setor nordeste do Estado de São Paulo, distante cerca de 320 km da capital do Estado e possui coordenadas cartográficas em seu ponto central de 190 a 225 km W e de 7630 a 7670 km S (SEADE, 2011).

A sua localização é privilegiada, uma vez que, a principal via de acesso é através da Rodovia Anhanguera (SP-330). Ribeirão Preto faz limite, ao Sul, com a cidade de Guatapará, a Sudeste, com a cidade de Cravinhos, ao Norte, com a cidade de Jardinópolis e ao Oeste com a cidade de Dumont, tendo a Noroeste a cidade de Sertãozinho e a Nordeste a cidade de Brodowski (SEADE, 2011).

3.3.3 Uso e ocupação do solo

Ao analisar o território em que se situa a cidade de Ribeirão Preto, no tocante ao uso e ocupação do solo, verifica-se o predomínio (62%) de plantações de cana-de-açúcar, o que supera inclusive a área ocupada pela parcela urbana (21%). As demais áreas de ocupação são apresentadas na Tabela 2, bem como, a quantidade de área referente a cada classe especificada (PMRP, 2012).

Tabela 2 - Quantitativo das classes de uso e ocupação do solo de Ribeirão Preto.

Classe	rea (m ²)
Remanescentes de Vegetação Natural	27.398.389,00
Pastagem	30.717.150,00
Mata Ciliar	48.698.309,00
Cultura Anual - Pivs de Irrigação	3.191.979,00
Cana-de-Açúcar	408.906.189,00
rea Urbana	135.915.742,00

Fonte: Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2012)

As áreas referentes às demais ocupações do solo na Tabela 2 mostram que as áreas de mata ciliares correspondem apenas a 7% da área total do município, área urbana 21%, pastagens 5%, vegetação natural 4% e cultura anual 1% (PMRP, 2012).

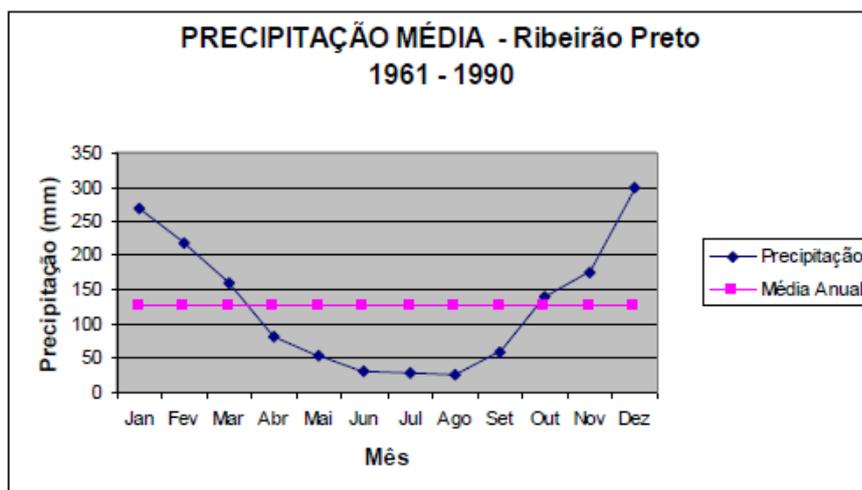
3.3.4 Aspectos Climáticos e Meteorológicos

A região do município de Ribeirão Preto apresenta uma relação climática e meteorológica com sua sazonalidade demarcada, com estações bem definidas nas quais se verifica um verão bastante chuvoso e um inverno seco. A classificação de Köppen enquadra o município na categoria Aw (IPT, 2000).

A série história dos dados climatológicos do município de Ribeirão Preto foi estudada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) através da estação experimental presente no município ao longo de 30 anos (1961-1990). Por meio destes, pode-se observar que há um padrão de precipitações intensas durante alguns meses do ano, tendo como média anual de precipitações no período em estudo de 1.534,2 mm (IAC, 2002).

As precipitações mais intensas e de maior volume ocorrem costumeiramente no verão, mais chuvoso, e pode atingir média de 298,1 mm no mês de Dezembro. Em contrapartida, as precipitações mínimas na região são observadas nos meses de inverno, chegando há 25,5 mm nos meses próximos a agosto. A Figura 2 mostra a variabilidade nas precipitações ao longo do ano durante o período em que o IAC monitorou a região (IAC, 2002).

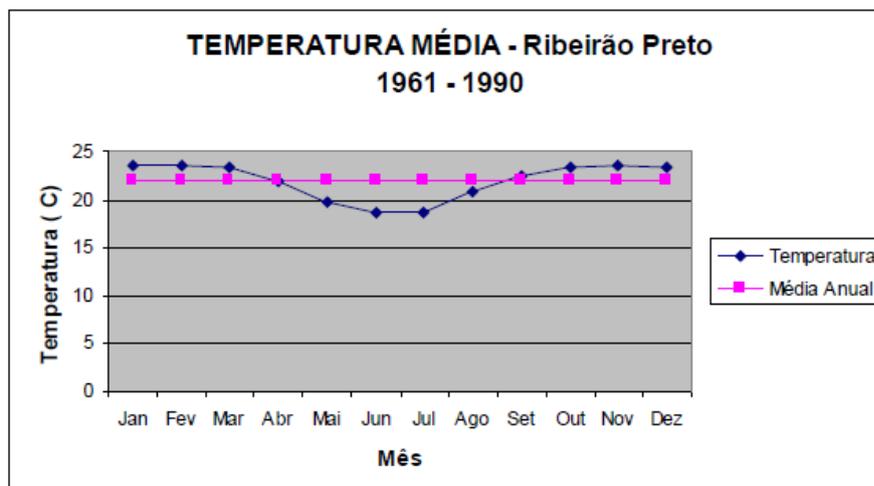
Figura 2 - Variabilidade mensal de precipitações no município de Ribeirão Preto



Fonte: Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2012)

O comportamento anual que se refere a temperatura no município de Ribeirão Preto, também fez parte do mesmo estudo do IAC na região e compreende o mesmo período avaliado entre os anos de 1961 a 1990 expressos na Figura 3.

Figura 3 - Variabilidade mensal da temperatura no município de Ribeirão Preto



Fonte: Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2012)

Na Figura 3, fica evidente um comportamento semelhante em relação às precipitações onde, nos meses que abrangem o verão, verificam-se que as temperaturas são mais elevadas e, nos meses que abrangem o inverno, verificam-se temperaturas mais amenas, podendo estas variar de 23,6 °C, em Janeiro e Fevereiro, à 18,7 °C, em Junho e Julho. (IAC, 2002).

Nota-se que, para o município de Ribeirão Preto, existe uma baixa amplitude térmica, em média de 4,9 °C, durante a análise realizada no período de 30 anos.

3.3.5 Hidrografia

O município de Ribeirão Preto está contido ao norte e noroeste pela Bacia do Rio Pardo e ao sul e sudeste pela bacia do Rio Mogi Guaçu.

O Rio Pardo possui uma área drenante de 35.414 km² (IPT, 2000) sendo um dos mais importantes afluentes do Rio Grande e, por consequência, do Rio Paraná, importantes constituintes hidrológicos do Brasil. A Agência Nacional de Água define a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 4 (UGRHI-4), constituída pelo seu principal manancial (Rio Pardo) e seus demais afluentes contribuintes.

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo é constituída atualmente por 6 sub-bacias, as quais são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo

SUB BACIA			
Nº	NOME	ÁREA (km ²)	% da UGRHI
1	Ribeirão São Pedro / Ribeirão da Floresta	1.451,80	16,10
2	Ribeirão da Prata / Ribeirão Tamanduá	1.680,84	18,70
3	Médio Pardo	2.533,78	28,20
4	Rio Canoas	516,8	5,80
5	Rio Tambaú / Rio Verde	1.271,38	14,10
6	Alto Pardo	1.536,42	17,10
TOTAL DA BACIA		8.991,02	100

Fonte: IPT (2000)

As sub-bacias que estão diretamente ligadas com os interesses da cidade de Ribeirão Preto são as sub-bacias 1 e 2. A sub-bacia 1, Ribeirão São Pedro e Ribeirão da Floresta, localizada ao extremo noroeste da bacia, ocupa uma área de 1.451,80 km² representando 16,10% da UGRHI-4, tem como principal caráter a recepção da carga de drenagem urbana (IPT, 2000).

A sub-bacia 2, denominada Ribeirão da Prata e Ribeirão Tamanduá, localizada no centro-noroeste da bacia, tem como principal interesse na drenagem do Rio Pardo já mais poluído após a passagem pelas cidades de Ribeirão Preto, Cravinhos, Brodowski e Jardinópolis (IPT, 2000).

3.3.6 Geologia e Geomorfologia

O município de Ribeirão Preto está consolidado na margem leste da Bacia Sedimentar do Paraná, das quais são constituintes as formações rochosas do Grupo São Bento, Formação Pirambóia e Botucatu e Serra Geral (SINELLI *et al.*, 1980).

A subsuperfície da região é constituída pela Formação Botucatu, que é uma formação rochosa constituída principalmente por arenito. Segundo Sinelli *et al.* (1980), esse tipo de formação rochosa não deve ultrapassar 140 metros ao longo da região de Ribeirão Preto. Entretanto, ainda há dificuldade na identificação da espessura dessa formação rochosa.

A geomorfologia do município de Ribeirão Preto é predominantemente ocupada pelo Domínio Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná (depressão periférica paulista) e tem na sua porção Noroeste uma pequeníssima área ocupada pelo Domínio Morfoestrutural das Bacias Sedimentares Cenozóicas (SINELLI *et al.*, 1980).

Observa-se ainda uma depressão característica de um relevo montanhoso seguido de uma depressão periférica e um relevo colinoso que não possuem caracteres definidos pelas litologias sedimentares. Neste trecho, que se encontra a uma altitude de 600 e 750 metros em relação ao nível do mar, é observado a densa rede de drenagem recoberta pela Bacia do Rio Pardo (SINELLI *et al.*, 1980).

O aquífero Guarani, está localizado nas formações rochosas de arenito Pirambóia e Botucatu, onde parte dessa formação é confinada pelos derrames rochosos da Serra Geral, especificamente na porção Sul e Oeste da cidade (SINELLI *et al.*, 1980).

Sinelli *et al* (1980) afirma que o aquífero Guarani é aflorante em toda região metropolitana de Ribeirão Preto, sendo mais comumente encontrado à Noroeste da cidade, caracterizando, assim, um aquífero confinado em rochas básicas superiores a 70 metros.

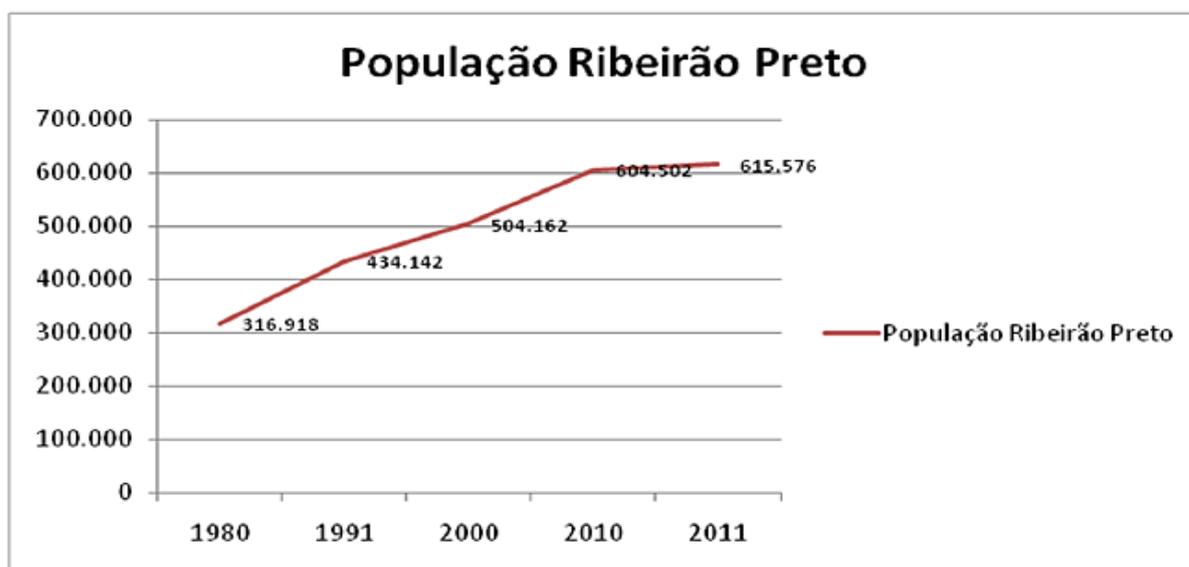
Segundo a CETESB (1997), o município de Ribeirão Preto é totalmente dependente do aquífero Guarani, uma vez que, o mesmo depende da água proveniente deste aquífero para abastecimento público, sendo também responsável pela maior demanda nacional do aquífero, o que, regionalmente falando, também o torna responsável pela sua vulnerabilidade e risco de poluição.

3.3.7 Aspectos Antrópicos

O município de Ribeirão Preto, de acordo com Censo 2010, apresenta cerca de 604.682 habitantes, distribuídos entre 290.171 homens e 314.511 mulheres, sendo que, 602.966 habitantes estão na porção urbana do município e pequena parte de 1.716 habitantes estão localizados na área rural (SEADE, 2011).

Apresentando 621.276 km² de área territorial total, o município de Ribeirão Preto possui densidade populacional de aproximadamente 928,46 habitantes/km². Ao consultar e avaliar os dados disponíveis nos censos anteriores de 1980 a 2010, pode-se notar um gradativo crescimento de sua população que no ano de 1980 era de 316.918 habitantes. A Figura 4 mostra a evolução populacional no município de Ribeirão Preto com base nos censos analisados (SEADE, 2011).

Figura 4 - Evolução Populacional no município de Ribeirão Preto nos anos de 1980 a 2010



Fonte: SEADE (2011)

O grande crescimento populacional no município de Ribeirão Preto fica mais bem compreendido considerando-se o conjunto de fatores econômicos regionais que na década de 1970 gerou grande fluxo financeiro. Por força da movimentação do agronegócio, o município atraiu famílias e empresas, culminando neste período com uma taxa de aproximadamente 15 mil habitantes (SEADE, 2011).

O movimento migratório provocado pela cultura da cana-de-açúcar ocorreu nos anos 80 e 90 chegando a 78 mil habitantes entre os anos de 1980 e 1991 (IBGE, 2011).

À medida que o crescimento da população é observado, pode-se acompanhar a taxa de crescimento anual da população entre os anos de 1980-1991 de 2,9%, entre anos de 1991-2000 de 1,82% e nos anos de 2000-2010 de 1,83%. A redução na taxa de crescimento anual da população no município de Ribeirão Preto verificada neste período decorre da diminuição no número de constituintes entre as famílias em função do custo de vida e da entrada das mulheres no mercado de trabalho (SEADE, 2011).

3.3.8 Sistema de Saneamento Básico

O sistema de saneamento básico da cidade de Ribeirão Preto atualmente é composto por empresas privadas, públicas, autarquias e parcerias público-privadas, ficando a cargo do Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto - DAERP, desde 1999, a responsabilidade pelo gerenciamento e execução de tudo que diz

respeito à captação, abastecimento e saneamento básico, além da limpeza pública e destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos.

No tocante ao saneamento básico, a cidade apresenta altos índices de distribuição de água, coleta e tratamento de esgoto sanitário e coleta de resíduos domiciliares, chegando quase à totalidade das residências no município abastecidas com água tratada. Apesar disso, a coleta de esgoto no ano de 2010 era de 86% (DAERP, 2011), não havendo ainda um levantamento mais recente.

Com base no censo realizado no ano de 2000, o município de Ribeirão Preto apresentava elevados índices nesses serviços quando comparado a outros municípios do estado de São Paulo e Brasil (SEADE, 2011).

Em relação ao tratamento de esgoto sanitário, o mesmo é realizado atualmente por duas estações de tratamento de esgotos (ETE Ribeirão Preto e ETE Caiçara) e contempla em 97% do tratamento do volume de efluentes coletados. Ressalta-se ainda que, a adoção de medidas implementadas na última década por parte da administração municipal resultaram em um ótimo desempenho para o saneamento básico do município, segundo o IBGE (2010).

De acordo com os dados fornecidos pelo SEADE (2011), a coleta e a destinação de forma adequada dos resíduos sólidos urbanos do município atende grande parte da população, apresentando índices próximos a 100%, visto que, estes resíduos são encaminhados para disposição ambiental em aterro sanitário próximo a cidade de Guatapará, de cunho privado (Figura 5).

Figura 5 - Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará



Fonte: Google Images (2015)

No tocante a coleta seletiva, a despeito de atender 27 dos 36 bairros de Ribeirão Preto, este serviço abrange apenas 15% da população municipal. Os resíduos potencialmente recicláveis, como, papéis, plásticos e metais, entre outros, são coletados de maneira direta (porta a porta) com períodos de coleta ainda distantes de, no máximo, uma vez por semana. A equipe de coleta seletiva é formada de 15 trabalhadores, seccionados entre coletores, motoristas e um técnico operacional (PMRP, 2014)

O município de Ribeirão Preto conta ainda com programas de coletas seletivas e cooperativas de reciclagem como, por exemplo, a Cooperativa de Agentes Ambientais Mãos Dadas, o Programa Integrado de Educação Ambiental e o projeto Recicla Ribeirão, dos quais fazem parte projetos sociais de educação ambiental e incentivo à reciclagem e ao correto descarte de resíduos, segundo dados da Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2014).

Ainda dentro do mesmo município, existem diversos tipos de resíduos, sendo eles, provenientes da construção civil, da indústria e do serviço público de saúde, entre outros.

A projeção da geração de Resíduos Sólidos Urbanos para os anos de 2018 a 2030 é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa da geração de RSU para o município de Ribeirão Preto.

Cenário	População Estimada (IBGE)	Produção de Resíduos (toneladas)
2010	603.774	176.905,10
2014	649.071	190.002,40
2018	748.691	219.580,90
2030	1.077.000	315.270,00

Fonte: Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto (2014).

A Tabela 4 mostra as projeções populacionais bem como a geração de RSU nos períodos até o ano de 2030, quando a população estimada para o município seria de 1.077.000 habitantes e a geração de RSU de 315.270 toneladas por mês.

3.3.9 Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Ribeirão Preto

A composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduo analisada. Pereira Neto (2007) define que a composição gravimétrica dos resíduos sólidos apresenta as porcentagens das diferentes tipologias e características dos materiais constituintes dos RSU de determinado município que são compostos por: papel, papelão, plástico rígido, plástico filme, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidros, borrachas, madeira, couros, trapos, cerâmicas, ossos, madeiras e matéria orgânica. Portanto, a composição gravimétrica dos resíduos sólidos ou composição física expressa o percentual de cada componente presente nesses resíduos em relação ao peso total da amostra estudada (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Cada sociedade gera um tipo de resíduo sólido, uma mistura de materiais que varia em função de hábitos de consumo e costumes da população, do clima e das atividades econômicas existentes no município que mudam ao longo do tempo, o que torna indispensável à identificação periódica das características.

O conhecimento da composição gravimétrica dos RSU é uma ferramenta primordial para tomadas de decisão quanto ao Planejamento e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos, fazendo com que se conheça em números, os resíduos sólidos em um determinado local. É a partir dele que se têm informações concretas para o planejamento de aterros sanitários e tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos resíduos.

No caso do município de Ribeirão Preto, a gravimetria obtida foi estimada de acordo com base na média estabelecida pelo IBGE (2008) para a região sudeste (0,9kg/hab/dia) para uma população de 658.000 habitantes (IBGE, 2014) e constante no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2011), dada a inexistência de estudo um específico sobre a gravimetria dos RSU do município (MARINI, 2014). Posto isso, a Tabela 5 apresenta a composição gravimétrica média estimada dos resíduos sólidos do município de Ribeirão Preto, baseada na PNRS:

Tabela 5 - Gravimetria dos RSU do município de Ribeirão Preto baseada na PNRs.

Tipo de Material	Peso Líquido (t/dia)	Porcentagem de participação (%)
Material Orgânico Putrescível	304,39	51,4
Papel / Papelão / Tetrapak	77,58	13,1
Plástico filme	52,71	8,9
Plástico rígido	27,24	4,6
Aço	13,62	2,3
Alumínio	3,55	0,6
Vidros	14,21	2,4
Outros	98,90	16,7
Total	592,20	100,0

Fonte: IBGE (2010).

3.4 ATERROS SANITÁRIOS

A NBR 8419/1992 define que aterros sanitários são uma “técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se for necessário” (ABNT, 1992).

Aterros sanitários são o meio mais utilizado para a disposição dos RSU. Os RSU neles depositados são passíveis de sofrerem processos físicos, químicos e biológicos. Em virtude das características predominantemente orgânicas dos RSU brasileiros, ocorre a formação de gás e lixiviado resultantes da degradação desse resíduo depositado (CASTILHO, 2003).

3.4.1 Projeto e Operação de um Aterro Sanitário

O projeto, bem como, o modo de operação de um determinado aterro sanitário está diretamente ligado as características do resíduo que será contido e, por sua vez, das características do município, bem como, os recursos disponíveis

para a implementação da unidade sanitária. De modo geral, o aterro sanitário é constituído de células, cuja função está em reter os resíduos nela depositados (BIDONE & POVINELLI, 1999).

As células constituintes de aterros sanitários podem ser de diferentes configurações, sendo separadas umas das outras. Em todos os casos, devem ser impermeabilizadas em sua base com materiais de origem natural ou sintética, a fim de não permitir a passagem de líquidos de qualquer espécie, oferecendo resistência à infiltração (ABNT, 1992; BIDONE & POVINELLI, 1999; QASIM & CHIANG, 1994).

O descarregamento dos resíduos no interior das células deve ocorrer mediante uma distribuição uniforme, compactando-se a seguir, de modo a reduzir o volume quando do acondicionamento. Uma vez atingida a capacidade máxima de armazenamento nas células, as mesmas devem ser recobertas com uma camada de terra evitando a proliferação de moscas, mosquitos e outros animais (QASIM & CHIANG, 1994).

A necessidade de cobertura das células após o alcance da capacidade máxima pode ser suprida com diversos compostos, tais como, o lodo de estações de tratamento de esgoto (ETE) (HÁ *et al*, 2006). Nesse caso, o lodo de ETE deve ser desidratado e estabilizado, caso contrário, o líquido que o constitui percolará as células dos aterros aumentando a produção de lixiviado.

3.4.2 Legislação e Normalização para Aterros Sanitários

A NBR 8419/1992, dispõe de alguns critérios necessários e normas específicas de construção e operação de aterros sanitários tendo em vista a segurança no armazenamento dos resíduos. Na mesma norma, estão contidos critérios referentes a sistemas de drenagem superficial, drenagem e tratamento do lixiviado, drenagem de gás e impermeabilização inferior (ABNT, 1992).

Ao atingir a capacidade máxima de armazenamento do aterro, o mesmo deve ser fechado para posteriores disposições de resíduos e devem ser monitorados ambientalmente de forma a controlar seus efluentes e vetores, conforme determinado pela NBR 8419/1992 (ABNT, 1992).

O monitoramento do aterro sanitário deve conter avaliação dos sistemas de drenagem, emissão de gases e líquidos, bem como, constituir o tratamento desses efluentes (QUASIM & CHIANG, 1994).

Em particular, o estado de São Paulo, dispondo do seu decreto estadual nº 32.955/91 no qual é determinado pelo Art. 17, § 1º que em áreas onde se encontra depósito de resíduos sólidos devem ser também realizados um monitoramento contínuo na qualidade das águas subterrâneas, em conformidade com exigências da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB,1991).

Segundo a NBR 8419/1992, uma vez que as atividades em um aterro sanitário são decretadas como encerradas, deve ser apresentado uma finalidade pela qual aquela área pode ser adequada e ou recuperada (ABNT, 1992).

3.4.3 Custos com Implantação e Operação de Aterros Sanitários

Os investimentos necessários para estimar as propostas de implantação e operação de aterros sanitários dependem de três principais parâmetros: quantidade de resíduos sólidos a ser dispostos, custo de implementação e distribuição espacial dos resíduos sólidos dispostos de forma adequada (BNDES, 2013).

Sendo composto principalmente por obras civis, tem seus custos bem variados ao longo de todo território nacional, porém podem ser vistos de forma mais simplificada quando observado apenas os fatores de taxa de recebimento de resíduos e tempo de vida útil do aterro. (BNDES, 2013).

Os investimentos em aterros sanitários têm como principais fatores, cinco constituintes (etapas), sendo eles a pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-operação, cujos custos dispostos em cada etapa em Reais (R\$) são apresentados na Tabela 6 (FGV, 2009).

Tabela 6 - Custos de implementação de aterros sanitário por etapa (em R\$)

	Grande – 2.000 t/dia	Médio I – 1.000 t/dia*	Médio II – 500 t/dia*	Pequeno – 100 t/dia
Pré-implantação	4.065.461	2.032.730	1.355.153	608.087
Implantação	18.169.781	9.084.890	6.056.593	2.669.178
Operação	461.494.052	230.747.026	153.831.350	45.468.163
Encerramento	6.488.889	3.244.444	2.162.963	486.667
Pós-encerramento	35.575.984	17.787.992	11.858.661	3.212.354
Total	525.794.167	262.897.083	175.264.722	52.444.449

Fonte: FGV (2009)

A Tabela 6 mostra quatro cenários nos quais a principal variável é o volume de resíduos a ser tratado, evidenciando que o maior custo em relação a todas as etapas de implementação de um aterro sanitário é a operação, atividade que abrange as etapas de transporte, contingente e transbordo, entre outros custos, o que equivale, em média, a 90% de todo o valor dispendido com a implementação (FGV, 2009).

3.5 BIODIGESTORES ANAERÓBIOS

A digestão ou decomposição anaeróbia é um processo biológico. A matéria orgânica, quando decomposta em meio anaeróbio (ausência de oxigênio), origina uma mistura gasosa chamada biogás. Esse processo é muito comum na natureza e ocorre, por exemplo, em pântanos, fundos de lagos, esterqueiras e no rúmen de animais ruminantes. Além disso, são produzidas quantidades de energia (calor) e nova biomassa.

A mistura gasosa formada é composta principalmente de metano (50% - 75% em volume) e dióxido de carbono (25% - 50% em volume) é denominada biogás e contém ainda pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases. A sua composição é influenciada principalmente pelos substratos utilizados, pela técnica de fermentação e pelas diferentes tecnologias de construção de usinas. O processo de formação do biogás se divide em várias etapas, tais como, hidrólise, fermentação (acidogênese) e metanogênese que precisam estar perfeitamente coordenados entre si para que todo o processo se realize adequadamente (IEA,2009).

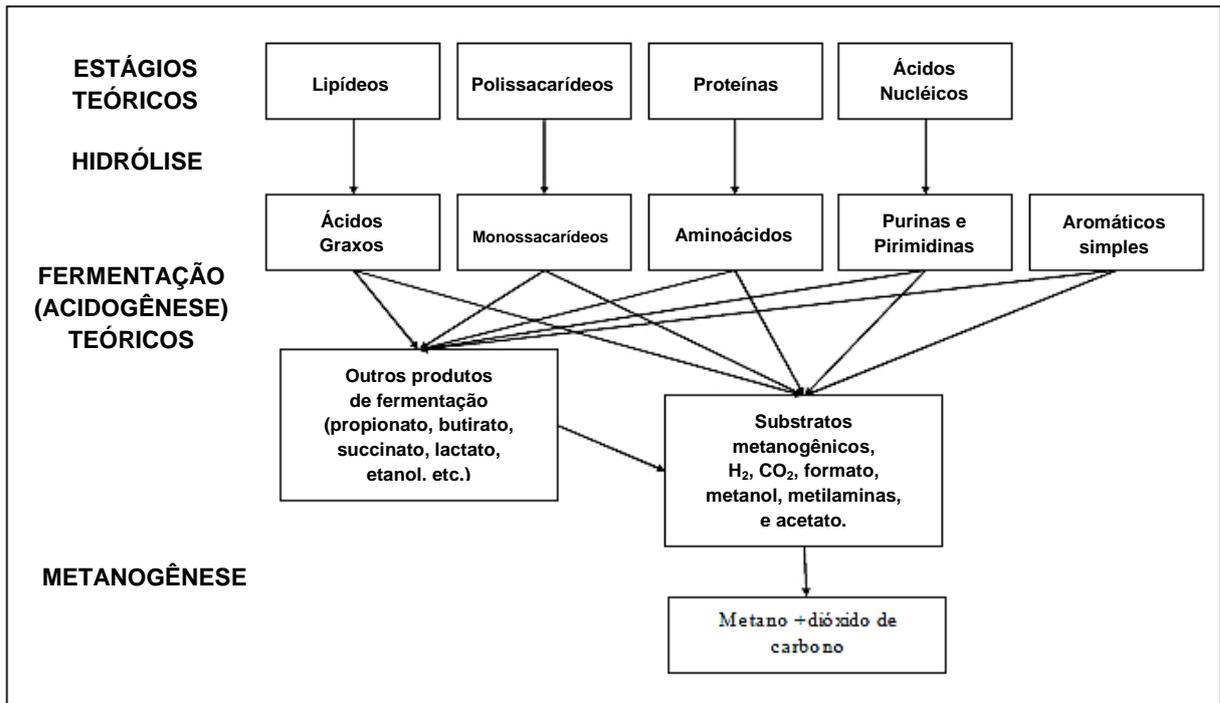
3.5.1 Etapas da Digestão Anaeróbia

Em processos anaeróbicos de digestão de matéria orgânica, três etapas básicas são envolvidas: hidrólise, fermentação (acidogênese) e metanogênese, representadas na Figura 6 (METCALF & EDDY, 2003).

A primeira etapa, para a grande maioria dos processos fermentativos, o material particulado converte-se em compostos solúveis que, por sua vez, poderão ser hidrolisados em monômeros simples e utilizados pela fração das bactérias que realizam a fermentação, o que se denomina hidrólise. Para alguns efluentes industriais, a fermentação pode ser a primeira etapa do processo. O ponto de partida

para uma aplicação é dependente da natureza do resíduo a ser processado (METCALF & EDDY, 2003).

Figura 6 - Esquema das etapas dos processos de digestão anaeróbia simplificado.



Fonte: METCALF & EDDY (2003)

A segunda etapa é a fermentação, mais conhecida como acidogênese. No processo fermentativo, aminoácidos, açúcares e ácidos graxos são degradados e os substratos orgânicos servem como cátions e ânions. Os produtos desta etapa são os acetatos, hidroneios, dióxido de carbono, propionato e butirato, sendo o propionato e o butirato fermentados posteriormente para a produção de hidrogênio, dióxido de carbono e acetatos, tendo como produtos finais do processo de fermentação acetatos, hidrogênio e dióxido de carbono que são, por sua vez, alguns precursores na formação de metano na seguinte etapa de metanogênese. A energia livre que provém da conversão de propionato e butirato em acetato e hidrogênio requer que a concentração de hidrogênio presente no meio reacional seja baixa, do contrário a reação não ocorrerá (METCALF & EDDY, 2003).

A terceira etapa, a metanogênese, é realizada por uma fração de microrganismos chamados de microrganismos metanogênicos. Dentre eles, constata-se a existência de dois grupos envolvidos na produção de metano. O primeiro grupo - chamado de metanógenos acetoclásticos e metanógenos utilizadores de hidrogênio - tem a função de converter o acetato em metano e

dióxido de carbono e, o segundo, como o próprio nome se refere, utilizam o hidrogênio como cátodo e o dióxido de carbono como ânodo na produção de metano. Entretanto, outro grupo de bactérias também possui a capacidade de utilizar o dióxido de carbono na oxidação do hidrogênio e produzir, por sua vez, o ácido acético: são chamadas de microrganismos acetógenos que utilizam o ácido acético para converter em metano, porém, com impacto pequeno nesta reação.

3.5.2 Influência da Concentração de Sólidos na Digestão Anaeróbia

No Brasil, os resíduos sólidos urbanos constituem-se basicamente de umidade, matéria orgânica decomponível, polímeros e celuloses de diferentes espécies. O percentual de umidade dos resíduos gira em torno de 50% (em massa), dependendo da época, local, população, município e costumes, enquanto os 50% restantes que expressam a fração sólida é constituída pela fração orgânica e demais componentes físico-químicos (BIDONE, *et al*; 1999).

A concentração de sólidos se refere ao resíduo total presente nos substratos, podendo ter sua origem orgânica ou inorgânica, o que se configura como um indicador da massa total a ser tratada. Como na tecnologia de digestão anaeróbia, a bioconversão somente ocorrerá na fração orgânica decomponível do substrato. Assim, quanto maior o teor de sólidos totais voláteis, maior será sua elevação na taxa de bioconversão do resíduo a ser tratado nesta tecnologia (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

Segundo Tchobanoglous, *et al* (1993), atualmente a concentração de sólidos define duas alternativas de tratamento, sendo elas, o tratamento anaeróbio com baixa concentração de sólidos e o tratamento anaeróbio com alta concentração de sólidos.

O tratamento anaeróbio com baixa concentração de sólidos, no qual, a fração orgânica decomponível é fermentada com a concentração de sólidos totais, podendo variar entre 4% a 8%, sendo esta alternativa ideal à destinação e geração de gás metano a partir de resíduos sólidos urbanos, resíduos animais e agrícolas. As maiores dificuldades de operação deste processo estão relacionadas à adição de água de diluição para o resíduo e à difícil reutilização do material bioestabilizado (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

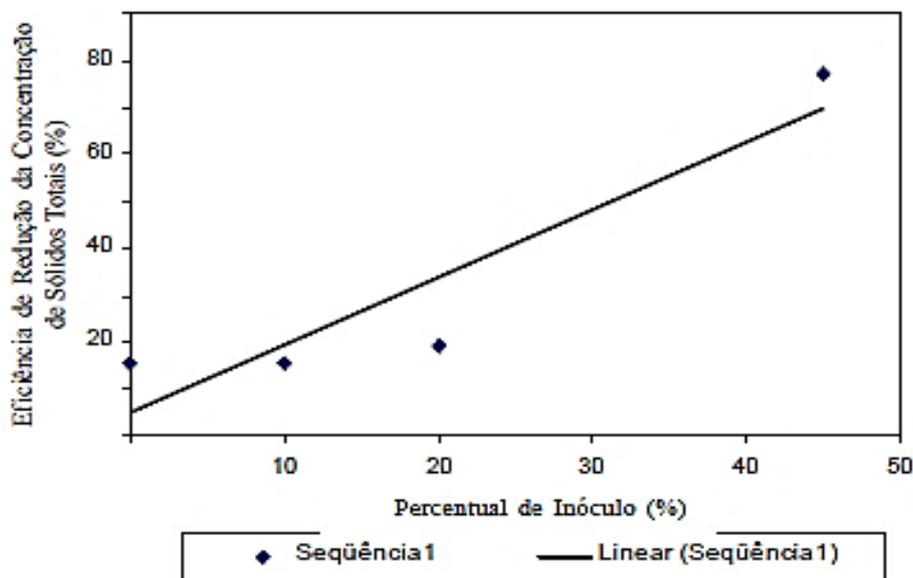
O tratamento anaeróbio com alta concentração de sólidos é caracterizado também pela fermentação da fração orgânica decomponível do resíduo sólidos, podendo ter sua concentração de sólidos totais em torno de 22%. Neste caso, trata-se de uma alternativa recente que tem sua aplicação voltada à recuperação energética de biomassa e apresenta, como principal e evidente vantagem, a alta produção de biogás e baixo requerimento de umidade (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

A concentração de sólidos é uma variável interferente quando abordado para geração de biogás, sendo a biodigestão anaeróbia com alto teor de sólidos mais promissora no que tange a geração de energia em virtude do baixo gasto energético para operação, maior produção de energia para comercialização e maior controle de temperatura nos casos de digestão a temperaturas controladas com menos custo e disposição (Environment Canadá, 2013).

No tocante a produção de energia elétrica, em comparação com as tecnologias que contemplam a alta ou baixa concentração de sólidos voláteis, consegue-se produzir 170 a 250 kWh/t e 110 à 160 kWh/t, respectivamente (Environment Canadá, 2013).

Povinelli e Leite (1999), observaram que o processo de tratamento anaeróbio com alta concentração de sólidos, aplicando a bioconversão na fração orgânica do seu resíduo sólido inoculado com lodo de esgoto industrial, foi promissor considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais. A eficiência de bioconversão da fração mássica de sólidos totais voláteis tende a ser mais eficiente em função do percentual de inóculo utilizado na preparação do substrato, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Correlação entre eficiência de redução de sólidos totais em relação à fração de inóculo no substrato.



Fonte: Bidone & Povinelli (1999)

Ainda no mesmo estudo, Bidone & Povinelli (1999), concluíram que a viabilidade técnico-econômica do tratamento anaeróbio está condicionada a uma elevação na concentração de sólidos totais voláteis do substrato a ser tratado e que o comportamento dos sólidos totais não expressa os mecanismos envolvidos na digestão anaeróbia da fração orgânica decomponível dos resíduos sólidos urbanos, tendo em vista suas constituições químicas distintas e sua natureza verdadeiramente complexa, uma vez que, para cada local, há uma composição distinta do inóculo.

3.5.3 Digestão Anaeróbia com Alto Teor de Sólidos Totais

A digestão anaeróbia com alto teor de sólidos, também chamada de “digestão à seco” (dry digestion), é aquela em que a concentração de sólidos totais varia entre valores de 25-30% (IEA, 2009).

Segundo Pavan, *et al.* (2000), quando comparado o desempenho de plantas de digestão entre alto e baixo teor de sólidos, constata-se que a digestão anaeróbia com baixo teor de sólidos apresenta algumas vantagens, como, biodigestor compacto que opera na digestão de baixa taxa de matéria orgânica que, por sua vez, acarreta em uma menor produção de lodo que pode ser facilmente tratado pelo processo de compostagem ou utilizado como fertilizante.

Forster-Carneiro *et al.*, (2008), concluiu que o melhor desempenho na produção de biogás com concentrações elevadas de metano, é alcançado nos reatores de digestão a seco (alta concentração de sólidos), com regime de operação descontínua (batelada) e com temperatura de operação de 55°C, caracterizados como termofílicos.

O processo de tratamento anaeróbio com alta concentração de sólidos, quando aplicado à fração orgânica decomponível dos resíduos sólidos urbanos através do inóculo de lodo de esgoto industrial, torna-se uma potencial alternativa de destinação para os RSU no que tange aos aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais (BIDONE & POVINELLI, 1999).

3.5.4 Digestão Anaeróbia com Baixo Teor de Sólidos

A digestão anaeróbia com baixo teor de sólidos, também conhecida como “digestão molhada” (wet digestion), compreende a digestão com concentrações de sólidos totais inferiores a 15% (IEA,2009).

Digestores com essa concentração de sólidos consistem comumente em digestores com regime de operação contínuo, cujo processo ocorre no interior de uma câmara de mistura que é alimentada por uma bomba. Para melhor eficiência, a temperatura utilizada durante o processo também é de 55°C, o que demanda um menor tempo de digestão e faz com que seja considerado um reator termofílico.

3.5.5 Tipos de Biodigestores Anaeróbios

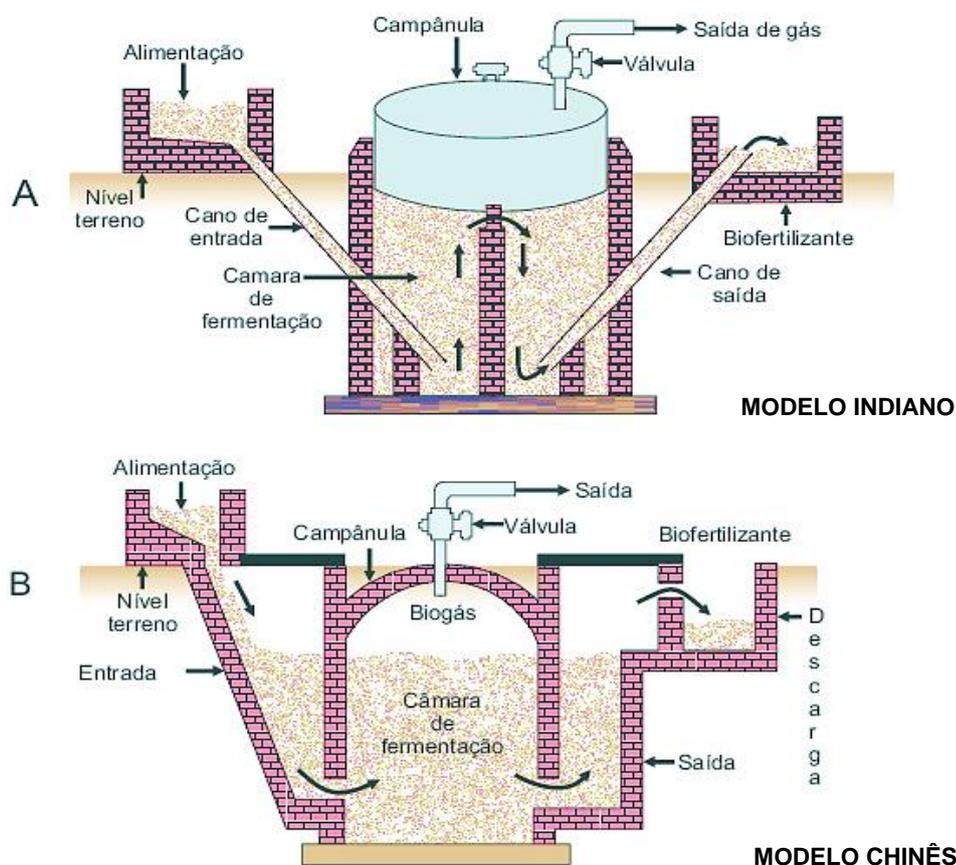
Os equipamentos que utilizam o princípio de digestão anaeróbia têm sua classificação bem abrangente podendo ser utilizado para a biodigestão de resíduos que possuem em sua composição uma parcela orgânica decomponível, como por exemplo, a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) (GOMES, 2010).

Os Biodigestores anaeróbios em disponibilidade no mercado mundial apresentam ampla variedade em termos de projeto (cilíndricos, retangulares), de regime de operação (contínuos ou de batelada), de temperatura de processo (mesofílico ou termofílico), de grau de umidade (via úmida ou via seca), entre outros parâmetros. Todos eles, entretanto, têm em comum o fato de que seu produto é sempre um biogás composto por dióxido de carbono (33% a 42%) e metano (55% a 65%), além de substâncias traço. O digerido apresenta composição apropriada para

uso em agricultura, seja como composto, seja como fertilizante, dada a presença de altos teores de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) (IEA,2009).

O uso de biodigestores no tratamento de dejetos de animais está amplamente disseminado em todo o mundo, com plantas, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento (Figura 8), abrangendo também as comunidades rurais onde predominam os biodigestores de pequena escala. É estimado que existam 8 milhões de biodigestores de pequena escala na China (IEA, 2009).

Figura 8 - Modelos de digestores anaeróbios utilizados mundialmente



Fonte: IEA (2009)

O modelo indiano opera com pressão constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante. O resíduo utilizado para alimentar esse tipo de biodigestor deve apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo no interior da câmara de fermentação e evitar a interrupção dos fluxos de entrada e saída do material nos canos. A

alimentação deve ser contínua, ou seja, deve-se manter certa regularidade no fornecimento de dejetos.

O modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Esse biodigestor funciona com base no princípio da prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída e em sentido contrário quando ocorre descompressão.

Nesse tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é libertado para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Por esse motivo, as plantas de biodigestores do tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte.

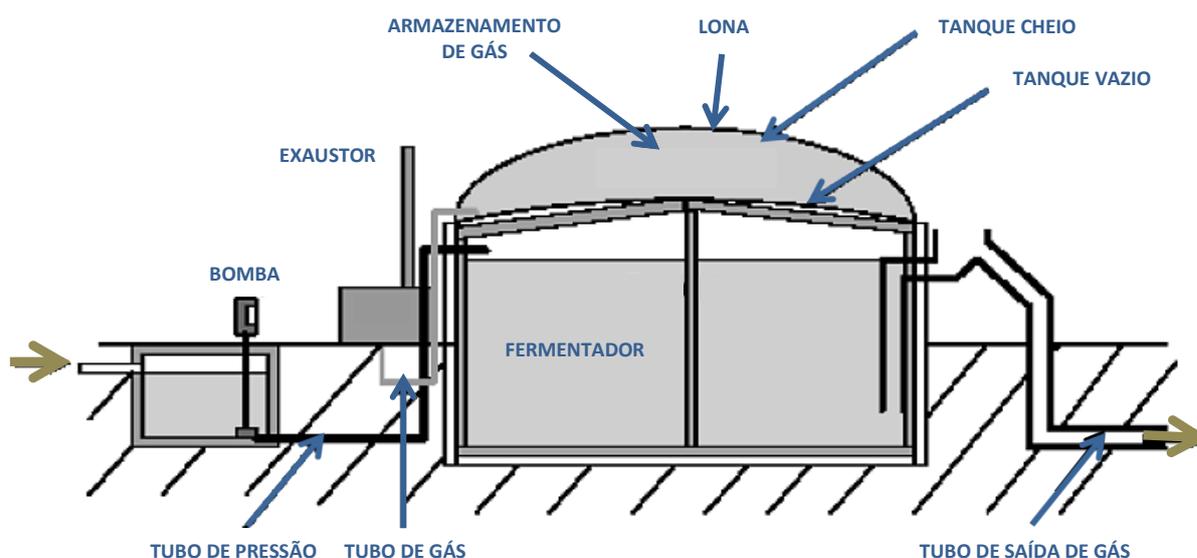
Semelhante ao modelo indiano, o substrato deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

Em termos comparativos, os modelos Chinês e Indiano, apresentam desempenho semelhante, apesar de o modelo Indiano ter apresentado em determinados experimentos eficiência relativamente superior no que tange a produção de biogás e redução de sólidos no substrato.

Nos países desenvolvidos, onde as fazendas abrangem maior porte e detém melhor tecnologia empregada às plantas de digestão anaeróbia, este processo está voltado para a produção de calor e eletricidade, sendo que, essas unidades são providas de agitadores e se utilizam de longos períodos de retenção para proporcionar o tratamento necessário (IEA, 2009).

Nos países europeus, existem dois tipos de sistemas digestores predominantes: o chamado digestor com topo de borracha ou de lona (Figura 9) e o digestor de topo de concreto, os quais são geralmente construídos no solo. Ambos possuem formatos cilíndricos e tem em seu dimensionamento a razão altura/diâmetro, em geral, com 1/3 e 1/4. Os tanques possuem mistura intermitente e tempo de retenção hidráulica do resíduo a ser tratado de 15 a 50 dias. Um maior tempo de retenção deve ser aplicado quando a produção energética é utilizada como fonte de energia. Na Alemanha, mais de 2.000 digestores com ênfase na produção de biogás e, por conseguinte, para geração energética, estão em operação nas fazendas (IEA, 2009).

Figura 9 - Esquema típico de um digestor europeu

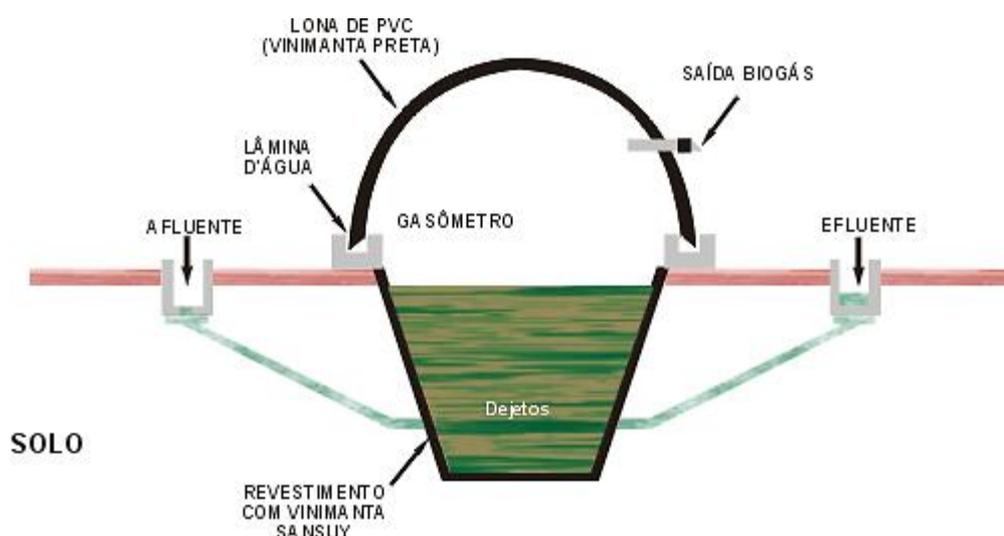


Fonte: Adaptado de IEA (2009)

Existe ainda o modelo canadense (Figura 10), também conhecido como biodigestor da Marinha, que se diferencia pelo fato de ser do tipo horizontal. É constituído por uma caixa de carga construída em alvenaria com largura superior a profundidade, o que lhe confere maior área de exposição ao sol e resulta em grande produção de biogás e evita o entupimento (CASTANHO & HARRUDA, 2008), uma câmara de fermentação subterrânea revestida com lona plástica e uma manta superior que retém o biogás produzido e forma uma campânula de armazenamento que infla com a produção de gás. Possui ainda uma caixa de saída onde o efluente é liberado, um registro para saída do biogás e um queimador, que fica conectado ao registro de saída do biogás (PEREIRA et al., 2009).

É um modelo que vem ganhando maior espaço em virtude dos menores custos e facilidade de implantação. A vantagem desse processo está na produção constante de biogás que está relacionada à carga diária de sólidos voláteis. É atualmente o tipo de biodigestor mais difundido no Brasil, por apresentar a vantagem de poder operar tanto em pequenas quanto em grandes propriedades e projetos agroindustriais (OLIVER, 2008).

Figura 10 - Esquema típico de um biodigestor canadense.



Fonte: Deganutti *et al.*(2002).

Dentre os tipos de biodigestores citados, podem ser classificados de acordo com algumas condições de operação, sendo a concentração de sólidos um dos fatores que classificam os reatores anaeróbios. Assim, definem-se reatores de alto e baixo teor de sólidos totais. Quando os reatores apresentam concentrações de sólidos totais inferiores a 15%, são classificados de reatores de baixa concentração de sólidos totais ou ainda reatores molhados, já para concentrações de sólidos entre 25-30% de sólidos totais, os reatores são classificados como reatores a seco (IEA, 2009).

A temperatura de operação desses reatores também influi na sua classificação, uma vez que, reatores classificados como termofílicos são aqueles cuja temperatura de operação varia de 50-60°C. Já os reatores caracterizados como mesofílicos são aqueles cuja temperatura não supera os 37°C, o que interfere diretamente na seleção dos resíduos sólidos utilizados para a digestão e resulta na variação da eficiência de geração do biogás advinda da seleção microbiológica (LEITE, 1997).

Os subprodutos remanescentes da biodigestão são comumente utilizados como bioestabilizadores de solo para agricultura, apresentando ainda concentrações de carbono orgânico residual, nitrogênio, fósforo e potássio (BUEDINA, 2008).

Vários fatores podem influenciar na digestão anaeróbia e na produção de biogás em plantas biodigestoras, tais como, temperatura, pH, umidade, natureza do

substrato, teor de carbono, nitrogênio, inóculo, configuração do digestor, carga orgânica, entre outros (CHRISTY, *et al.*, 2014).

Os digestores também são classificados de acordo com o tipo de regime de operação, sendo, reatores de regime contínuo aqueles que possuem alimentação constante durante a biometanização e, reatores descontínuos, conhecidos também como reatores batelada, são aqueles que, inicialmente alimentados, passam pelo processo de digestão sem alimentação e, após o término do processo, são esvaziados e realimentados (IEA, 2009).

Existe ainda outro critério de classificação quanto ao número de reatores utilizados em série, sendo, processos de um estágio, aqueles que possuem um único reator para digestão e, os de múltiplo estágio, aqueles que possuem mais de um reator em série para digestão, de acordo com Arsova *et al.* (2010).

3.5.6 CAPACIDADE ENERGÉTICA DOS DIGESTORES ANAERÓBIOS

Independente do tipo de biodigestor, praticamente todos utilizam o biogás para a produção de eletricidade. A maioria faz o uso de apenas uma fração do calor gerado pelo digestor para aquecimento da água de residência ou do ambiente doméstico em regiões mais frias, entre outras aplicações. Com a grande escassez energética que acomete o mundo todo, a tendência foi o aumento do tamanho dos digestores nos últimos anos. Na Alemanha, a potência média de um gerador a biogás instalada passou de 50 kW em 1999 para 330 kW em 2002 (IEA, 2009).

As tecnologias de digestão anaeróbia requerem, em sua maioria, coleta e segregação de resíduos anteriores ao envio para as unidades de digestão, visto que, a redução da eficiência das mesmas, quando do contato com resíduos não biodegradáveis, dá origem a uma barreira microbiológica gerada pelos mesmos (LEITE, 1997).

Contudo, atualmente as alternativas para tratamento de RSU são muito abrangentes, uma vez que a seleção da tecnologia depende diretamente do resíduo a ser tratado. As diversas tecnologias estão expressas no Quadro 1 (FADE, 2013).

Quadro 1 - Tecnologias de tratamento e disposição de RSU

SISTEMAS BÁSICOS	PROCESSOS	EVOLUÇÃO	PRODUTOS	INOVAÇÃO
TRIAGEM	Físico	Coleta Seletiva Tratamento Mecânico- Biológico (TBM)	Matéria-Prima para Reciclagem e Energia	Recuperação dos resíduos (Waste to Resources-WTR) Energia derivada dos resíduos (Waste to Energy-WTE)
TRATAMENTO BIOLÓGICO	Biológico	Biodigestores Anaeróbios Compostagem	Composto Orgânico e Energia	Agricultura e Energia derivada dos resíduos (Waste to Energy-WTE)
INCINERAÇÃO	Físico-químico	Tratamento Térmico	Vapor e Energia Elétrica	Energia derivada dos resíduos (Waste to Energy-WTE)
ATERROS SANITÁRIOS	Físico, Químico e Biológico	Reator Anaeróbio Tratamento da M. Orgânica	Biogás (Energia) e Lixiviado	Energia derivada dos resíduos (Waste to Energy-WTE) e Fertilizantes

Fonte: FADE (2013)

Os processos citados e que predominam atualmente na implantação de tecnologias são a compostagem, os digestores anaeróbios, os aterros sanitários e a incineração nas quais os processos intrínsecos possuem características aeróbias, anaeróbias e tratamento térmico, respectivamente.

O processo de tratamento de RSU exige, contudo, uma triagem prévia dos resíduos coletados, com a intenção de não serem prejudiciais ao tratamento posteriormente aplicado. As unidades de triagem podem ser de diferentes tipos e tecnologias, sendo as duas grandes classes seccionadas entre triagem manual ou triagem automatizada - elutriadores, peneiras, transportadores pneumáticos, entre outros - nas quais, parte dos resíduos é separada por meio de ação manual ou mecânica e levados para reciclagem ou destinação adequada com vistas a reutilização (FADE, 2013).

Portando, pode-se dizer que o objetivo principal da triagem para os RSU é a preparação para posterior tratamento, como por exemplo, a separação de resíduo reciclável de RSU para encaminhamento da FORSU a digestores, sejam ele anaeróbios ou aeróbios (FADE, 2013).

Através do tratamento anaeróbio, parte da FORSU inicialmente inoculada é transformada em biogás e a parte residual do processo de digestão anaeróbia denominada digestado. O digestado, ainda rico em macro e micronutriente, tem

como principal aplicação a agricultura, como biofertilizante pois, em geral, parte de sua composição é rica em Nitrogênio, Fósforo e Potássio, elementos químicos essenciais para as plantações (REIS, 2012).

3.5.7 Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos

Ferreira (2010) descreve a Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) como uma mistura heterogênea de resíduos decomponíveis, capazes de serem degradados por microrganismos, com um teor típico de 40% de umidade. A variabilidade da sua constituição depende preponderantemente de fatores, como o sistema de coleta utilizado, a sua proveniência e dos efeitos decorrentes da sazonalidade ao longo do ano. Em sistemas de coleta seletiva do tipo “porta a porta”, o teor de contaminantes, como plásticos, vidros, metais pesados e algumas substâncias químicas são, em geral, menores e apresentam maior qualidade em FORSU, com baixos teores em termos de matéria não-biodegradável (HARTMANN & AHRING, 2006). Esse aspecto tem influência direta na quantidade e qualidade do metano gerada em biodigestores, sobretudo na produção específica de biogás.

3.5.8 Biogás

O biogás, produzido a partir da digestão anaeróbia da matéria orgânica presente em efluentes e resíduos sólidos urbanos e industriais é composto majoritariamente de metano e dióxido de carbono, contendo ainda pequenas quantidades de outros gases como: nitrogênio, amônia, ácido sulfúrico, além de representar uma fonte alternativa e renovável de energia cada vez mais utilizada em todo o mundo (IEA, 2009). A Tabela 7 apresenta as características típicas da composição de biogás.

Tabela 7 - Características e composição típica do Biogás.

¹Produzido a partir da matéria orgânica de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

²Produzido a partir da matéria orgânica de resíduos agropecuários em reatores anaeróbios.

PARÂMETRO	GÁS DE REJEITOS ¹	BIOGÁS - DIGESTÃO ANAERÓBICA ²
Poder calorífico inferior (MJ/Nm ³)	16	23
Metano (%vol)	35-65	53-70
Dióxido de carbono (%vol)	15-50	30-47
Nitrogênio (%vol)	5-40%	-
Ácido sulfídrico (ppm)	<100	<1000
Amônia (ppm)	5	<100

Fonte: IEA (2009)

Nos países em desenvolvimento, o uso mais comum do biogás em plantas de pequena escala é para cocção e iluminação. Fogões convencionais a gás e lamparinas podem ser facilmente ajustados para usar biogás modificando a razão ar/gás. Nos países industrializados, caldeiras estão presentes apenas em um pequeno número de plantas onde o biogás é utilizado como combustível sem cogeração. Em diversas aplicações industriais, o biogás é utilizado para a produção de vapor. A queima do biogás em caldeiras é uma tecnologia bem estabelecida e confiável, e existem poucas restrições em relação à qualidade do biogás (IEA, 2009).

O biogás também é um combustível adequado para a geração de energia elétrica ou cogeração. Diversas tecnologias estão disponíveis, sendo as principais aplicações em geradores com combustão interna e as turbinas a gás (IEA, 2009).

Para a geração de eletricidade, a utilização de biogás em sistemas de combustão interna é uma tecnologia bem consolidada e extremamente confiável. Milhares de equipamentos são operados em estações de tratamento de efluentes, aterros e plantas de biogás. O tamanho dos equipamentos varia de 12 kW em pequenas fazendas até vários MW em grandes aterros (IEA, 2009).

No Brasil, a elevada população e sua concentração em grandes centros urbanos, e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial indicam um potencial significativo de produção de biogás. Estudos revelam um potencial de produção de biogás superior a 50 milhões de m³ de CH₄ por dia. Contudo, o aproveitamento do biogás ainda é incipiente no Brasil, com apenas 42 MW de capacidade instalada e 20 MW em construção (ANEEL, 2009).

Considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais, é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial.

A viabilidade do aproveitamento energético do biogás depende substancialmente da escala dos projetos. Em geral, estes são viáveis para aterros e estações de tratamento de efluentes que atendem a uma população superior a 50.000 habitantes e em fazendas de suínos e de pecuária leiteira com pelo menos 5.000 e 1.000 animais, respectivamente. O biogás também se mostra competitivo quando comparado com os combustíveis fósseis utilizados na indústria e no setor de transporte (IEA,2009).

3.5.9 Substratos das Plantas de Digestão Anaeróbias

Materiais comumente utilizados na agricultura são apropriados para a utilização em usinas de biogás como substratos. Dentre esses materiais, destacam-se os adubos orgânicos e as silagens, originalmente utilizados na agricultura, bem como, em produtos de beneficiamento de matéria-prima vegetal. O bônus relativo à biomassa tem sua contribuição parcialmente reduzida quando utilizados como subprodutos, sendo suspensos completamente se a usina utilizar somente resíduos.

Os valores dos subprodutos vegetais e resíduos são tabelados e mencionados pelo mercado. Nos preços já estão inclusos os valores de transporte até as usinas de biogás, assim como, os valores cobrados pelo armazenamento nas dependências das usinas. As perdas de até 12% são arcadas pela usina de biogás e o armazenamento considerado foi de aproximadamente uma semana até a utilização continuamente (IEA,2009).

3.5.10 Custos das Plantas de Digestão Anaeróbias

Os custos que envolvem plantas de digestão anaeróbias são bastante complexos. Contudo, podem-se obter valores de aquisição, instalação e operação muito próximos da realidade levando-se em conta o custo de transporte com a matéria prima (RSU), com a disposição de subprodutos gerados, a distância entre as unidades de coleta, triagem até a unidade de processamento, com o corpo técnico de operação, aquisição de terreno e equipamentos, além de fatores sociais como,

ambiente político e econômico do município, bem como as atividades por ele realizadas (FADE, 2013).

Em síntese, considerando-se fatores relacionados à instalação, implementação e operação entre outros custos, pode-se chegar a uma estimativa razoável, a exemplo de plantas para 20.000 t/ano e 72.700 t/ano de RSU, conforme apresentado na Tabela 8 (FADE, 2013).

Tabela 8 - Análise da implantação de plantas de digestão anaeróbias.

ITEM	VALORES (R\$)	%	VALORES	%
CAPACIDADE DE TRATAMENTO (t/ano)	20.000,00		72.700,00	
CUSTOS TOTAIS DE INVESTIMENTO				
Custo Unitário de Investimento (R\$/t)	37,12		35,54	
Custos Fixos de Operação (Mão de Obra) (R\$/ano)	439.582,00	22%	439.582,00	12%
Custos de Insumos, Manutenção e seguros (R\$)	1.560.418,00	78%	3.195.418,00	88%
CUSTOS TOTAIS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (R\$/ano)	2.000.000,00		3.635.000,00	
Custo Unitário de operação e manutenção (R\$/t)	100,00		50,00	

Fonte: FADE (2013)

Observa-se, através da Tabela 8, que os custos de maior interferência para a implantação de digestores anaeróbios são os custos de operação e manutenção.

4 METODOLOGIA

Visando identificar o panorama e as características que atualmente envolvem o processo de coleta, transbordo e destinação final dos Resíduos Sólidos Domiciliares, Comerciais e Urbanos (RSDCU) no município de Ribeirão Preto e indicar uma tecnologia alternativa para a disposição adequada e aproveitamento energético, o presente estudo se valeu de uma metodologia de levantamento de dados qualitativos abrangendo as seguintes etapas:

4.1 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E DE GERAÇÃO DE RSDCU NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

Esta etapa envolveu a consulta de dados públicos disponíveis no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSBRP) através do acesso ao site da Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, pelo qual se obteve informações relativas ao crescimento populacional no período de 1980 a 2018 e a taxa de geração de RSU correspondente. A partir desses dados, foi possível verificar a situação atual do município no tocante ao crescimento populacional, volume de RSDCU gerado e taxa de geração per capita, variáveis por meio das quais, se estruturou um cenário histórico e atual para o município com vistas à proposta de uma tecnologia alternativa de disposição final.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, COMERCIAIS E URBANOS ADOTADO NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

Nesta etapa, caracterizou-se o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares comerciais e urbanos adotado no município de Ribeirão Preto através de três procedimentos:

- Verificação das operações de coleta realizadas por um dos caminhões compactadores com registros fotográficos e acompanhamento do mesmo até a estação de transbordo situada na rodovia Mário Donegá, km 0,5 - SP 291;
- Visita a Estação de Transbordo de Ribeirão Preto para verificação das operações de descarga de caminhões compactadores e o processo de

transbordo, com registros fotográficos e explicações do encarregado acerca do processo;

- Acompanhamento de um dos caminhões contêiner da saída da Estação de Transbordo até o Aterro de Guatapará, onde se verificou e registrou *in loco* o processo de disposio e compactao dos RSDCU.

Esse processo possibilitou desenvolver um compêndio de informaçoes, a partir das quais, se caracterizou o cenário atualmente presente no município de Ribeirão Preto no que tange o sistema de gerenciamento dos RSDCU.

4.3 AVALIAO DOS CUSTOS ATUALMENTE DISPENDIDOS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO COM A COLETA, TRANSBORDO, TRANSPORTE E DISPOSIO FINAL DOS RSDCU

Da mesma forma, os custos relacionados ao sistema de gerenciamento, abrangendo a coleta, transbordo, transporte e disposio final de RSDCU, foram obtidos através de consultas aos dados públicos disponíveis no site da Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, especificamente no Plano Municipal de Saneamento Básico e, utilizando as variáveis Populao, Gerao per capita e Custos de destinao, calculou-se o custo anual decorrente da adoo desse sistema pelo município. Esse valor foi de fundamental importância para que fosse possível efetuar um comparativo entre os custos dispendidos com o sistema atual de gestão de RSDCU e os custos decorrentes da aquisio, operao e manuteno de uma tecnologia alternativa de disposio final.

4.4 CARACTERIZAO DA TECNOLOGIA DE DISPOSIO FINAL DE RSDCU EM BIODIGESTORES MODULARES POR MEIO DA DESCRIO DE DADOS TÉCNICOS APRESENTADOS PELO FORNECEDOR A.

Essa etapa foi realizada por meio da análise dos dados técnicos transmitidos pelo Fornecedor A (nome fictício) acerca das características dos biodigestores modulares e dos dados posteriormente solicitados através de contato telefnico e por e-mail que possibilitaram o levantamento de informaçoes relativas ao dimensionamento, capacidade de processamento de RSD e operao dos biodigestores modulares.

4.5 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES

Os valores relativos à aquisição, operação e manutenção de biodigestores modulares foram obtidos por meio dos dados constantes no orçamento transmitido pelo Fornecedor A (nome fictício), por meio de contato telefônico e e-mail.

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES E OS CUSTOS DISPENDIDOS PELO ATUAL SISTEMA DE GERENCIAMENTO DOS RSDCU ADOTADO PELO MUNICÍPIO

A partir dos dados e valores transmitidos pelo Fornecedor A (nome fictício) por meio de orçamento, prosseguiu-se a etapa de comparação entre os custos de instalação, operação e manutenção de biodigestores modulares e os custos dispendidos pelo atual sistema de gerenciamento dos RSDCU adotado pelo município. Mediante essa comparação, objetivou-se apurar a viabilidade e as vantagens de se adotar tal tecnologia de disposição final e propô-la como alternativa mais viável ao município em termos de custo e aproveitamento energético.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, são apresentados os resultados obtidos através da metodologia proposta na etapa anterior envolvendo os RSDCU no município de Ribeirão Preto e a proposta de uma tecnologia alternativa à atualmente utilizada.

5.1 PANORAMA SOBRE A AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E DE GERAÇÃO DE RSU NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

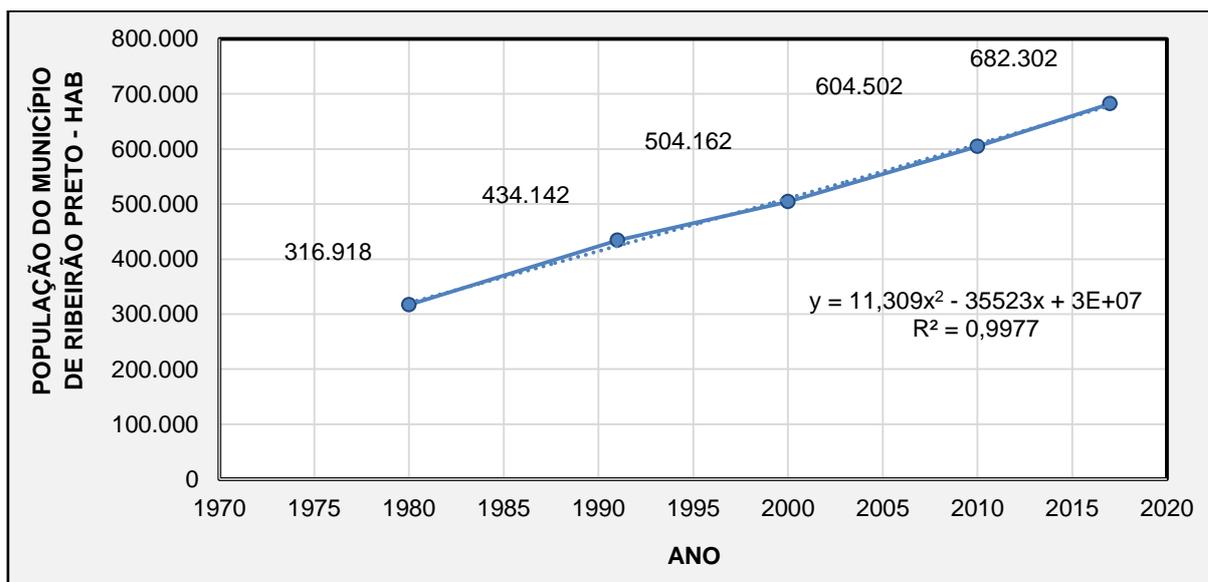
Com base nos dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), prefeitura municipal de Ribeirão Preto (PMRP) e a problemática que envolve o crescimento e a geração de RSU no município, pode-se observar os resultados expressos nas Tabela 9 e na Figura 11.

Tabela 9 - Crescimento populacional no município de Ribeirão Preto.

Ano	População
1980	316.918
1991	434.142
2000	504.162
2010	604.502
2017	682.302
2018	748.691

Fonte: Autor (2018) (adaptado IBGE, PMRP).

Figura 11 - Crescimento populacional no município de Ribeirão Preto e ajuste polinomial.



Fonte: Autor (2018).

A Tabela 9 e a Figura 11 mostram o crescimento populacional no município de Ribeirão Preto com base nos dados fornecido pelo IBGE e PMRP. Nota-se que o crescimento populacional em Ribeirão Preto tende a aumentar ao longo do tempo e, conseqüentemente, a problemática envolvendo a geração e disposição de RSU.

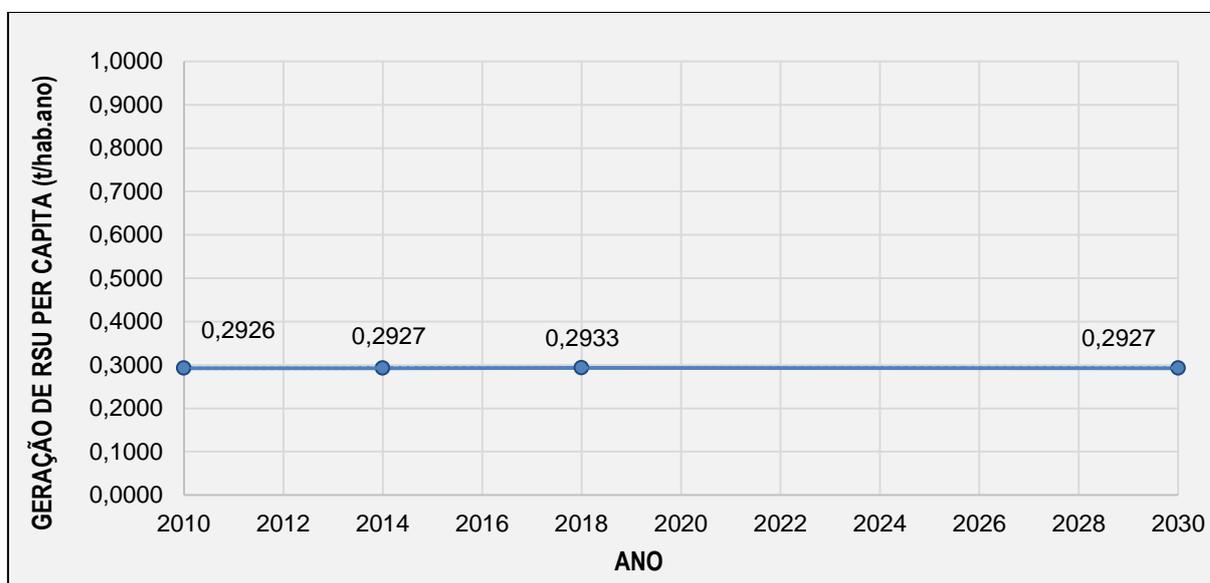
A Tabela 10 e a Figura 12 mostram a geração de RSU no município de Ribeirão Preto estimada com base na população, bem como, a geração per capita anual atual e com uma breve perspectiva ao ano de 2030.

Tabela 10 - Geração de RSU no município de Ribeirão Preto.

Ano	População	Geração de RSU (t/ano)	Geração de RSU per capita (t/hab.ano)
2010	604.502	176.905,10	0,2926
2014	649.071	190.002,40	0,2927
2018	748.691	219.580,90	0,2933
2030	1.077.000	315.270,00	0,2927
		Média	0,2928
		Desvio Padrão	0,0003

Fonte: Autor (2018).

Figura 12 - Geração per capita no município de Ribeirão Preto com perspectiva para o ano de 2030.



Fonte: Autor (2018).

A Tabela 10 e a Figura 12 evidenciam a geração de RSU no município de Ribeirão Preto, bem como, a taxa de geração per capita de RSU, por meio da qual é possível identificar que ao longo do tempo há pouca variação na taxa de geração per capita ficando em média de 0,2928 t/hab.ano ou ainda 0,802 kg/hab.dia.

Estes dados corroboram a necessidade de se buscar tecnologias capazes de receber e destinar de forma adequada os RSU ao longo do tempo. Nesse sentido, a implantação de biodigestores anaeróbios modulares apresenta-se como uma alternativa viável se considerarmos que a atual tecnologia de disposição de RSU em aterros comporta um limite que, uma vez alcançado, determina o seu fechamento e a necessidade de encontrar outro local elevando seu custo. Não obstante, sabe-se que a tecnologia de biodigestores anaeróbios modulares possui hoje maior facilidade operacional e acesso em relação à disposição.

5.2 DIAGNÓSTICO SOBRE O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO

O Plano Setorial de Limpeza Urbana e Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Ribeirão Preto (PSLUMRSU, 2012) classifica os RSU do município segundo dois critérios: riscos potenciais ao meio ambiente e origem. De acordo com a origem, o plano estabelece a seguinte classificação: Domiciliar ou Residencial, Comercial, Público, Domiciliar Especial e de Fontes Especiais.

Os denominados Resíduos Sólidos Domiciliares são aqueles gerados nas atividades diárias das residências. Apresentam em torno de 50% a 60% de composição orgânica (cascas de frutas, verduras e sobras de alimentos, etc.), sendo o restante composto por embalagens em geral, como garrafas, latas, vidros, papel higiênico, fraldas descartáveis, jornais, revistas e uma grande variedade de outros itens (PMSB, 2012).

São denominados Resíduos Sólidos Comerciais aqueles gerados de acordo com a atividade dos estabelecimentos comerciais e de serviço. No caso de bares, hotéis e restaurantes, predominam os resíduos orgânicos, já os escritórios, bancos e lojas, predomina os resíduos como papel, plástico e vidro, entre outros (PMSB, 2012).

Os Resíduos Públicos são aqueles provenientes dos serviços de limpeza urbana (varrição de vias públicas, limpeza de galerias, córregos e terrenos, restos de podas de árvores, corpos de animais, etc.), limpeza de feiras livres (restos vegetais diversos e embalagens em geral). São também considerados públicos os resíduos descartados irregularmente pela própria população, como entulhos, papéis, restos de embalagens e alimentos (PMSB, 2012).

O Plano Setorial de Limpeza Urbana e Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos

do Município de Ribeirão Preto (PSLUMRSU, 2012) engloba ainda em sua classificação os Resíduos Domiciliares Especiais (RDE) e os Resíduos de Fontes Especiais (RFE). Os Resíduos Domiciliares Especiais (RDE) compreendem os entulhos de obras, as pilhas e baterias, as lâmpadas fluorescentes, os óleos lubrificantes e os pneus. Os entulhos de obra, também conhecidos como resíduos da construção civil e de demolição (RCD), só estão enquadrados nesta categoria por causa da grande quantidade de sua geração e pela importância que sua recuperação e reciclagem vêm assumindo no cenário nacional. São entendidos como uma mistura de materiais inertes provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., frequentemente chamados de entulhos de obras, além daqueles os resultantes da preparação e da escavação de terrenos (solos e rochas). Atualmente, o município de Ribeirão Preto conta com duas áreas cadastradas na Secretaria Municipal do Meio Ambiente para disposição de RCD: a área municipal utilizada pela ATERP - Associação de Transportadores de Entulho e Resíduos de Ribeirão Preto, localizada no final da via Norte, e a área particular Reciclax, localizada na Av. dos Andradas, 230.

Os Resíduos de Fontes Especiais (RFE) são assim considerados em razão de suas características tóxicas, radioativas e contaminantes, necessitando, por essas razões, de cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte e sua disposição final. Dentro da classe de resíduos de fontes especiais, merecem destaque os seguintes resíduos de embalagens de agrotóxicos, os resíduos radioativos e os resíduos sólidos dos serviços de saúde (RSS) que, uma vez coletados, são encaminhados a Unidade de Tratamento de Resíduos dos Serviços de Saúde de Jardinópolis (NGA - Jardinópolis), localizada na estrada municipal Jardinópolis - Sales Oliveira, Km 09 - Sítio Santo Alexandre.

É importante destacar que, de acordo com as informações obtidas junto ao encarregado de operações da estação de transbordo, as classes de resíduos sólidos que passam pelas operações de transbordo e são posteriormente encaminhadas ao CGR de Guatapará envolvem apenas os resíduos classificados como, domiciliar, comercial e público, compreendendo, portanto aqueles gerados nas atividades

diárias das residências, nas atividades dos estabelecimentos comerciais e provenientes dos serviços de limpeza urbana, respectivamente.

O gerenciamento desses Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é realizado pela Coordenadoria de Limpeza Urbana (CLI) que, junto à empresa prestadora de serviços contratada, efetua a coleta porta a porta. Essa coleta acontece em todo território urbano separado por microrregiões estipuladas no plano de coleta de RSU do município (PMRP, 2014). Os resíduos sólidos domiciliares, comerciais e públicos do município (Figuras 13, 14 e 15) são gerenciados de acordo com o plano municipal de coleta de RSU e aborda parâmetros, tais como, definição dos equipamentos que serão utilizados, frequência com que ocorre a coleta, distância a estação de transbordo e ao aterro sanitário, tempo de descarga, estimativa do volume de resíduos a ser coletado, topografia, tipo de terreno, carga horária de equipes, entre outros fatores interferentes, em conformidade com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010).

Figura 13 - Resíduos sólidos domiciliares.



Fonte: Autor (2018).

Figura 14 - Resíduos sólidos comerciais.



Fonte: Autor (2018).

Figura 15 - Resíduos sólidos públicos.



Fonte: Autor (2018).

A separação, acondicionamento e disposição dos RSDCU são de responsabilidade pública do gestor, de acordo com os dias programados. Este serviço é realizado utilizando-se 19 caminhões compactadores (Figura 16), em dois turnos de trabalho e demanda o efetivo de 155 coletores e 44 motoristas (PMRP, 2014).

Figura 16 - Caminhão compactador e coletores de resíduos sólidos domiciliares.



Autor (2018).

A frequência com que ocorre o serviço de coleta é de três vezes por semana, com dias intercalados entre os bairros, à exceção do chamado quadrilátero central da cidade cuja frequência é diária devido ao volume gerado de resíduos.

Todos os resíduos coletados através do serviço prestado pela empresa contratada pelo município são encaminhados a Estação de Transbordo (Figura 17) localizada no antigo local de disposição final de resíduos de Ribeirão Preto situado na rodovia Mário Donegá - SP 291 e, posteriormente, são encaminhados ao CGR localizado no município de Guatapará.

Figura 17 - Estação de Transbordo.



Fonte: Autor (2018).

A Estação de Transbordo possui capacidade para 700 t/dia e funciona sob a Licença Operacional/CETESB nº 4003814 recebendo resíduos sólidos domiciliares, comerciais e urbanos. No local, os resíduos recebidos são previamente pesados e posteriormente armazenados e separados em caixas estacionárias de 40m³, adequadas ao carregamento de caminhões do tipo roll-on/roll-off, que efetuarão o traslado até o local de disposição final no CGR de Guatapará.

Atualmente, o serviço de transbordo é realizado por 13 trabalhadores que cumprem turnos diurno e noturno, entre operadores de máquinas, supervisores de equipamentos e operários (Figuras 18 e 19) pertencentes à empresa responsável por esse serviço, sendo esta remunerada mensalmente conforme a massa em toneladas dos resíduos (PMRP, 2014).

Figura 18 - Estação de transbordo.



Fonte: Autor (2018).

Figura 19 - Estação de transbordo.



Fonte: Autor (2018).

5.2.1 Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará (CGR)

Localizado no quilmetro 183 da rodovia Deputado Cunha Bueno - SP 253 - na zona rural do município de Guatapará (Figuras 20 e 21), o aterro sanitário de Guatapará ocupa uma área de 950 mil m² e recebe 2,2 mil toneladas de RSU por dia provenientes de 20 cidades da região de Ribeirão Preto, SP (PMRP, 2015) sendo, por essa razão, classificado como um aterro de grande porte.

Figura 20 - Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará.



Fonte: Autor (2018).

Figura 21- Centro de Gerenciamento de Resíduos de Guatapará.



Fonte: Autor (2018).

Foi inaugurado em julho de 2007 mediante a emissão de licença de operação concedida pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e projetado para receber resíduos domiciliares e industriais das classes II A e II B.

Considerado o maior aterro sanitário da região nordeste de São Paulo, possui vida útil de 25 anos e, em 2014, recebeu avaliação máxima (10) no Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) elaborado pela CETESB. Emitido a partir de inspeções *in loco* de técnicos da CETESB nas áreas de disposição final, o IQR considera uma série de fatores, como estrutura de proteção ambiental dos empreendimentos, características do espaço, dimensões da frente de trabalho (área na qual os resíduos são compactados), entre outros (CETESB, 2014). As Figuras 20 e 21 apresentam imagens do CGR de Guatapará.

De acordo com dados obtidos junto a Coordenadoria de Limpeza Urbana (CLI), a Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, por meio de sua contratada, encaminha ao CGR de Guatapará somente os resíduos sólidos urbanos provenientes das atividades domiciliares, comerciais e urbanas, o que inclui os resíduos gerados nas atividades diárias das residências (cascas de frutas, verduras e sobras de alimentos, etc.) e embalagens em geral (garrafas, latas, vidros, papel higiênico, fraldas descartáveis, jornais, revistas e uma grande variedade de outros itens), aqueles gerados pelas atividades dos estabelecimentos comerciais e de serviço (resíduos orgânicos, papel, plástico e vidro, entre outros) e aqueles provenientes dos serviços de limpeza urbana (varrição de vias públicas, limpeza de

galerias, córregos e terrenos, restos de podas de árvores, etc.), limpeza de feiras livres (restos vegetais diversos e embalagens em geral). Os Resíduos Domiciliares Especiais (RDE) e os Resíduos de Fontes Especiais (RFE) recebem outro tratamento e destinação, conforme citado anteriormente.

5.3 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS ATUALMENTE DISPENDIDOS NO MUNICÍPIO COM A COLETA, TRANSBORDO, TRANSPORTE E DISPOSIÇÃO FINAL DE RSD

A Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto fornece publicamente que o custo total mensal para coleta, transbordo, transporte e destinação final é de R\$ 2.847.700,00, o que totaliza R\$ 34.172.400,00 ao ano, sendo os custos de maior relevância o de disposição e transporte até o aterro sanitário em Guatapará.

A Tabela 11 mostra o cenário abordado para as próximas etapas da pesquisa.

Tabela 11 - Cenário obtido para o município de Ribeirão Preto.

Parâmetro	Estimativa
População	748.691 habitantes
Geração per capita	0,2928 t/ano.hab
Custos com disposição final	34.172.400 R\$/ano

Fonte: Autor (2018).

Os custos dispendidos com a tecnologia atualmente empregada no município de Ribeirão Preto foram adquiridos através dos dados fornecidos pelo site da prefeitura municipal de Ribeirão Preto, por meio do qual foi possível mensurar os custos presentes em cada etapa no atual cenário e para os demais anos. A Tabela 12 apresenta os custos mensais de disposição do RSU projetados para o município até o ano de 2030.

Tabela 12 - Custos mensais de disposição dos RSU no município de Ribeirão Preto.

Ano	RSU Total (t)	Custo de coleta (R\$)	Custo de destinação (R\$)	Custo Total (R\$)	Custo por tonelada (R\$/hab.mês)	Custo de coleta por tonelada (R\$/hab.mês)	Custo de disposição por tonelada (R\$/hab.mês)
2011	16.800	1.308,72	1.512,00	2.820,72	168	78	90
2012	16.800	1.377,60	1.512,00	2.889,60	172	82	90
2013	17.640	1.377,60	1.587,60	2.965,20	168	78	90
2014	18.480	1.446,48	1.663,20	3.109,68	168	78	90
2015	18.480	1.446,48	1.663,20	3.109,68	168	78	90
2016	19.320	1.515,36	1.738,80	3.254,16	168	78	90
2017	20.160	1.584,24	1.814,40	3.398,64	169	79	90
2018	21.000	1.653,12	1.890,00	3.543,12	169	79	90
2019	21.000	1.722,00	1.965,60	3.687,60	176	82	94
2020	21.840	1.722,00	2.041,20	3.763,20	172	79	93
2021	22.680	1.790,88	2.116,80	3.907,68	172	79	93
2022	23.520	1.859,76	2.192,40	4.052,16	172	79	93
2023	24.360	1.928,64	2.268,00	4.196,64	172	79	93
2024	24.360	1.997,52	2.268,00	4.265,52	175	82	93
2025	25.200	1.997,52	2.268,00	4.265,52	169	79	90
2026	25.200	2.066,40	2.343,60	4.410,00	175	82	93
2027	25.200	2.066,40	2.343,60	4.410,00	175	82	93
2028	26.040	2.135,28	2.419,20	4.554,48	175	82	93
2029	26.040	2.135,28	2.419,20	4.554,48	175	82	93
2030	27.720	2.135,28	2.494,80	4.630,08	167	77	90
				Média	171	80	92
				Desvio Padrão	3	2	2

Fonte: Autor (2018).

Expressos na Tabela 12 estão os dados referentes aos custos presentes no município de Ribeirão Preto atualmente. Nota-se que para o ano de 2018, a estimativa de produção de RSU médio mensal é de 21.000 toneladas, o custo dispendido da coleta desse RSU é de R\$1.653.120,00 mensais e o custo para destinação envolvendo transporte, transbordo e destinação final é de 1.890.000,00, o que totaliza um custo mensal de R\$3.543.120,00 e de R\$169,00 por habitante ao mês. Contudo, tal cenário foi selecionado para posterior comparação.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RSDCU EM BIODIGESTORES MODULARES POR MEIO DA DESCRIÇÃO DE DADOS TÉCNICOS APRESENTADOS PELO FORNECEDOR.

Segundo o Fornecedor A, o biodigestor que melhor atende as demandas de tratamento de RSDCU características do município de Ribeirão Preto é o modelo canadense, já abordado no item 3.5.5 deste trabalho. A principal vantagem desse modelo, se comparado a outros biodigestores, é o custo reduzido de implantação e a capacidade de processar grandes volumes de efluente.

Por sua flexibilidade e facilidade de instalação, sua planta pode ser projetada de acordo com topografia do terreno e dimensionada conforme o volume e o tipo de efluente que irá receber e processar. Nesse sentido, a característica “modular” (Figura 22) propicia realizar a ampliação do sistema no mesmo local ou a implantação de unidades de tratamento em diferentes regiões da cidade, setorizando os resíduos e direcionando-os para a unidade de tratamento mais próxima, o que reduziria significativamente os custos decorrentes da coleta e transporte dos resíduos.

Figura 22 - Biodigestor canadense com três módulos.



Fonte: Fornecedor A (2018).

No tocante ao sistema de operação, o biodigestor opera em regime contínuo de alimentação, ou seja, à medida que é inserido o efluente bruto, é eliminado na mesma proporção o efluente já estabilizado. É um biodigestor mesofílico, pois opera

na faixa de temperatura entre 30° C a 40° C, sendo o valor ótimo 35° C para propiciar as condições favoráveis de crescimento microbiano, estabilidade do processo e velocidade de degradação.

O sistema todo é constituído por um conjunto de três lagoas, as quais otimizam os resultados obtidos no biodigestor (Figura 23). Essas lagoas são denominadas:

- Lagoa Acidogênica, onde ocorre a pré-fermentação do efluente (1);
- Lagoa Anaeróbia (o biodigestor, propriamente), onde ocorre a biodegradação e a geração do biogás (2);
- Lagoa Facultativa, onde ocorre a estabilização final do efluente (3).

Figura 23 - Sistema de lagoas que formam o biodigestor modular.



Fonte: Fornecedor A (2018).

Todas as lagoas são escavadas, impermeabilizadas com geomembrana PEAD - polietileno de alta densidade (Figura 24) e a lagoa anaeróbia é coberta com geomembrana PEBD (polietileno de baixa densidade) para que haja a recuperação do biogás gerado (Figura 25).

Figura 24 - Geomembrana que impermeabiliza as lagoas.



Fonte: Fornecedor A (2018).

Figura 25 - Geomembrana que recobre o biodigestor.



Fonte: Fornecedor A (2018).

A planta conta com um conjunto de equipamentos que aumentam a eficiência do biodigestor como, controle de temperatura, sistema de recirculação e, mixer para de homogeneização, sistema de alívio de pressão do biodigestor (flare), sistema de biodessulfurização do biogás e software que permite total automação do biodigestor, com monitoramento do fornecedor. Esses equipamentos tem como função realizar a homogeneização do efluente no biodigestor, realizar a recirculação e aquecimento do lodo biológico, realizar a purificação do biogás - quando destinado à geração de energia elétrica - e otimizar a operação e a leitura de parâmetros do biodigestor por meio do sistema de automação.

Como vantagens, esse modelo apresenta:

- Baixo custo de implantação;
- Redução das emissões de CH₄, CO₂ e H₂S, neutralizando parte dos gases causadores do Efeito Estufa (GEEs);
- Como resultante do tratamento um efluente com carga orgânica reduzida, além de DBO, DQO e pH dentro dos parâmetros exigidos por lei logo à saída do sistema;
- Eliminação de odores e redução de insetos na lagoa de biodegradação em virtude da matéria estar coberta;
- A impermeabilização das lagoas e a estabilização do efluente ao término do processo impedem a contaminação do solo e dos recursos hídricos da região;
- O efluente tratado pode ser utilizado como fertilizante rico em N (Nitrogênio), P (Fósforo) e K (Potássio) nutrientes necessários para se ter um solo produtivo, aumentando a produção de pastos e lavouras;
- Eficiência e lucratividade na geração do biogás que poderá ser utilizado para produzir energia elétrica ou térmica;
- A energia elétrica produzida poderá ser utilizada e compartilhada para suprir as demandas locais e o excedente transferido para a concessionária gerando créditos;
- A utilização do biogás para a geração de energia térmica reduz a quantidade de lenha consumida, contribuindo com a redução do desmatamento;
- No caso de utilização industrial em caldeiras ou fornos, a redução de lenha é de 60% a 80% contribuindo com a redução direta do custo do custo de produção.
- Atendimento às exigências do órgão ambiental;
- Boa relação custo x benefício visto que, na maioria dos casos, o payback gira em torno de 12 meses.

5.5 AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE AQUISIÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES

Considerando a população de 748.691 mil habitantes no município de Ribeirão Preto, o fornecedor propõe a implantação de um sistema de biodigestão com dimensionamento de 25.210 m³ (volume útil total), 31.856 m³ (volume total do sistema) e área total de 8.466 m² (considerando apenas a área das lagoas). O sistema contará com 4 lagoas, sendo, 1 lagoa acidogênica (com volume útil de 562 m³), 2 lagoas anaeróbias que formam o sistema modular (com volume útil total de 12.605 m³) e 1 lagoa facultativa (com volume útil de 6.084 m³).

De acordo com o modelo proposto, o orçamento apresentado pelo Fornecedor A em 21/10/2018, anexo, os valores relacionam-se a aquisição de um sistema modular com dois biodigestores e todos os componentes, materiais e serviços necessários à implantação do sistema com geração e aproveitamento de energia elétrica. O referido orçamento subdivide-se em:

- Valor do projeto e execução do biodigestor: R\$ 969.444,16;
- Valor do sistema de geração de energia elétrica: R\$ 2.634.599,00;
- Valor total: R\$ 3.604.043,16

Segundo dados transmitidos pelo fornecedor, os custos referentes à manutenção da planta são estimados em R\$ 10.000,00 mensais e os custos de operação, relacionados à mão de obra de dois funcionários em turno diário, cerca de R\$ 2.600, o que totaliza cerca de R\$ 12.600,00/mês.

5.6 COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS DISPENDIDOS PELO ATUAL SISTEMA DE GERENCIAMENTO DOS RSDCU ADOTADO PELO MUNICÍPIO E OS CUSTOS DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BIODIGESTORES MODULARES

Considerando que o atual modelo de gestão de resíduos sólidos adotado pela prefeitura municipal de Ribeirão Preto dispense custos de R\$ 2.847.700,00/mês com a coleta, transbordo, transporte e disposição final de RSD e o custo de aquisição do sistema biodigestor orçado é de R\$ 3.604.043,16, na análise comparativa temos, a princípio, uma diferença de R\$ 756.343,16, valor que rapidamente seria suportado pela geração e comercialização de energia elétrica da planta, justificando a aquisição. Nesse sentido, a referida planta apresenta uma capacidade de geração

de energia elétrica da ordem de 540.096 kWh (29 dias) o que, considerando o valor médio pago pelas concessionárias R\$ 0,75 kWh, resultará em uma receita de R\$ 405.072,00/mês e custeará a aquisição do sistema em aproximadamente 9 meses.

Não obstante, após o pagamento, a planta gerará receitas que representarão uma redução nos valores atualmente gastos pela prefeitura de aproximadamente 14,23%, conforme representado na Tabela 13:

Tabela 13 - Receita estimada da venda de energia elétrica.

Preço médio pago pela concessionária (kWh)	Geração de eletricidade por hora (kW)	Geração de eletricidade diária (kW)	Dias	Total da Receita Mensal
R\$ 0,75	776	18.624	29	R\$ 405.072,00

Fonte: Autor (2018).

Esse resultado representará uma economia anual de R\$ 4.860.864,00 para o município, recurso que poderá ser investido pela prefeitura na ampliação desse sistema ou em programas de educação ambiental e coleta seletiva.

6 CONCLUSÕES

Conforme o propósito deste estudo, a análise comparativa envolvendo os custos de instalação, operação e manutenção de biodigestores modulares e os custos dispendidos pelo atual sistema de gerenciamento dos RSDCU adotado pelo município aponta para a viabilidade da tecnologia de disposição proposta.

Tal afirmação respalda-se não apenas pelos notórios resultados, ainda que estimados, relacionados às receitas geradas e à economia propiciada, mas também, pelos benefícios que serão alcançados com a ampliação e a qualidade dos serviços, que resultará em maior eficiência no atendimento às demandas da população e na garantia da qualidade ambiental.

Há que se considerar que, a determinação dos custos de implantação, operação e manutenção de uma planta de biodigestores modulares, assim como, de qualquer tecnologia ambiental, é extremamente complexa e imprecisa.

No que tange a implantação, diversos gastos relacionados à execução de obras civis, aquisição ou locação de máquinas, equipamentos e utensílios, projetos executivos e taxas de licenciamento, entre outras despesas pré-operacionais precisam ser considerados e não podem ser generalizados.

Na determinação dos custos de operação e manutenção, devem ser considerados ainda, os gastos com energia elétrica, água, telefonia e outros insumos utilizados no processo, além de mão de obra e encargos sociais, transporte, seguros, taxas e demais despesas fixas e operacionais.

Os custos com o transporte dos resíduos que serão processados e dos resíduos de processo também devem ser considerados, pois variam de acordo com a distância entre as fontes geradoras e a unidade processadora. Nesse caso, a localização torna-se um fator determinante em relação ao custo e o tempo dispendido com as operações de transporte.

Assim, esses fatores indicam que os valores dispendidos com tal investimento, gerarão no curto prazo um pequeno aumento de custo em decorrência da implantação, operação e manutenção da planta. Contudo, estima-se que esses valores serão rapidamente absorvidos pelas receitas geradas com a energia elétrica produzida, seja pela utilização ou pela comercialização junto à concessionária local. Não obstante, os ganhos de eficiência e o estímulo às melhores práticas de gestão como, reciclagem, coleta seletiva, redução na geração, aproveitamento energético,

entre outros, configuram-se como ganhos que poderão levar a reduções contínuas na despesa pública.

O que se espera do poder público municipal é a observância dos princípios e diretrizes estabelecidos na Lei Complementar nº 223/2012, (Política Municipal de Resíduos Sólidos e de Limpeza Urbana), que preconizam que o sistema de limpeza urbana deve ser institucionalizado segundo um modelo de gestão que, na medida do possível e da realidade local, seja capaz de promover prioritariamente a sustentabilidade econômica das operações, preservar o meio ambiente e a qualidade de vida da população e, ainda, contribuir para a solução dos aspectos sociais envolvidos nessa questão. Isso implica que, em todos os segmentos operacionais do sistema de limpeza urbana deverão ser escolhidas as melhores alternativas que atendam simultaneamente a duas condições fundamentais: que sejam as mais econômicas e que sejam tecnicamente corretas para o ambiente e para a saúde da população. O princípio fundamental, segundo Themelis (2010), é que os resíduos são recursos que devem ser geridos com base na ciência e na melhor tecnologia disponível e não com base em ideologias e economias que excluem os custos ambientais.

A presente proposta apresentada para Ribeirão Preto pode contribuir com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos por meio da alternativa tecnológica indicada e gerar estímulos que possibilitem avançar para as melhores práticas de gestão. As possibilidades e tecnologias disponíveis são muito amplas e todas podem gerar receitas que, revertidas para o setor público, atenderão necessidades sociais, econômicas e ambientais.

BIBLIOGRAFIA

ABETRE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS; FGV – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários. Rio de Janeiro; FGV, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos: Rio de Janeiro, 2004. 21 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419/1992: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-8.419-NB-843-Apresentac%C3%A3o-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-RSU.pdf> Acesso em 08 abr. 2017.

ABRELPE - Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010. Disponível em: <http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf> Acesso em 09 jun. 2017

ANEEL/BIG – Banco de Informações de Geração. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 17 mar. 2017.

ARSOVA, L. Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product. Columbia University, 2010. Disponível em: http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/arsova_thesis.pdf Acesso em 03 jun. 2017.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDS, 2013. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. FADE, 2013. Disponível em: <http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/UFPEFADETecnologiasparaRSU2013.pdf> Acesso em 14 jul. 2017.

BARBOSA, L.T. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos no norte de Minas Gerais: Estudo relativo à implantação de unidades de reciclagem e compostagem a partir de 1997. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2004.

BIDONE, F. R. A. Tratamento e disposição final de resíduos sólidos domésticos. Apostila, Porto Alegre: Universidade Federal do rio Grande do Sul, 2001.

BIDONE, F.R.A & POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Paulo EESC-USP. 1999. 120 p.

BRASIL, 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/91972/constituicao-da-republica-federativa-do-brasil-1988> Acesso em: 31 mar. 2017

BRASIL, 2010. Presidência da República. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6o, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm> Acesso em: 30 set. 2017

BRASIL, 2010. Presidência da República. Decreto nº 7404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 30 set. 2017

BRASIL. Lei nº 12305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 30 set. 2017.

CASTANHO, D., S.; ARRUDA, H., J. Biodigestores. VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2008.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges (Coord.). Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 1997. Uso das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo. CETESB, São Paulo. 48 p.

CETESB (2001): Relatórios de Qualidade Ambiental 2000. Secretaria do Meio Ambiente, SP, (CD-ROM).

CHRISTY, P. M.; GOPINATH, L. R.; DIVYA, D. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 34, p. 167-173, 2014

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica 1974. Estudo de águas subterrâneas – Região Administrativa 6.- Ribeirão Preto. DAEE, São Paulo, 1974.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada. 2002. Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf Acesso em: 08 set. 2017

DIAS, S.M.F. Avaliação de programas de Educação Ambiental voltados para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. São Paulo, 2003. Tese de Doutorado Faculdade de Saúde Pública da USP.

ENVIRONMENT CANADÁ. (2001). CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT, 1999 – Priority Substance List Assessment Report – Ammonia in the Aquatic Environment.

FADE - Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. Grupo de Resíduos Sólidos - UFPE (2013). Disponível em: < <http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/UFPEFADETecnologiasparaRSU2013.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2017.

FERREIRA, J. C. B., SILVA, J. N., Biodigestor: aplicações e potencialidades. Um estudo de caso do IFMG campus Bambuí. In: Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG campus Bambuí, 2. Jornada Científica, 2. Bambuí, 2009.

FERREIRA, V. (2010). Contribuição para o estudo da modelação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos. Estudo da influência da geometria do reator na cinética do processo. Lisboa: Edições Colibri/Instituto Politécnico de Lisboa.

FORSTER-CARNEIRO, T., PÉREZ, M., LI R. Digestão anaeróbia termofílica de fração orgânica classificada como fonte de resíduo sólido municipal. Bioresource Technology. Elsevier, 2008.

GOMES, L. P. Estudo da caracterização Física e da Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro, 2010. 360 p.

HARTMANN, H., AHRING, B.K. (2006). Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: an overview. Water Science and Technology, 53(8), 7-22.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC (2002). Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/instituto/premio.php?ano=2002>> Acesso em: 07 de mai. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro ...[et al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil 2004. Brasília, DF, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo (1:500.000).- São Paulo. PT, 2 V.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS IPT 2000. Lixo Municipal: manual de Gerenciamento Integrado / Coordenação: Maria Luiza Otero D’Almeida, André Vilhena - 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. - (Publicação IPT 2622).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA Bioenergy - Biogas upgrading technologies - developments and innovations. PETERSSON. A. WELLINGER. A. (2009). Task 37 - Energy from biogas and landfill gas. Disponível em: https://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf> Acesso em: 15 de jul. 2017

LEITE, V. D. Processo de tratamento anaeróbio de resíduos sólidos urbanos inoculados com lodo de esgoto industrial. São Carlos: EESC/USP, 1997, 190p. Tese Doutorado.

MARINI, J. P. (2014). Gravimetria Estimada do Município de Ribeirão Preto-SP. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/gravimetria-estimada-dos-residuos-solidos-da-cidade-de-ribeirao-preto-sp/> Acesso em: 01 out. 2017

METCALF & EDDY (2003). Waste water engineering: treatment, disposal and reuse. 4. ed. rev. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MONTEIRO, J. H. P. et al. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 204 p

OLIVER, A. P. M. Manual de Treinamento em Biodigestão. Instituto de Estudos Del Hambre. 2008. Disponível em: <http://www.ieham.org/html/docs/Manual_Biodigestao.pdf> Acesso em: 27 ago. 2017.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina, Instituto Agrônômico do Paraná, 1992. 38p.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BUDIÑO, F. E. L. Biodigestores- Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária. 2009 Disponível em: <<http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1255981651.pdf>> Acesso em 19 ago. 2017.

PEREIRA NETO, J. T.; Gerenciamento do lixo urbano: aspectos técnicos e operacionais. Viçosa: UFV, 2007. 129 p

PMRP - Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto. Disponível em: <http://www.ribeiraopreto.sp.gov.br/limpezarp/i25principal.php> Acesso em: 25 fev. 2017.

POVINELLI, J.; LEITE, V. D. Comportamento dos Sólidos Totais no Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.229-232, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. Disponível em: < <http://www.agriambi.com.br/revista/v3n2/229.pdf>> Acesso em: 14 out. 2017.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment. Lancaster: Technomic Publ., 1994, 339 p.

REIS, A. S. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2012. 79f.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Instituto Florestal. Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo. Atlas. 2005.

SÃO PAULO. Áreas Naturais sob Proteção no Estado de São Paulo. São Paulo. SMA. Série Cartográfica. 1998. Secretaria do Meio Ambiente. Atlas das Unidades de Conservação do Estado de São Paulo. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 30p.

SEADE - Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo (2011). Disponível em <<http://www.seade.gov.br/>> Acesso em 04 de Nov. de 2017.

SINELLI, O. 1971b. Considerações gerais sobre a tectônica no município de Ribeirão Preto. Anais XXV Cong. Bras. Geol., São Paulo, Vol. 2: 145 - 151.

SINELLI, O., DAVINO, A., SOUZA, A., GONÇALVES, N.M.M. & TEIXEIRA, J. 1980. Hidrogeologia da Região de Ribeirão Preto (S.P.). Anais 1o Cong. Bras. Águas Subterrâneas. ABAS, Recife: 319 - 335.

TCHOBANOGLIOUS, G. T.; THEISEN, H.; Vigil, S. A. Solid waste: Engineering principle and management issues. New York: McGraw-Hill Book Company, 1993. 621p.

THEMELIS, N. J (2010) -The Waste-to-energy research and technology council in The 2010 ERC Directory of Waste-to-energy Plants, Energy Recovery Council.

PROPOSTA COMERCIAL

Contratante:		Nº
Cidade:		Data: 22/10/2018
Tipo Obra:	Ribeirão Preto	Rev: 00
Local Obra:	Implantação de biodigestor para resíduos	

Contato(s):	Afonso
Telefone:	

Prezado Sr(es):

Em primeiro lugar é uma honra poder atendê-los e desde já agradecemos pela oportunidade de apresentar nossa proposta comercial e estamos a disposição para esclarecimento de eventuais dúvidas. Vale ressaltar que com a instalação do biodigestor, a indústria/propriedade possuirá um efluente com cargas orgânicas, DBO e DQO reduzidas logo na saída do biodigestor, podendo utiliza-lo como um ótimo biofertilizante, rico em N (Nitrogênio), P (Fósforo), K (Potássio); aumentando significativamente a produção em pastos e/ou lavouras.

Com a produção de biogás provenientes do biodigestor a indústria possuirá também um biocombustível renovável que poderá utilizá-lo para geração de energia elétrica em grupos geradores a biogás, ou para geração de energia térmica, realizando a inserção do biogás em caldeira afim de substituir a biomassa consumida; além de outros benefícios como por exemplo a eliminação de odores provenientes da decomposição de matéria orgânica.

1- Proposta

Implantação de biodigestor destinado a recepção dos resíduos sólidos orgânicos da cidade de Ribeirão Preto

2- Materiais para construção do biodigestor.

Inclusos.

3- Validade Proposta:

07 dias

4- Observações a considerar:

A equipe iniciará mobilização/desmobilização somente após a assinatura e retorno desta proposta comercial.

5- Responsabilidades e obrigações da contratante:

5.1 - Fornecer condições favoráveis para realização do trabalho no local desimpedida de quaisquer obstáculos para que seja realizada a obra;

5.2 - Fornecer energia 220V ou gerador de 10 KVA;

5.3 - Fornecer materiais conforme necessidade da obra, descritos no Formulário "Materias para Execução da Obra";

5.4 - Realizar esgotamento/drenagem de águas ocasionados por chuvas ou outras situações;

5.5- Fornecer locais de sanitários e vestiários limpos usáveis e acessíveis para equipe que estiver realizando a obra;
5.6 - Realizar a terraplanagem das lagoas integrantes do sistema
5.7 - Caso ocorra não cumprimento das obrigações da contratante conforme descrições nos itens Tópico 5, ocasionando uma produção inferior a 1300m ² /dia, será cobrada uma diária técnica de R\$ 1.380,00.

6- Responsabilidades e obrigações da contratada:

6.1 - Enviar equipe técnica capacitada a realizar todas as instalações pertinentes a implantação do biodigestor;
6.2 - Enviar engenheiro ou técnico para acompanhamento das escavações, ao menos duas vezes durante as obras de terraplanagem;
6.3 - Disponer da máquina específica e necessária para realização das termofusões nas geomembranas;
6.4 - Emitir laudo de vistoria e entrega obra;
6.5 - Entrega do Check List responsabilidades do Contratante para o correto e bom desempenho do biodigestor;
6.6 - Treinamento dos funcionários de confiança da CONTRATANTE que ficarão responsáveis pelo acompanhamento do biodigestor.
6.7 - Emissão de Nota Fiscal de prestação dos serviços;

7 - Escopo de fornecimento SERVIÇOS

7.1 - Projeto e dimensionamento do biodigestor
7.2 - Acompanhamento técnico sobre o biodigestor durante 3 meses (exceto despesas com viagem).
7.3 - Assessoria para inoculação do biodigestor
7.4 - Start up do biodigestor
7.5 - Termofusão e ancoragem das geomembranas de impermeabilização e cobertura do biodigestor
7.6 - Instalação das entradas e saídas de efluentes nas lagoas
7.7 - Instalação de 100 m de gasoduto em pvc.
7.8 - Instalação de válvula borboleta on/off no fim do gasoduto.
7.9 - Deslocamento, hospedagem e alimentação da equipe que estará realizando a obra.

8 - Valores:

8.1 - Projeto e execução	R\$ 270.454,14	Valor referente a implantação do biodigestor, estando incluso os itens descritos no item 7.
8.2 - Materiais	R\$ 203.330,80	Valor dos materiais necessários para a implantação do biodigestor. <i>A RASTRO não realiza a compra de materiais, porém trabalhamos com fornecedores parceiros de cada um dos produtos necessários; assim sendo assessoramos o cliente na compra dos materiais afim de se obter qualidade e preço competitivo.</i>
8.3 - Materiais considerados na somatória		
8.3a - Geomembranas PEAD 1,00 mm destinada a impermeabilização das lagoas e geomembrana PEBDL 1,25 mm , destinada a cobertura do biodigestor.		
8.3b - Fornecimento de válvula borboleta 8" on/off.		

8.3c - Tubos e conexões de pvc 200 mm para instalação das entradas e saídas de efluente e gasoduto.		
8.4 - Sistema de recirculação e agitação do lodo biológico.	R\$ 146.659,22	2 Sistemas de agitação do biodigestor; este sistema atua no fundo do biodigestor, promovendo a recirculação do lodo "emplastado", criando assim um ambiente com melhores condições ao trabalho bacteriológico.
8.5 - Sistema de homogeneização total. MIXER	R\$ 244.000,00	4 mixer modelo giantmix B2, agitação e homogeneização do efluente; este sistema atua na mistura total do efluente inserido no biodigestor, proporcionando excelente homogeneidade e condições ideais ao trabalho bacteriológico. A otimização bacteriológica se dá principalmente pelos seguintes fatores:
<ul style="list-style-type: none"> ● Eliminação das camadas flutuantes e sedimentadas ● Distribuição uniforme da temperatura do substrato ● Distribuição uniforme das substâncias nutritivas biológicas ● Facilita a saída do biogás do substrato. 		
8.6 - Sistema de alívio de pressão do biodigestor (Flare)	R\$ 70.000,00	2 Flares. Equipamento necessário para a segurança do biodigestor, caso o mesmo atinja pressão de risco, o flare é acionado realizando a combustão do biogás excedente. Características do flare:
<ul style="list-style-type: none"> ● Acendimento automático com programador de partida ● Automação do equipamento através de CLP com IHM ● Monitoramento e transmissão da pressão do biodigestor através de sensor de pressão digital ● Eletrodo de faísca inteligente para start da combustão ● Sistema de corte do biogás através de válvula com atuador eletropneumático e lâmpada fotocélula detectora de chama ● Mini compressor de ar para alimentação exclusiva da válvula eletropneumática ● Ventilador centrífugo para sucção do biogás do biodigestor e recalque ao flare. ● Capacidade de combustão: 5.000 m³/dia 		
8.7 - Masserador de sólidos	R\$ 35.000,00	Macerador de sólidos com dosadora; equipamento necessário caso haja sólidos não triturados, este equipamento atua na trituração/masseragem do resíduo proporcionando a granulometria ideal para o biodigestor
	R\$ 969.444,16	Valor total da obra.
Sistema para geração de energia		
8.14.1- Grupo gerador, filtros, sistema de biodessulfurização e demais acessórios	R\$ 2.114.844,50	3 Grupos gerador 500 kva, com capacidade total de geração de 290 kWh, juntamente com sistemas de biodessulfurização, lavagem, desumidificação e resfriamento do biogás.

8.14.2 - Projetos e instalações elétricas	R\$ 519.754,50	Instalação dos grupos geradores, projeto de geração distribuída e resolução de burocracias e legalização da geração perante os órgãos competentes
Total geração de energia	R\$ 2.634.599,00	valor total para implantação do sistema de geração de energia, com projeto de geração distribuída e instalações elétricas.

9 - Condições para pagamento:		
9.1 - Projeto e execução	A negociar	
9.2 - Materiais	A negociar diretamente com cada fornecedor	
9.3 - Recirculação	A negociar	
9.4 - Mixer	A negociar	
9.5 - Flare	A negociar	

10 - Impostos/NF	Inclusos	
-------------------------	----------	--

11- Prazo Obra:	40 dias	Caso ocorra chuvas acrescentar 2 dias para cada dia chuva.
------------------------	---------	--

12- Observação(s):		
12.1 - Os materiais utilizados para execução da obra são de responsabilidade da Contratante ;		
12.2- Nosso conceito para biodigestão contempla a instalação de 3 lagoas, sendo: Lagoa acidogênica, Lagoa anaeróbia e lagoa facultativa. Este sistema é adotado pela Rastro por apresentar maior eficiência no resultado final.		
12.3 - Esta proposta não contempla obras de terraplanagem para confecção das lagoas.		
12.4 - O sistema de recirculação do efluente descrito no item 8.4 é realizado através de uma instalação realizada no fundo da lagoa anaeróbia utilizando tubulações de PP e bombas para realizar a recirculação.		
12.5 - Não incluso inóculo para o biodigestor, caso seja necessário.		
12.6 -O sistema contará com 4 lagoas, sendo: lagoa acidogênica, 2 lagoas Anaeróbia e lagoa de polimento, com volumes úteis de 562 m ³ , 12.605 m ³ e 6.084 m ³ respectivamente.		
12.7 -O TRH (tempo de retenção hidráulica) do biodigestor será de 45 dias.		
12.8 - A estimativa de geração de biogás, é de: 8.643 Nm ³ /dia, considerando DQO de 38.000 mg/l e eficiência de remoção de 80%.		
12.9 - A proposta contempla 100 m de gasoduto.		