



FLÁVIA ARAUJO FRANÇA

**PROJETO DE UM BIODIGESTOR DO TIPO SERTANEJO
PARA TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS
GERADOS EM UMA MINERADORA SITUADA NO
NOROESTE DE MINAS GERAIS**

Lavras – MG

2019

FLÁVIA ARAUJO FRANÇA

**PROJETO DE UM BIODIGESTOR DO TIPO SERTANEJO PARA TRATAMENTO
DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS EM UMA MINERADORA SITUADA NO
NOROESTE DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

Professor DSc Ronaldo Fia
Orientador

LAVRAS – MG

2019

FLÁVIA ARAUJO FRANÇA

**PROJETO DE UM BIODIGESTOR DO TIPO SERTANEJO PARA TRATAMENTO
DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS EM UMA MINERADORA SITUADA NO
NOROESTE DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 24 de maio de 2019.

Prof. DSc. Ronaldo Fia

UFLA

Prof. DSc. André Geraldo Cornélio Ribeiro

UFLA

MSc. Gabriela Rezende de Souza

UFLA

Prof. DSc. Ronaldo Fia
Orientador

LAVRAS – MG

2019

*A todos aqueles que me incentivaram e contribuíram para a realização desta etapa,
familiares, amigos, professores e colegas de trabalho.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Liliane, que nunca mediu esforços para que eu chegasse onde cheguei, me fornecendo condições dignas na busca da realização de cada sonho da minha vida e me permitindo chegar até aqui.

Ao meu pai Nilson, que sempre esteve ao meu lado, apoiando e aconselhando em todas as decisões da minha vida, dando todas as formas de incentivo.

Ao meu irmão Matheus, que se mostrou companheiro e me deu muito apoio nesta etapa final.

À minha avó e madrinha Ruth (*in memoriam*), por todo amor e orações, sempre me incentivando e demonstrando admiração pelos meus estudos.

Aos meus amigos da faculdade, em especial Bárbara, Carolina, Gabrielly, Laura, Yasmim, Letícia, Gabriel e Ana Carolina, por serem minha segunda família e fonte de todo companheirismo.

À todos os professores da vida escolar e acadêmica, e que ajudaram no desenvolvimento profissional e formação do meu caráter. Em especial, ao Professor Ronaldo Fia, que me orientou durante toda minha jornada na UFLA e contribuiu para a realização deste sonho; ao professor André Ribeiro e a Gabriela Rezende, por fazerem parte da construção desse trabalho.

Aos colegas do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária (turma 2013/1), por toda ajuda nos estudos e companheirismo de turma desde o início do curso.

À Preserva Jr., por me despertar o interesse pelo empreendedorismo, e por todo compartilhamento de ideias e aprendizados.

À NEXA Resources e toda equipe de SSMA pela oportunidade do estágio, me proporcionado um crescimento profissional e pessoal inexplicável, em especial ao Benonimo, meu supervisor, que se tornou uma referência profissional, e a Silvana, por toda contribuição com meu aprendizado.

À Universidade Federal de Lavras, por ter proporcionado a base do meu conhecimento e por possibilitar os meus estudos com excelência e qualidade através de uma estrutura ampla e bem organizada, além de todas as oportunidades e experiências acadêmicas vividas.

RESUMO

Com o intuito de solucionar os principais problemas envolvidos no tratamento e gestão dos resíduos sólidos orgânicos de uma empresa de mineração, foi elaborado um projeto de biodigestor modelo Sertanejo a ser instalado na área de compostagem do empreendimento, uma unidade de mineração situada no Noroeste de Minas Gerais, que gera diariamente uma média de 275 kg de resíduos orgânicos. O atual sistema de compostagem apresenta falhas operacionais e demanda reparos em sua infraestrutura, tornando o ambiente inapropriado para o tratamento dos resíduos, além de comprometer a saúde ocupacional dos funcionários envolvidos na operação. O processo de biodigestão ocorre sob condições anaeróbias e geram subprodutos que podem ser bem aproveitados, o biogás e o biofertilizante. Dentre os modelos de alimentação contínua, foi dimensionado o modelo rural, que apresenta baixo custo de instalação e simplicidade operacional e maior autonomia em relação a compostagem, que demanda mão de obra na realização de todas as suas etapas. A caixa de alimentação e o tanque de digestão possuem formatos redondos, com diâmetro de 80 cm, altura de 40 cm e volume de 0,2 m³, e diâmetro de 2 m, altura de 2m e volume de 6 m³, respectivamente. A caixa de saída possui formato retangular, com dimensões 1,0 m x 0,6 m x 0,5 m, acoplado a um sistema de drenagem de 0,4 m x 0,4 x 0,5 m, ambos enterrados no nível do solo. O gasômetro é composto por caixa de fibra de vidro de 2000 L, cujas dimensões são adequadas para armazenar o biogás, gerado a uma taxa aproximada de 3,6 m³.h⁻¹, e selado na base para prevenção do escape de biogás pelas extremidades. A padronização dos parâmetros de manejo e operação serão obtidos por meio de fases experimentais, consistindo em 8 etapas. Inicialmente, o biodigestor será alimentado com 100 kg de resíduos, por 60 dias, aumentando a carga gradativamente de 25 kg em 25 kg a cada 30 dias, até atingir a alimentação de 275 kg, correspondente à taxa de geração média diária do empreendimento. A quantidade sobressalente de resíduos será encaminhada à compostagem. O biofertilizante será doado para as comunidades vizinhas, como acontece atualmente, e o biogás será utilizado para provisão de iluminação local por meio de gerador elétrico de 5 kVa. Estima-se que posteriormente o biodigestor atenderá toda a demanda para tratamento dos resíduos orgânicos do refeitório da empresa, suspendendo-se a compostagem, e o biogás gerado será capaz de suprir a demanda energética para acionamento das bombas da estação de tratamento de efluentes. A solução proposta configura uma inovação para o setor da mineração e será capaz de melhorar a sanitização do local, prevenir a contaminação do meio ambiente contribuir com projetos de educação ambiental, além dos ganhos de produtividade dos funcionários envolvidos na operação.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Degradação anaeróbia; Biogás; Biofertilizante; gestão de resíduos sólidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Classificação dos resíduos sólidos	10
2.2	Legislação aplicada aos resíduos sólidos	10
2.3	A problemática dos resíduos sólidos orgânicos	12
2.4	Sistemas de tratamento de resíduos orgânicos	13
2.5	Compostagem	14
2.6	Biodigestores	15
2.7	Subprodutos da Biodigestão: Biogás e Biofertilizantes	18
2.7.1	Biogás	18
2.7.2	Biofertilizante	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	Caracterização do município	22
3.2	A gestão de resíduos sólidos no município	23
3.3	Caracterização do empreendimento	23
3.4	Geração de resíduos orgânicos e sistema de tratamento atual	25
3.4.1	Problemas atuais da compostagem	28
3.4.2	Implementação do projeto	30
3.4.3	Escolha do local	31
3.4.4	Dimensionamento	32
3.4.5	Processo construtivo	33
3.5	Materiais necessários	38
4	RESULTADOS	41
4.1	Dimensionamento do Biodigestor	41
4.2	Análise do projeto	43
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
6	ANEXOS	56
6.1	Anexo 1. Imagem em 3D do projeto do biodigestor Sertanejo concluído	56
	Anexo 2. Vista superior e planta baixa do projeto do biodigestor Sertanejo	57

1 INTRODUÇÃO

A economia global está estruturada em uma lógica consumista onde a produção crescente equivale ao sucesso econômico. Entretanto, este cenário também equivale ao descarte contínuo de produtos e configura um processo exaustivo de consumo dos recursos naturais e degradação ambiental. Como parte integrante deste contexto está o fortalecimento do setor agropecuário e o conseqüente aumento da produtividade em áreas agricultáveis para suprir a demanda de alimentos mundial, mas que acaba se tornando uma fonte de desperdício em grande escala.

Sabe-se que no Brasil cerca de um terço dos alimentos é desperdiçado na própria cadeia produtiva, e o Ministério do Meio Ambiente (MMA) aponta que cerca de 50% dos resíduos urbanos pós consumo gerados no Brasil correspondem a resíduos orgânicos, abrangendo todas as escalas de fontes geradoras, de origem doméstica, agrícola, industrial, de saneamento básico, entre outras, levando a um excessivo acúmulo dos resíduos. De acordo com dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, isto corresponde a uma geração de 800 milhões de toneladas por ano e menos de 5% deste valor recebem tratamento adequado (BRASIL, 2012).

Quando em ambientes naturais equilibrados, os resíduos sólidos orgânicos sofrem degradação natural e promovem processos de ciclagem dos nutrientes do solo. Contudo, o grande volume gerado associado às condições inadequadas de armazenamento e disposição final debilitam este fluxo natural e passam a se tornar, além de ambiental, um problema de saúde pública. As conseqüências diretas da disposição inadequada são a proliferação de vetores de doenças, aumento da emissão de gases intensificadores do efeito estufa e percolação de chorume no solo. Dessa forma criam-se problemas econômicos, sociais e ambientais, esferas que compõem a base da sustentabilidade.

A sustentabilidade consiste em um conjunto de ações e estratégias quem mantem estes três pilares em harmonia, a fim de garantir a integridade de uma gestão ecologicamente correta, economicamente viável e culturalmente diversa. De acordo com definições deliberadas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos orgânicos não devem receber destinação como rejeitos para aterros sanitários e sua gestão demanda práticas sustentáveis. Parte do seu planejamento estratégico consiste em realizar o tratamento destes resíduos, geralmente adotando-se a compostagem como

alternativa efetiva para a aceleração do processo de decomposição e recuperação do substrato orgânico.

A implementação de soluções como a realização da compostagem, da coleta seletiva e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos fazem parte do rol de obrigações das fontes geradoras (BRASIL, 2010). Entretanto, apesar de adequada, a compostagem muitas vezes pode representar uma solução obsoleta, pois sua metodologia depende de mão de obra para realização de todas as suas etapas, o que pode comprometer seu desempenho e eficiência.

Na busca por soluções efetivas e sustentáveis surgem os biodigestores, que consistem em um sistema de tratamento com simplicidade operacional, tratando os resíduos sob confinamento a uma taxa de degradação mais rápida que a compostagem, além de possibilitar o aproveitamento dos subprodutos gerados sob maior agregação de valor. Além disso, muitos empreendimentos têm pautados seus valores e missão em um viés de preocupação com os recursos naturais, promovendo a busca por soluções consideradas sustentáveis.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi propor um projeto de biodigestor do tipo Sertanejo como alternativa de melhoria do atual sistema de compostagem como tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da unidade de mineração localizada no Noroeste de Minas Gerais, sob a ótica da sustentabilidade. A realização do projeto foi motivada sob a possibilidade de tornar essa tecnologia disponível em dimensões adequadas para outros geradores de resíduos orgânicos em grande escala, propagando soluções mais efetivas para o meio ambiente

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Classificação dos resíduos sólidos

A NBR 10.004 é a norma brasileira que classifica os resíduos sólidos conforme sua periculosidade, cujas características possam apresentar potenciais riscos para o meio ambiente e para a saúde pública (ABNT, 2004). Tem a finalidade de proporcionar um gerenciamento efetivo para os resíduos, de forma que sejam manuseados de maneira adequada e tenham destinação final ambientalmente adequada. A classificação do resíduo envolve o processo da atividade que lhe deu origem, assim como sua composição, ocorrendo a comparação dos constituintes com listagens de substâncias com impactos à saúde e ao meio ambiente conhecidos. A segregação e identificação na fonte são partes fundamentais dos laudos de classificação.

Ainda, segundo a NBR 10.004, os resíduos podem ser classificados em: Classe I – Perigosos, abrangendo os resíduos inflamáveis, tóxicos, corrosivos ou patogênicos, que apresentam grandes riscos de contaminação, e Classe II – Não-Perigosos. Esta segunda classe é subdividida em Classe IIA – Não inertes, que enquadra os resíduos com propriedades de combustibilidade, solubilidade em água ou biodegradabilidade, da qual faz parte o resíduo orgânico; e Classe IIB – Inertes, que enquadra resíduos como vidro, metais e pneus, pois não sofrem reação com a água.

2.2 Legislação aplicada aos resíduos sólidos

As principais referências legais atualmente em vigor no Estado de Minas Gerais e no Brasil, aplicáveis à gestão dos resíduos sólidos orgânicos, foram compiladas e apresentadas a seguir, dados os detalhes e sua análise conforme a relevância para investigação do projeto proposto.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela Lei Federal 12.305 e regulamentada pelo Decreto 7.404, que dispõe de princípios e instrumentos para a gestão integrada dos resíduos sólidos, incluindo a responsabilização dos geradores, pessoas físicas ou jurídicas, direito público ou privado (BRASIL, 2010a; 2010b). Dentre as exigências, a lei determina a redução na geração de resíduos e propõe a prática de hábitos de consumo sustentável, além de promover a ampliação das taxas de

reciclagem e reaproveitamento ou a destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos.

Em seu Art. 36, a PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, durante todo seu ciclo de vida, envolvidos desde a obtenção da matéria prima até a distribuição do produto e seu consumo. Especificamente nos incisos II e V, prevê a necessidade da implantação do procedimento de coleta seletiva e de sistema de tratamento dos resíduos orgânicos, por meio da compostagem, além da articulação com os agentes sociais e econômicos pertinentes para designar as formas de utilização do composto formado.

A partir da promulgação da PNRS, foi elaborado um documento, em um amplo processo de mobilização e participação social, que contempla um diagnóstico atual dos resíduos sólidos no Brasil, com previsão do cenário até 2031. Trata-se do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, cujo objetivo é apresentar as diretrizes e estratégias para a implantação de uma gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos no país.

Antes do estabelecimento da PNRS, o Estado de Minas Gerais promulgou a Lei 18.031 em 2009, regulamentada pelo Decreto 45.181 (MINAS GERAIS, 2009a; 2009b), na qual foi estabelecida a Política Estadual de Resíduos Sólidos que, apesar de anterior à PNRS, está em consonância com a mesma, e trouxe como avanços para o Estado o estímulo à gestão pautada nos princípios de não-geração, redução, reutilização, reaproveitamento, reciclagem, geração de energia, tratamento, disposição final adequada e da valorização dos RSU. Além disso, fica proibido o lançamento de resíduos sólidos a céu aberto, sem tratamento prévio, em áreas urbanas e rurais.

Ainda em Minas Gerais, o Conselho de Política Ambiental do Estado, estabeleceu por meio da Deliberação Normativa COPAM nº 172, o Plano Estadual de Coleta Seletiva (PECS) (MINAS GERAIS, 2011), uma estratégia a ser implantada para dar suporte à separação e tratamento adequado dos diferentes tipos de resíduos sólidos – entre os quais destaca-se a matéria orgânica – com o objetivo de ampliar os programas de coleta seletiva dos municípios e descrever as metodologias necessárias para sua eficácia. A coleta seletiva consiste no recolhimento de resíduos previamente segregados conforme sua composição, ocorrendo nas fontes geradoras para formas de reuso, reciclagem, compostagem, tratamento ou destinação final ambientalmente adequada.

2.3 A problemática dos resíduos sólidos orgânicos

De acordo com a Instrução Normativa nº 7, os produtos orgânicos são obtidos sem o emprego de produtos químicos ou hormônios sintéticos que interferem na sua composição e promovem seu desenvolvimento de forma não natural (MAPA, 1999). No contexto de resíduos sólidos, o MMA define que são os produtos remanescentes de atividade humana, de origem doméstica, agrícola ou industrial, compostos basicamente por restos de animais ou vegetais (BRASIL, 2019), destacando-se principalmente as sobras de alimentos e podas.

Em condições de equilíbrio ecológico, estes resíduos sofrem decomposição em velocidades adequadas e são capazes de promover a ciclagem dos nutrientes no solo, realizando sua fertilização. Um dos subprodutos da decomposição de matéria orgânica ocorre na fase líquida, o percolado ou lixiviado. Quando disposto em aterro junto com outros tipos de resíduos, o percolado é capaz de absorver metais pesados e outros componentes químicos, conhecido como chorume, um líquido altamente tóxico e poluidor de todo o trecho da percolação, intensificando o processo de contaminação do solo e do lençol freático (CELERE et al., 2007).

Em estudo realizado em lisímetros para simulação da degradação de matéria orgânica sob confinamento nas células de aterros, Santos e Matos (2017) concluíram que a degradação dos resíduos contribui para a redução da capacidade de campo e da porosidade do solo, e à medida que ocorre a percolação da fase líquida, há redução do ritmo da degradação dos resíduos. Além da maior geração de chorume, ocorre a proliferação de animais e vetores de doenças, emissão de gás metano na atmosfera e maus odores. Estes fatores podem representar uma ameaça à saúde da população, além de constituir um negativo quadro socioeconômico ao submeter um grande número de indivíduos que sobrevivem da separação de resíduos em locais inapropriados, como lixões e vazadouros.

Dados do IBGE indicados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2010), apontam que a quase totalidade dos municípios brasileiros não apresenta infraestrutura básica para a realização de uma gestão eficiente dos resíduos, e apenas 3,8% possuem serviços de manejo com unidades de compostagem. Na mesma análise, verificou-se um aumento de 35% na quantidade de resíduos domiciliares gerados em um intervalo de 8 anos (de 2000 a 2008). A desproporção dos resíduos tratados apresenta deficiências ainda maiores em municípios de pequeno porte (até 100

mil habitantes). As estatísticas da crescente geração de resíduos na esfera pública refletem o contexto do setor industrial, como em empresas de mineração, que compartilham das mesmas causas raízes do problema, destacando-se o consumo desordenado e o notável desperdício.

Entretanto, ao contrário dos municípios, onde muitas vezes os serviços de coleta não alcançam a geração total (BRASIL, 2012), no setor industrial é possível exercer um controle mais apurado sobre os resíduos, uma vez que a geração está limitada aos espaços da indústria, com população conhecida, sistemas de pesagem e rastreabilidade da destinação. Esta regularidade do processo se deve principalmente à obrigatoriedade de envio anual dos dados da gestão aos órgãos governamentais, através de Inventário Nacional de Resíduos Sólidos.

Além das exigências legislativas, as certificações internacionais de qualidade, como a ISO 14.001, articulada ao Sistema de Gestão Ambiental (ABNT, 2015) são aplicáveis a empreendimentos que comprovam um desempenho ambiental correto. Assim, as empresas estão em busca constante por padrões de excelência em sua performance ambiental, onde a gestão de resíduos sólidos é um indicador chave. As organizações usualmente encaminham para os aterros municipais apenas os resíduos classificados como “Comum”, pois a destinação de resíduos orgânicos não consiste em solução ambientalmente mais adequada e contribuem para a redução do seu tempo de vida útil, e é comum o tratamento dos resíduos em áreas da própria fonte geradora.

Entretanto, nem sempre as empresas performam de maneira adequada. Apesar das regularidades estabelecidas, é frequente a ocorrência de equívocos à realização da coleta seletiva e aos cuidados necessários a um monitoramento adequado, o que pode comprometer a eficiência do tratamento dos resíduos orgânicos. Assim, é necessário rever a aplicabilidade da compostagem e diferenciar as exigências da sua implementação conforme o porte do gerador e o volume de resíduos a ser tratado.

2.4 Sistemas de tratamento de resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos podem ser tratados em qualquer escala, desde a doméstica até a industrial, sem grandes exigências tecnológicas. Os processos de tratamento podem ser biológicos, e ocorrem por mecanismos aeróbios e anaeróbios, em que as técnicas mais frequentes são a compostagem e a biodigestão. A degradação é realizada por uma série de reações bioquímicas exotérmicas provenientes da atividade

microbiana, que promovem a quebra do substrato orgânico complexo gerando subprodutos menos complexos. A eficiência dessas reações depende principalmente das condições de temperatura e pH em que acontecem o processo de decomposição (ANTONELLI et al., 2016), cujas reações correspondem à conversão de substratos, reações cinéticas, desnaturação de enzimas e proteínas e diluição ou concentração de contaminantes. Todas as reações envolvem a liberação de líquido e geração de gases (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Além da compostagem e da biodigestão, existem outros métodos principais para destinação de resíduos sólidos orgânicos, como o a vermicompostagem, o enterramento e a incineração, alternativas simples e aplicadas quando não a realização da compostagem não é viabilizada. Entretanto, as duas últimas não representam as alternativas ambientalmente mais adequadas (KHIEL, 1998).

2.5 Compostagem

De maneira geral, todo processo de degradação de substrato orgânico em condição aeróbia é considerado um método de compostagem. Contudo, a forma como essas condições são criadas e combinadas é que determinam a metodologia aplicada. Como subproduto das reações obtém-se um composto estável, de constituição húmica e rico em nutrientes minerais. A eficiência da compostagem depende das condições de operação, como teor de umidade, oxigênio e relação C/N (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008), de forma que quanto maior a relação, maior o tempo demandado para a estabilização da matéria orgânica, pela ausência de nitrogênio. Por outro lado, uma relação muito baixa pode promover a liberação de amônia no meio. A melhor absorção de nutrientes pelos microrganismos ocorre na relação 30:1 de C e N (KHIEL, 1998; 2001).

O método com maior aplicabilidade no Brasil é a compostagem termofílica (temperaturas maiores que 45°C) em leiras estáticas com aeração passiva (KHIEL, 2004). Quando operada a partir de critérios presentes em um modelo de gestão eficiente apresenta melhores resultados, pois a segregação de resíduos ocorre na fonte, gerando um composto de alta qualidade, além de promover uma redução significativa com custos de transporte dos resíduos até a unidade de tratamento (KHIEL, 2001).

Devida a baixa complexidade do processo de tratamento, a compostagem ressalta-se como uma importante ferramenta de projetos de educação ambiental,

associada com projetos de jardinagem e agricultura urbana, incentivando uma mudança de visão das pessoas em relação aos resíduos, além de promover o ciclo da matéria orgânica. No entanto, existe uma grande resistência em explorar este procedimento como política pública, e a maioria dos projetos limitam-se a existência de um pátio centralizado para coleta de resíduos mistos, a serem segregados e dispostos em leiras, desaproveitando grande parte da fração orgânica (BRASIL, 2017).

2.6 Biodigestores

O biodigestor é um tipo de reator composto por compartimentos fechados, para a realização da degradação anaeróbia, e constituído basicamente por caixa de entrada, tanque de digestão, campânula de armazenamento de gás e caixa de saída. Tem como subprodutos o Biogás (uma mistura gasosa com alto potencial energético) e o Biofertilizante (fase líquida rica em húmus e nutrientes), que podem incrementar valor ao produto gerado. É potencialmente aplicável ao tratamento de dejetos orgânicos em geral, como os resíduos de produção vegetal, animal, de atividades humanas e industriais, sendo largamente utilizado em pequenas propriedades rurais para tratamento de efluentes da criação de bovinos e suínos ou esgoto residencial (ORRICO et al., 2016).

O processo de degradação anaeróbia ocorre em condições de ausência de oxigênio, onde os aceptores de elétrons passam a ser íons inorgânicos, como o NO_3^- , SO_2 e o CO_2 . No entanto, para a produção de metano é necessário que o aceptor de elétrons disponível seja o gás carbônico, e a degradação ocorre em duas fases. A primeira é composta por bactérias anaeróbias facultativas que quebram as partículas orgânicas complexas em substâncias simples, que serão digeridas na segunda fase, por bactérias e arqueias estritamente anaeróbios, que então transformam essas substâncias em metano e dióxido de carbono (FERREIRA; SILVA, 2009; SALES FILHO, 2014).

No biodigestor acontece exclusivamente a segunda fase, que pode ser dividida em quatro etapas sequenciais: hidrólise, que corresponde à quebra de partículas complexas em partículas simples, de menor tamanho; acidogênese, onde ocorre a fermentação dos compostos solúveis liberados; acetogênese, na qual há oxidação dos produtos gerados na acidogênese, e por fim, a metanogênese, em que ocorre a produção de metano e gás carbônico. A eficiência do processo está relacionada com a manutenção

das condições ideais de pH e temperatura para a realização da atividade microbiana, principalmente durante a última etapa – primordial para a geração do gás metano – e na existência de uma alta relação C/N no substrato (ORRICO et al., 2007; ROJAS et al., 2011; CÁCERES et al., 2012).

Diversos fatores contribuem para performance do tratamento, dentre eles o controle adequado de pH, temperatura e umidade, volume de substratos, homogeneização, além da disponibilidade de nutrientes para a população de arqueias metanogênicas. No geral, a temperatura no interior da câmara de digestão deve permanecer próximo de 35°C, devido as exigências metabólicas das arqueias metanogênicas, com consequentemente otimização da produção de biogás. Biodigestores instalados abaixo do nível do solo comumente atendem essas exigências, uma vez que as perdas térmicas são minimizadas (ALMEIDA; MELO; VIDIGAL, 2002).

O uso de digestores tem se tornado cada vez mais comum no Brasil em diversos campos para o tratamento de dejetos de criação animal, principalmente de efluentes agroindustriais, e tem obtido consequências positivas tanto em aspectos ambientais quanto econômicos, como a redução da atração de vetores e ocorrência de patógenos e da presença de odores desagradáveis, redução das emissões atmosféricas, agilidade no processo de degradação e agregação de valor ao composto gerado (TARRENTO; MARTINES, 2006).

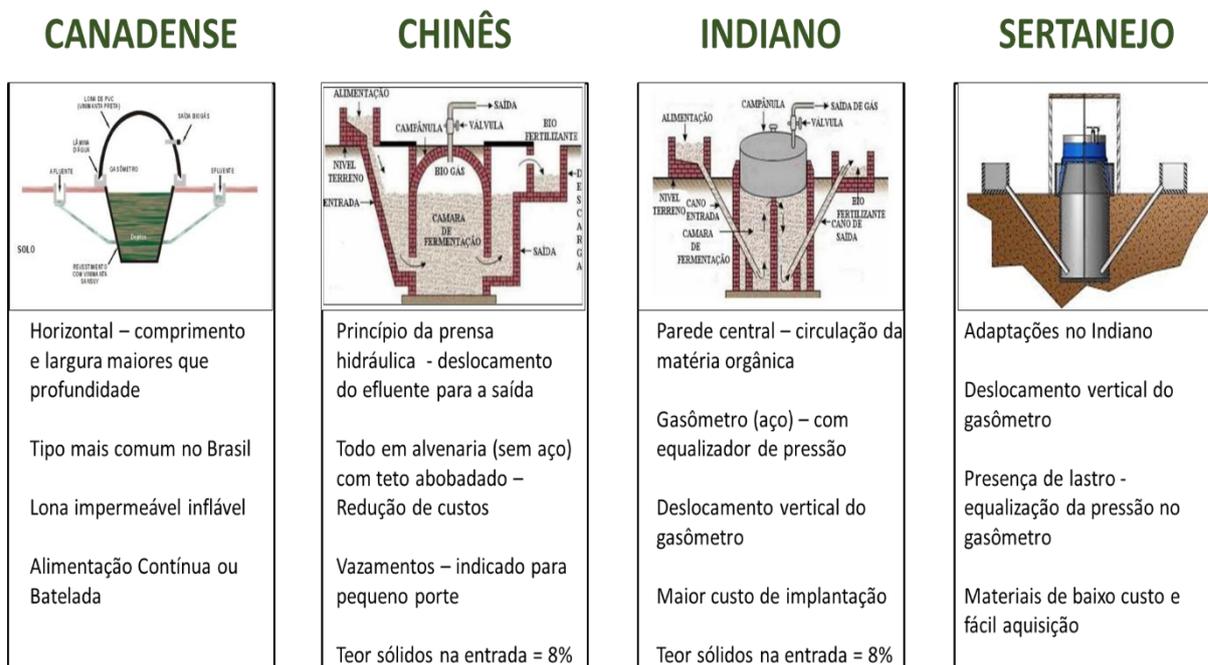
Existem diversos tipos e modelos para o processo de tratamento dos resíduos, com características construtivas específicas e que podem ser adaptados de acordo com as necessidades da fonte geradora (JORGE; OMENA, 2008). As peculiaridades variam conforme a área disponível para instalação, a forma de alimentação do sistema, o teor de sólidos contido na mistura, o número de estágios a serem realizados, a quantidade de resíduo orgânico tratado, dentre outras, e cada um possui diferentes capacidades limites de absorção de matéria orgânica (SALES FILHO, 2014).

A seleção do modelo mais adequado está também associada à três parâmetros essenciais: o Tempo de Retenção de Microrganismos (TRM), Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) e Tempo de Retenção de Sólidos (TRS). O TRH representa o intervalo de tempo que o afluente permanece retido na câmara para ocorrer biodigestão adequada. O TRM e TRS correspondem aos tempos de permanência dos microrganismos e dos sólidos no interior do biodigestor, expressos em dias. De maneira

geral, pode-se afirmar que maiores taxas de produção de metano estão relacionadas com longos TRM e TRS (FUKAYAMA, 2008).

Os cálculos envolvidos nos dimensionamentos consideram um período de produção entre 5 e 6 semanas, possibilitando a continuidade da alimentação. Os principais tipos de alimentação contínua são os modelos Indiano, Chinês, Canadense e o Rural (ou Sertanejo), cujas características específicas foram destacadas na Figura 1.

Figura 1. Síntese dos modelos mais comuns de biodigestor para alimentação contínua e suas principais características construtivas e operacionais.



Fonte: Do Autor (2019).

É possível adequar os biodigestores às condições do local, ajustando sua profundidade ou seu diâmetro em função da qualidade do solo, de forma que a câmara permaneça com o volume dimensionado constante (GASPAR, 2003).

O biodigestor Rural ou Sertanejo apresenta maior facilidade na construção e manejo, além da redução dos custos financeiros envolvidos, e por isso tem sido largamente utilizado no Brasil por comunidades de agricultores familiares. O modelo pode apresentar vazamentos de biogás pelas bordas da câmpânula de caixa d'água de fibra de vidro, o que pode ser pretexto para não financiar projetos com essa tecnologia social. Em razão disso, Luna et al. (2017) propuseram um selo d'água circundando o gásômetro de um biodigestor rural construído com câmpânula de 3 mil litros e câmara

de digestão de aproximadamente 6 m³, após observarem quantidades expressivas de metano emitidas para o meio ambiente.

2.7 Subprodutos da Biodigestão: Biogás e Biofertilizantes

2.7.1 Biogás

O Biogás uma mistura gasosa composta majoritariamente por CH₄, possuindo também CO₂ e traços de H₂S. Quanto maior o teor de metano, mais puro o biogás, e maior seu potencial calorífico. Sua alta inflamabilidade possibilita seu uso como combustível ou na geração de energia elétrica (ALMEIDA; MELO; VIDIGAL, 2002). A produção de metano começa a ser processada após cerca de 20 dias do processo de degradação, ocorrendo aumento gradativo até atingir seu volume máximo, cerca de 3 semanas depois. Após este período, a taxa de produção decresce lentamente (BONTURI; VAN DIJK, 2012).

O Biogás é ótima alternativa para o mercado nacional. Atualmente no Brasil, a maior parte do biogás é proveniente da digestão de dejetos da agropecuária (TEGHAMMAR et al., 2014), e a produção de energia elétrica pelo uso do biogás tem sido cada vez mais empregada, gerando benefícios econômicos e ambientais. Na Europa, o uso já é amplamente empregado, principalmente na geração de energia térmica; os substratos predominantes são estrume, capim ou silagem de milho e, muitas vezes, resíduos industriais orgânicos (HJORT-GREGERSEN et al., 2011).

Friehe et al. (2010), que caracterizam a qualidade do biogás de acordo com os percentuais de gás metano e de dióxido de carbono, sendo a proporção ideal um percentual acima de 60% para o primeiro, e abaixo de 40% para o segundo. Fatores como temperatura e pH influenciam na decomposição do material orgânico, com uma variação média de 25°C a 55°C para a temperatura e entre 7,0 e 7,5 para o pH, sendo estas as condições favoráveis para a proliferação das bactérias, mantendo o processo em funcionamento.

Sabe-se que o biogás geralmente não tem alto teor de pureza, e nos casos em que são provenientes de dejetos suínos, por exemplo, o aproveitamento é restrito a motores de combustão interna de pequeno porte, entre 50 e 100 kW, suficientes para atendimento de pequenas demandas, como o acionamento de bombas de irrigação, provisão de iluminação local por meio de lâmpadas, funcionamento de alguns equipamentos elétricos, entre outros (SUZUKI et al., 2011).

Bonturi e Van Dijk (2012) atestam que um biogás com teor de pureza de 95% pode consistir em um poder calorífico de $8.500 \text{ kcal m}^{-3}$. Ainda, em sua revisão verificaram uma produção diária de $0,6 \text{ m}^3$ de biogás a cada 1 m^3 de câmara de digestão, a partir do tratamento de dejetos da suinocultura. Dados da EMBRAPA apontam que cada 1 m^3 de biogás equivale a 0,66 litros de diesel ou 0,7 litros de gasolina, possuindo um poder calorífico entre 5.000 a $7.000 \text{ kcal m}^{-3}$ de gás.

Em estudo sobre produção de biogás proveniente da biodigestão de soro de queijo, Antonelli et al. (2016) obtiveram resultados positivos para a produção de biogás e sua eficiência na posterior conversão em energia elétrica. Os autores concluíram que o insumo tem bom potencial para digestão, por meio dos testes, nos quais o biogás foi contido em gasômetro para determinação da concentração de gás metano.

Em estudo sobre a degradação de efluentes da suinocultura em biodigestor tipo chinês, Junior et al. (2002) observaram que o poder calorífico líquido médio do biogás obtido varia entre 18 e 26 MJ Nm^{-3} . Os autores ponderaram que os dejetos produzidos por um único suíno podem gerar até 43 L de biogás por dia, e considerando uma população de 3000 animais, a geração de biogás atinge 130 m^3 , o suficiente para alimentar geradores com uma potência elétrica de $12,5 \text{ kW}$. Neste trabalho, a suinocultura era capaz de alimentar 5 biodigestores com capacidade de 1.650 m^3 , produzindo $138 \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$ de biogás, o que possibilitou um múltiplo uso de sistemas com motores a gás, e contribuiu fortemente para a economia de energia primária e melhoraria da rentabilidade da instalação existente.

Dentre os estudos realizados com biodigestores, observa-se um reduzido número de publicações a respeito de resíduos orgânicos em comparação com efluentes agroindustriais, principalmente os da suinocultura. Entretanto, grande parte dos trabalhos recorrem à associação de diferentes resíduos, que por fim apresentaram grandes rendimentos na produção de biogás, além de obter um menor tempo de retenção do substrato no interior do reator, como demonstrado por Orrico et al. (2016).

O MMA fez parte do Comitê Gestor do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás (PROBIOGÁS), cujo projeto almeja a inserção do biogás na matriz energética brasileira, o que contribui diretamente com a redução das emissões de gases intensificadores do efeito estufa, e indiretamente para a promoção do desenvolvimento nacional e fortalecimento do mercado. Ainda, é capaz de proporcionar melhorias nas condições regulatórias relacionadas à produção de energia e o

desenvolvimento de tecnologias para otimização do seu uso e aplicação (BRASIL, 2019).

2.7.2 Biofertilizante

Os fertilizantes têm a intenção de melhorar as condições de cultivo do solo e aumentar a disponibilidade dos nutrientes presentes em sua fração orgânica e mineral para as plantas. Em conjunto com outros fatores, como disponibilidade hídrica, intensidade solar e presença de CO₂, são responsáveis pelo eficaz desenvolvimento e manutenção dos vegetais na agricultura (KIHTEL, 1985).

Em condições equilibradas, os nutrientes e minerais estão naturalmente disponíveis, porém os sistemas intensivos de manejo do solo e os processos de erosão, tornam os elementos escassos e retidos (MALAVOLTA, 1979). O uso de fertilizantes tem o objetivo de contornar esta condição antrópica, com larga aplicabilidade quando produzido de forma adequada. Atuam também como corretivo e condicionador de solo, tornando-o mais produtivo a partir do aumento da cobertura do solo, diminuição da sua densidade, prevenção da ocorrência de erosão, aumento da capacidade de retenção hídrica e resistência aos períodos de seca, oportunidade de recuperação de solos de contaminados e maior taxa de liberação de nutrientes.

A qualidade do fertilizante está associada às condições operacionais do processo de decomposição, nas quais se incluem umidade, temperatura, relação C/N, pH, tamanho de partículas, entre outros. Assim como na compostagem, este subproduto também contém uma elevada quantidade de substâncias húmicas, altamente nutritivo para o solo, porém as perdas de carbono na forma de gás carbônico e metano no processo de degradação anaeróbia contribuem para o aumento do teor de nitrogênio, uma condição propícia para fins agrícolas. Esta propriedade ainda permite maior mobilização do fertilizante pelos microrganismos do solo, além de permitir a solubilização parcial de alguns nutrientes (ALMEIDA; MELO; VIDIGAL, 2002).

Além disso, a possibilidade de distribuição do biofertilizante para pequenos produtores consiste em uma integração de trabalho social pelas fontes geradoras do subproduto, e ainda representa uma forma de estimular a agricultura local de subsistência. Atualmente, o maior desafio em gerar um composto de qualidade origina-se na realização inadequada da segregação dos resíduos. A presença de materiais impróprios para os sistemas de tratamento, como óleos e gorduras, fezes de animais,

frutas cítricas, pimentas fortes, sal, entre outros, e até mesmo de materiais não orgânicos, influenciam diretamente na qualidade do fertilizante, tornando um produto impróprio para consumo.

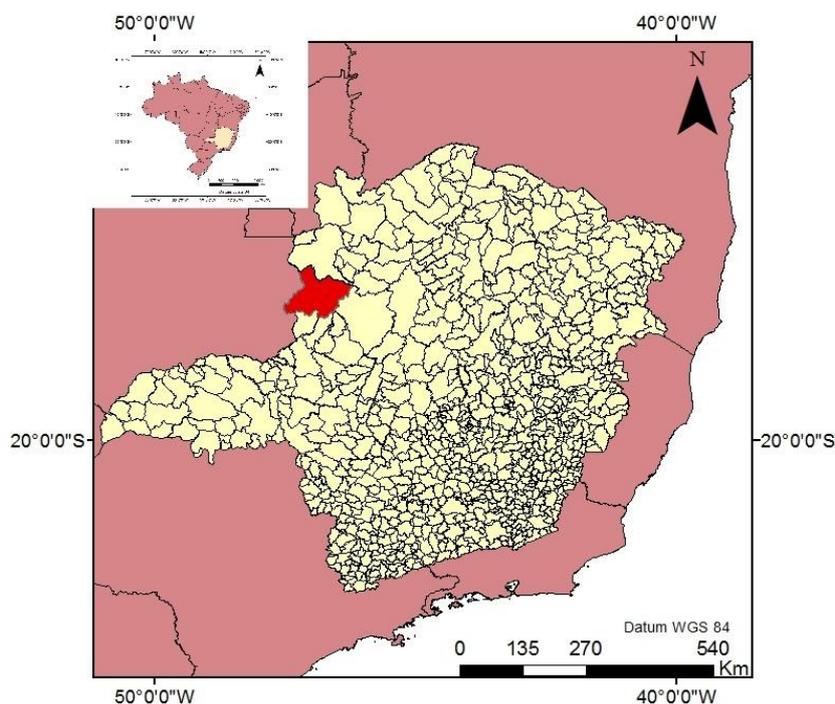
De acordo com Cunha (2009), o volume gerado do biofertilizante depende, sobretudo, do teor de umidade contido no resíduo e de fontes de água externa. Devido ao confinamento intermitente dos resíduos no biodigestor, a ocorrência de chuvas não altera o volume de água na câmara de digestão, consistindo em uma vantagem operacional. Além disso, o líquido possui maior tempo de detenção, contribuindo para o aumento da taxa de degradação da matéria orgânica e consequente agilidade do processo de estabilização, pois retém grande parte dos nutrientes presente no composto, enquanto na compostagem ele é drenado mais rapidamente.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do município

O município de Paracatu, de coordenadas 17°13'20"S e 46°52'29"O, é o principal da mesorregião Noroeste de Minas Gerais, divisa com o estado de Goiás, com área de 8.241 km² e 687 m de altitude, integrante da bacia do São Francisco, e sub-bacia do rio Paracatu, com predominância do bioma Cerrado. Sua população estimada em 2018 é de 92.430 habitantes (IGBE, 2018), sendo o município de maior concentração populacional da região. Situa-se a aproximadamente 230 km da capital federal, Brasília, e a 500 km da capital estadual, Belo Horizonte. O acesso à cidade se dá por duas vias principais, a BR040 e MG188. A localização do município de Paracatu/MG é apresentada na Figura 2.

Figura 2. Mapa de localização do município de Paracatu – MG.



Fonte: Do Autor (2019).

O clima predominante na região é de cerrado tropical sazonal de inverno seco. A temperatura média anual é de 25°C, podendo chegar a 40°C. As mínimas registradas podem alcançar valores próximos a 10°C, nos meses de maio, junho e julho. A

precipitação média anual fica entre 1.200 e 1.800 mm, com curtos períodos de seca chamados veranicos, podendo ocorrer no meio da primavera e do verão, com menor precipitação ocorrendo no período de maio a setembro.

Destacam-se no município as atividades de produção agropecuária (principalmente soja, milho e feijão) e extração de minérios, principalmente o ouro.

3.2 A gestão de resíduos sólidos no município

A cidade possui serviço de limpeza urbana gerido e operado por pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, que coleta diariamente aproximadamente 50 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) na zona urbana, direcionados ao aterro sanitário municipal, localizado na zona rural de Paracatu. O local possui área de 52,9 ha e com a estimativa de atendimento de 95% da população, a segurança operacional do empreendimento prevê um tempo de vida útil de 30 anos.

De acordo com a revalidação da Licença de Operação, estima-se que serão coletados e dispostos um total aproximado de 1.200.000 m³ de resíduos, incluindo Resíduos Domiciliares Comerciais (RDC), Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) e Animais Mortos (AM), durante a vida útil do aterro. O projeto não inclui a instalação de unidades de triagem, pois considera a operação inadequada tecnicamente para taxas de geração superiores a 10 t d⁻¹.

Junto ao aterro, existe um pátio de compostagem com 2.140.000 m², dotado de sistema de drenagem superficial. Entretanto, o tratamento é previsto apenas para os resíduos orgânicos proveniente de um programa de coleta diferenciada que seria instalado pela Prefeitura, junto aos principais geradores destes. Em detrimento da ausência do programa, sua operação não foi iniciada até o presente momento.

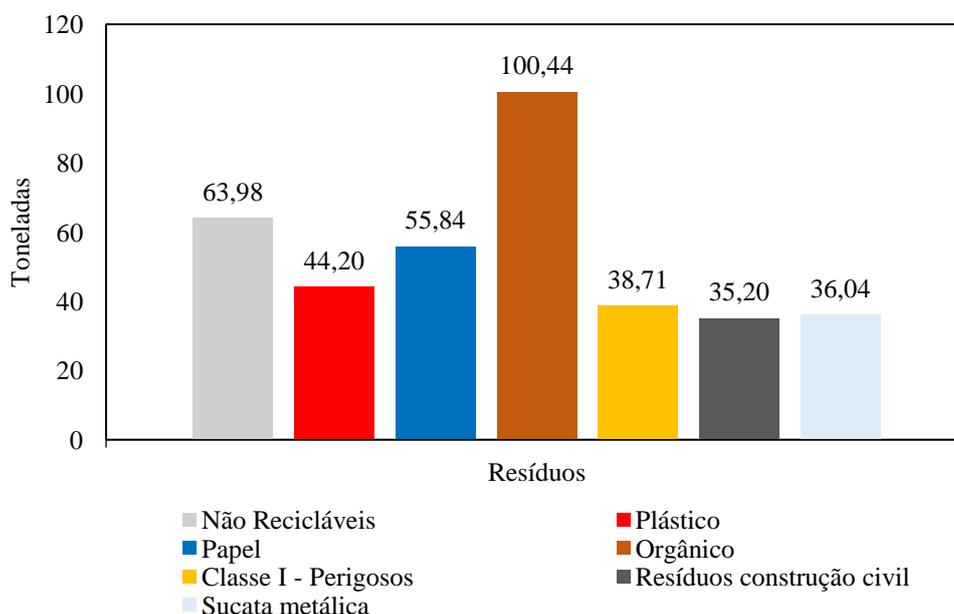
3.3 Caracterização do empreendimento

A empresa alvo do presente estudo, que receberá o nome de “Mineradora”, localiza-se a aproximadamente 45 km da zona urbana de Paracatu. Possui área de servidão mineraria total aproximada de 80 ha, e funciona 24 horas por dia. O empreendimento possui infraestrutura e instalações necessárias para o desenvolvimento de atividades minerárias em lavra subterrânea, e fornece matéria prima a ser beneficiada

na própria planta industrial presente na Unidade. Possui um quadro aproximado de 500 funcionários em horário administrativo. A Mineradora é de Classe 6 conforme a DN COPAM nº217 de 2017. Os resíduos sólidos gerados na Mineradora, com características dos RSU, são destinados ao aterro da cidade de Paracatu.

Na Figura 3 está apresentado o quantitativo de resíduos sólidos gerados pela Mineradora em 2018.

Figura 3. Quantidades dos principais resíduos sólidos gerados na Mineradora no ano 2018, para efeito de comparação e destaque para a geração de “Orgânicos”.



Fonte: Do Autor (2019)

A Mineradora possui estabelecida em sua Política Interna as diretrizes específicas que correlacionam aos temas de sustentabilidade e meio ambiente, reforçando sua responsabilidade neste aspecto. Ela cumpre os requisitos da Lei 12.305, especificamente o Art. 36, parágrafo II e V, que estabelecem, respectivamente, a execução do sistema de coleta seletiva e a implantação do sistema de tratamento dos resíduos orgânicos gerados na unidade, articulando com os agentes econômicos e sociais as formas ideais de utilização do composto produzido.

3.4 Geração de resíduos orgânicos e sistema de tratamento atual

Como parte das instalações da infraestrutura, destaca-se o refeitório, sob administração terceirizada, cuja capacidade máxima de lotação é de 70 pessoas. Este é o principal gerador de resíduos sólidos orgânicos da Mineradora. De acordo com a administração, frequentam em média 370 funcionários por dia na hora do almoço, entre 11 h e 14 h, sendo este o período mais intenso de acúmulo de restos de alimentos. Nos demais horários de funcionamento ocorre fornecimento de refeições pequenas e embaladas. Além disso, muitas os próprios funcionários providenciam seus lanches, consistindo, portanto, em um fator de baixo impacto no volume total de geração.

Os resíduos orgânicos são acondicionados em sacos plásticos e colocados nos coletores marrom do tipo caçamba. A coleta ocorre diariamente por caminhão poliguindaste (bruck), que realiza a pesagem e o transporte para tratamento no pátio de compostagem, pertencente à Mineradora. O pátio localiza-se externamente à empresa, numa área aproximada de 500 m², onde também está instalada a estação de tratamento de efluentes sanitários, localizada atrás do galpão de compostagem (Figura 4).

Figura 4. Área destinada ao tratamento de resíduos sólidos orgânicos e efluentes sanitários gerados na Mineradora, com o galpão à direita, leitos de secagem à esquerda e ETE Sanitária ao fundo.



Fonte: Do Autor (2019).

Dentro do galpão existem 6 baias internas com sistema de drenagem, onde são depositados os resíduos orgânicos após a trituração, pela máquina trituradora elétrica, para sofrerem a primeira etapa do processo de degradação (Figura 5). Após cerca de 20

dias, eles são transferidos para o pátio, que possui 5 baias. O sistema de drenagem do galpão é interligado à estação elevatória da ETE para tratamento do percolado.

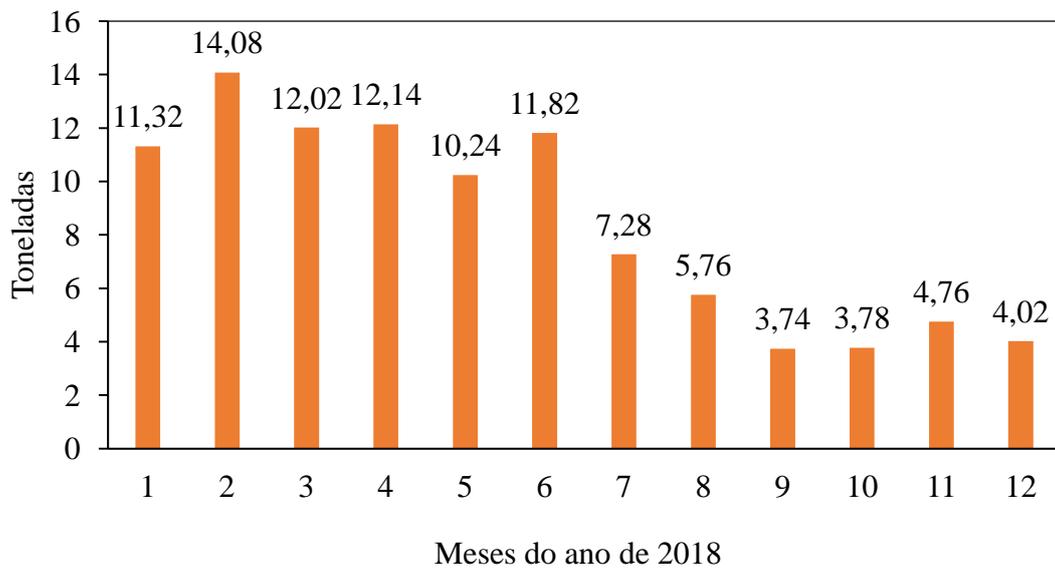
Figura 5. Baias internas para deposição do resíduo orgânico e o sistema de drenagem.



Fonte: Do Autor (2019).

No ano de 2018 foram geradas cerca de 100 toneladas de resíduos orgânicos (Figura 6), o que equivale a uma taxa média de 275 kg d^{-1} . Considerando que os resíduos sejam provenientes majoritariamente do refeitório da Mineradora, em um dia que todos os funcionários realizem as refeições, este valor corresponde ao descarte de aproximadamente 550 g de alimentos por pessoa por dia, o que caracteriza a quantidade média de uma refeição para o almoço, evidenciando a ocorrência de desperdício. Em uma análise visual, foi possível constatar que a maior parte dos resíduos corresponde aos restos alimentares das refeições (Figura 7), e uma pequena porção equivale a cascas de alimentos, ossos de animais e pó de café, que podem ser considerados resíduos isentos de desperdício.

Figura 6. Dados da geração bruta de resíduos orgânicos em toneladas durante todo o ano de 2018.



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 7. Evidência de desperdício de alimentos no coletor de resíduos orgânicos da Mineradora.



Fonte: Do Autor (2019).

Apesar do gráfico representando pela Figura 6 apresentar uma tendência de redução na geração ao longo do tempo, não foram observadas alterações nas quantidades recebidas pelo operador da Compostagem. Ao contrário, a área tem sofrido um acúmulo de material desproporcional ao que o sistema de compostagem está habituado a suportar, gerando empecilhos no manejo e causando os problemas descritos a seguir.

3.4.1 Problemas atuais da compostagem

Apesar do cumprimento às exigências legais, a Compostagem não tem apresentado resultados satisfatórios. Como normalmente ocorre normalmente em alguns sistemas de tratamento, o maior empecilho para a eficiência do tratamento está na qualidade dos resíduos que são destinados à área. A coleta seletiva não tem sido realizada de maneira eficaz no refeitório, sendo constante a mistura com resíduos não orgânicos, como copos descartáveis e guardanapos, que contribuem com o atraso do tratamento. Há ainda excesso de bagaço de frutas cítricas, pimenta e sal, os quais são consumidos – e largamente desperdiçados – no refeitório.

Aliado a isso, a forma como têm sido realizados o acondicionamento e a disposição podem ser a causa de alguns dos problemas recorrentes na área. Os resíduos são armazenados em sacos plásticos convencionais, com capacidade de 100 L, que devem ser arremessados para atingir a altura da boca do coletor principal, do lado de fora do refeitório. A troca por coletores menores sempre é inviabilizada pelo setor

administrativo, e repetidamente ocorre o espalhamento dos resíduos no interior destes, ocasionando uma situação repulsiva.

Diante deste cenário, o recolhimento dos resíduos torna-se extremamente impactante para os responsáveis pelo transporte, que realizam o procedimento de disposição no pátio de forma inapropriada (Figura 8). Além disso, a atual infraestrutura da Compostagem encontra-se danificada em diversas partes, como as baias externas quebradas, sistema de drenagem rudimentar com escoamento no solo, problemas recorrentes com instalações elétricas, infiltrações na parede do galpão, porta emperrada, entre outros, demandando necessariamente uma reforma civil. Não obstante, todas as etapas do tratamento requerem mão-de-obra para execução, impossibilitando o operador de realizar outras demandas ou o encontrando indisponível para o manejo adequado da Compostagem.

Com isto, há intenso mau cheiro e atração de vetores, principalmente moscas, deixando o ambiente insalubre e muito desagradável. Com a maior probabilidade de contaminação do solo, os fatores mencionados se tornam potenciais agravantes da situação, além de contribuir com a ineficiência do tratamento. Ainda, não há possibilidade de reaproveitamento dos gases gerados no processo de degradação.

Existe ainda uma alta rotatividade dos funcionários envolvidos na coleta, transporte e manejo dos resíduos, criando com isso a necessidade de aplicação de treinamentos e capacitações constantes, o que tipifica uma solução suficiente para o setor de Recursos Humanos.

Figura 8. Disposição inadequada dos resíduos na baía do sistema de compostagem e escoamento de chorume no solo.



Fonte: Do Autor (2019).

Os funcionários alegam ser mais viável a deposição dos sacos nas baias externas, pois a área de manobra do caminhão poliguindaste é restrita e nem sempre o operador da compostagem se encontra presente na área para destrancar o galpão (onde devem ser dispostos os resíduos para a maturação primária). A demanda por uma solução quanto ao gerenciamento dos resíduos orgânicos na empresa é nitidamente compreensível.

3.4.2 Implementação do projeto

Para implementação do projeto na Mineradora, fez-se a proposta de instalação de um biodigestor modelo Sertanejo, em razão das suas vantagens construtivas e operacionais. O dimensionamento foi fundamentado na geração média de resíduos sólidos orgânicos da unidade, de 275 kg d^{-1} , relativo a toda a geração de 2018. Vale ressaltar que este valor corresponde a uma série histórica que apresenta alta variação em dados sequenciais, que oscilam de 80 a 400 kg, e cuja moda equivale a 190 kg.

Portanto, o biodigestor será alimentado inicialmente com 100 kg de resíduos orgânicos, de forma que seu abastecimento seja seguramente constante, pelo menos na fase inicial, que durará 60 dias, caracterizado como a partida do sistema. Para determinação dos parâmetros operacionais do biodigestor, seu manejo será realizado em 8 etapas, de modo que o abastecimento ocorra de maneira constante e gradual até alcançar a cota máxima.

Assim, a quantidade de alimentação diária será acrescida de 25 kg em 25 kg, por períodos de 20-30 dias. Isto se repetirá até que o biodigestor seja alimentado com 275 kg, que corresponde à média diária de geração dos resíduos orgânicos, e, assim, a fase de testes poderá durar entre 160 e 240 dias. Baseado na literatura, o TRS estimado após estabilização dos parâmetros do processo é de 30 dias. Segundo Fukayama (2008), este tempo pode ser manipulado conforme o sistema de diluição e agitação, aquecimento e adição de inóculo.

Os resíduos deverão ser diluídos em água, após trituração pela máquina disponível no galpão, que possibilita manter o grau de compactação e de umidade constantes dos restos alimentares durante o processo de alimentação. O volume ideal para a diluição será definido experimentalmente, não devendo ser excessivo, apenas garantindo uma melhor homogeneização e consistência de pasta. Inicialmente será testada a proporção de 1:1 (cada 50 L de resíduos será homogeneizada com 50 L de água), e esta quantidade pode sofrer alteração já na primeira fase experimental.

Poderão haver dias em que a alimentação não atingirá a quantidade mínima prevista. Em situação contrária, o excedente da carga será direcionado para o sistema de compostagem. Esta operação em paralelo permitirá a comparação dos parâmetros e da eficiência entre os dois sistemas.

3.4.3 Escolha do local

O biodigestor será instalado em área aberta e sem sombreamento, próximo ao galpão de compostagem e da estação de tratamento de efluentes sanitários (Figura 9), local apropriado devido ao nivelamento do terreno, à alta incidência solar e a distância segura de árvores e instalações elétricas.

Figura 9. Identificação da área escolhida para a instalação do biodigestor.



Fonte: Do Autor (2019).

3.4.4 Dimensionamento

Inicialmente, foi realizada uma análise gravimétrica para determinação da massa específica dos resíduos orgânicos gerados no refeitório. Foram utilizadas 8 bombonas de 50 L, totalmente preenchida com resíduos. Após pesagem das bombonas individualmente, foi utilizado o valor médio das massas obtidas através da equação a seguir.

$$\text{massa específica} = \frac{\text{massa dos resíduos}}{\text{volume das bombonas}} \quad (1)$$

Foram realizadas marcações no tambor correspondes ao acondicionamento de 25 kg e 50 kg de resíduos, viabilizando as medições para os procedimentos de carga do sistema durante as fases experimentais.

A partir da média de 275 kg d^{-1} , foi definido o volume da caixa de carga e do tanque de digestão do biodigestor, por meio das equações a seguir.

$$\text{volume} = \frac{\text{massa}}{\text{massa específica}} \quad (1)$$

$$\text{volume} = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (2)$$

$$\text{volume} = \text{alimentação} \times \text{dias} \quad (3)$$

A caixa de saída do sistema deverá ser enterrada no nível do solo e possuir volume um pouco maior que da caixa de entrada, além de conter um sistema de drenagem acoplado devido à alta umidade do biofertilizante. O cálculo do volume pode ser obtido por meio da equação 5.

$$volume = altura \times comprimento \times largura \quad (5)$$

O volume necessário do gasômetro foi baseado na taxa de geração descrita por Bonturi e Van Dijk (2012), em que 1 m³ de câmara de digestão é capaz de gerar 0,6 m³ de biogás, obtido a partir da equação 5.

$$volume_{gasômetro} = volume_{tanque} \times capacidade\ de\ geração \quad (6)$$

É importante se atentar aos parâmetros de operação, como limites de temperatura e teor de acidez e umidade do substrato, onde o resíduo adicionado não pode estar seco (JORGE; OMENA, 2008). Para determinar esses parâmetros de maneira assertiva, o monitoramento será realizado com os instrumentos disponíveis para a ETE, incluindo termômetro e medidor de pH. Além disso, há possibilidade de usar bicarbonato de sódio para correção do pH na carga de alimentação.

3.4.5 Processo construtivo

Após a escavação de uma vala central para abrigo do tanque de digestão, com 2 m de profundidade e 3 m de diâmetro, e das tubulações (instaladas em declive) que conectarão o sistema de carga e descarga, serão alojadas as placas previamente confeccionadas com cimento e areia para edificação das paredes do tanque de digestão e da caixa de carga, em formato de circunferência (Figura 10). A caixa de descarga será confeccionada com tijolos 6 furos.

As placas possuirão as dimensões de 0,5 m x 0,52 m para a parede do tanque e 0,2 m x 0,205 m para as caixas de carga. Ao todo, serão utilizadas 48 placas para a construção do tanque de digestão, que serão assentadas alternadamente em 4 fileiras verticais de 12 placas e 24 placas para a caixa de carga, assentadas em 2 fileiras de 12 placas. Ao final do empilhamento a altura das placas do tanque estarão cerca de 20 cm

acima do nível do solo, devido a aplicação da argamassa. Duas placas do tanque devem ser furadas, com a massa ainda fresca, para encaixe das tubulações das caixas de carga e descarga, de 100 mm e 150 mm respectivamente. O sobressalente de 0,20 m acima do nível do terreno após o empilhamento das placas impedirá o escoamento de água pluvial para o interior do biodigestor.

Figura 10. Etapas do processo construtivo do biodigestor modelo Sertanejo, desde a confecção das placas de concreto à construção do lastro de zinco sobre a campânula de gás.



Fonte: Mattos e Junior (2001).

O tanque deverá possuir diâmetro de 2 m, com o fundo o mais nivelado possível, com piso alicerçado com concreto. Será fixado o cano guia de 3,5 m de altura na base de sustentação na sapata, feita por meio da disposição de 4 tijolos ao entorno do cano com o concreto ainda fresco. É importante que este ducto permaneça posicionado exatamente no centro do tanque e esteja fixado pelo topo por uma trava de segurança transversal de madeira. Ainda, serão construídos três batentes de fundo para evitar a vedação da passagem de resíduos das caixas de carga e descarga.

Será realizada a amarração com arame galvanizado nº 12 ao redor da estrutura do tanque a fim de minimizar a tensão de resistência à pressão que será exercida pelos resíduos orgânicos em seu interior. É importante ressaltar que o reboco deve ter

espessura suficiente para permitir o deslocamento sem atrito do gasômetro. Após estas etapas, parte do solo escavado deverá ser repostado no vão entre o tanque e a parede da vala escavada, preenchendo o espaço vazio até a parede externa, a fim de estabilizar a estrutura do reator.

A caixa de carga será instalada no nível do terreno, sobre uma circunferência demarcada de 0,80 m de diâmetro. A saída da tubulação em direção ao tanque de digestão ficará no fundo da caixa. O formato arredondado evita o acúmulo de resíduos nas quinas e permite maior homogeneização do material misturado com água, facilitando a alimentação da câmara de digestão.

A caixa de saída deverá ser instalada em cota inferior ao nível do terreno e com formato retangular, para que a descarga aconteça de forma apropriada. Esta caixa possuirá então 2 níveis de profundidade, com dimensões de 1,0 m x 0,60 m x 0,50 m e de 0,40 m x 0,40 m x 0,50 m para o sistema de drenagem. O reservatório ficará semienterrado em uma trincheira com cerca de 1,60 m de comprimento para toda a caixa.

A parede que separa a parte mais profunda da mais rasa deverá conter os tijolos deitados para permitir a drenagem, para as duas divisões. Esta parede permite a separação das fases sólida e líquida do produto da digestão. Deverão ser instaladas telas nos tubos de passagem para facilitar o processo de limpeza das caixas. O fundo da caixa mais elevada terá o fundo totalmente coberto por uma camada de brita 1, de forma a cobrir os tubos, e a tela será colocada sobre ela.

Para o armazenamento do biogás, será utilizada uma caixa de fibra de vidro de 2.000 litros sem a tampa, instalada em posição inversa, com a cavidade para baixo. A caixa de fibra de vidro de estrutura cônica, terá como dimensões máximas: altura 1,10 m, diâmetro maior 1,89 m e diâmetro menor 1,55 m. Inicialmente, será feita uma marcação no ponto central do fundo da caixa para instalação do cano guia. Deve-se evitar qualquer tipo de rachadura no fundo da caixa para evitar a perda do biogás.

Posteriormente, será feito um furo de 20 mm um pouco distante do flange central, com o objetivo de instalação da tubulação de gás. É recomendando que, independente do lado que o flange for instalado, a borracha de vedação permaneça do lado de dentro, a fim de evitar seu ressecamento e aumentar seu tempo de vida útil. Para a construção da base do cano será utilizada uma tábua de madeira de 2 m de comprimento, com 0,15 m de largura e 0,04 m de espessura. A tábua deverá ser parafusada na base da caixa de fibra de vidro, de forma que a abertura de 50 mm esteja

voltada para o lado de fora. A instalação do cano guia é realizada no momento em que a tábua é fixada.

É necessário a instalação de um lastro sobre a caixa para controle da pressão interna exercida pelo biogás, evitando-se assim falhas na sua condução até o gerador. Deverá ser instalada uma cinta de zinco com 0,30 m de largura por cima da caixa, a ser preenchida com brita e cascalho, para promover um contrapeso no sistema. Cada metro de zinco corresponde a 1 kg, sendo necessários 5,35 m para formar a circunferência da cinta. Para o fechamento, será preciso dobrar suas extremidades, uma para dentro e a outra para frente, tornando-se possível atar uma ponta à outra. A cinta deverá ser acoplada à caixa de fibra de vidro antes que esta seja colocada no biodigestor. Ela será encaixada na parte de fora do fundo da caixa de fibra de vidro. Assim, após a instalação, a parte interna do lastro vai possuir 0,20 m de altura.

Recomenda-se a instalação de um tubo de proteção ao entorno do cano guia, evitando-se o vazamento do material contido no lastro para o interior da caixa de fibra. Após o acoplamento do lastro, haverá a construção do selo d'água ao entorno para promover a vedação do sistema, evitando o escape do biogás.

A tubulação de gás é alocada no flange da do tubo guia central e possuirá uma altura de 0,30 m, acima do lastro. O armazenamento de gás no interior da câmara será controlado por um registro de gaveta, instalado na extremidade superior da tubulação, seguida pela instalação do filtro de impurezas para minimizar o mau cheiro, causado principalmente pelo H_2S . Este será pode ser feito com uma camada de palha de aço, que promove a precipitação do sulfeto de ferro e a minimização dos odores. Além disso, este filtro contribui para a retenção de partículas que podem causar corrosão no material do gerador de energia elétrica. Ela deve ser substituída após algum tempo, que pode variar conforme a produção do biogás. Esta é uma alternativa bem prática e de baixo custo. Existem metodologias mais eficientes para a eliminação do cheiro, entretanto, o biodigestor será construído em uma área isolada e não demanda um grande investimento para esta questão.

Figura 11. Sistema de tubulação condutora do biogás produzido no biodigestor sertanejo.



Fonte: Mattos e Junior (2001).

É importante que a canalização do biogás seja feita com mangueira flexível (Figura 11), porém resistente para que não ocorra encurvamento devido à ação sola. Esta canalização flexível permitirá que o caixa de fibra de vidro se movimente livremente conforme a geração de gases em seu interior. A tubulação de gás deverá estar enterrada. Assim, todo o caminho percorrido por ela também deverá ter superfície parcialmente escavada até o local de consumo. Neste caso, até o gerador alocado próximo ao painel de bombas da ETE Sanitária, em área aberta e coberta, conforme determinado pela NBR 13.303 (Instalação de aparelhos a gás para uso residencial) (ABNT, 2013).

Apesar do produto principal da reação da degradação anaeróbica ser constituído por fase gasosa, esta ocorre com elevado grau de umidade. Sendo assim, é necessária a instalação de um dreno para retirar o excesso de água e, assim, aumentar a eficiência da queima do biogás no gerador.

Este dispositivo em forma de T (Figura 12) será instalado enterrado na parte mais baixa da tubulação de gás, em uma profundidade de 0,70 m em relação à superfície do solo. A tubulação de gás acoplada no T, e na parte de baixo será encaixada uma tubulação que ficará imersa em no mínimo 0,50 m de coluna d'água. Após todos os encaixes, este sistema será coberto com outro tampão, assim reduzindo-se as taxas de evaporação da água, além de vedar a passagem de possíveis insetos.

Figura 12. Funcionamento do dreno de água instalado na tubulação de biogás.



Fonte: Mattos e Junior (2001).

Como trata-se de uma área com bom nivelamento, em que a tubulação de gás conectada ao gerador ficará próximo ao local, assume-se que a instalação de apenas um ponto de drenagem seja suficiente.

3.5 Materiais necessários

O tempo de construção previsto para o projeto é de 20 dias, seguindo os procedimentos-padrão de segurança do trabalho da empresa para a escavação da área e realização do processo construtivo, sob exigências da NBR 9061 (Segurança de escavação a céu aberto) e NBR 13.103, sendo necessária equipe interdisciplinar experiente para minimizar as chances de erro do projeto (ABNT, 1985; 2013). O ideal é que a equipe possua também conhecimentos técnicos especializados em instalação de tubulação de gás, para que a alimentação do alternador elétrico seja bem-sucedida.

Na Tabela 1 estão relacionados todos os materiais necessários para a etapa construtiva do projeto de biodigestor na Mineradora.

Tabela 1. Ferramentas e materiais necessários para a construção do biodigestor.

Material	Unidade	Quantidade
Caixa de fibra de 3000 L	unidade	1
Sacos de cimento	unidade	10
Ferro 6,3 mm	barra	1
Arame galvanizado nº 12	metro	50
Brita 01	lata	6
Areia	lata	100
Placa de Zinco (0,40 m)	metro	5
Tijolo 6 furos	unidade	100
Cano PVC esgoto 100 mm	barra/6m	1
Cano PVC rígido 50 mm	metro	3,5
Cano de ferro 40 mm	metro	3,5
Cano PVC 60 mm	metro	1,5
Cano PVC 75 mm (azul)	metro	1
Cola PVC (pequena)	unidade	2
Cano PVC rígido 20 mm	metro	30
Joelho PVC rígido LR 20 mm	unidade	3
CAP 75 mm (azul)	unidade	1
Parafuso 29 cm 3/8	unidade	1
T PVC rígido 20 mm	unidade	1
Luva de união 20 mm	unidade	2
Joelho PVC rígido 20 mm	unidade	8
Flange 60x60 mm	unidade	1
Flange 20 mm	unidade	3
Registro de esfera 20 mm	unidade	3
Mangueira cristal trançada 20mm	metro	6
Luvras LR 20mm	unidade	6
Adaptador interno para mangueira PVC 20mm	unidade	3
Abraçadeiras rosca sem fim ½"	unidade	4
Galão acrílico 20 L (água mineral)	unidade	1
Tábua 15cm x 4cm	metro	2
Barrote de madeira de 10	metro	7
Tela de fibra 1,50 x 0,80 m	unidade	1
Parafusos 8cm 3/4	unidade	1
Pregos para telha Brasilit	unidade	4
Tela de nylon 1,50 x 0,80 m	metro	1
Veda rosca	unidade	2
Cano PVC rígido 25mm	metro	1
Furadeira elétrica	unidade	1
Serra-copo para furadeira elétrica	unidade	1

Fonte: Adaptado de Mattos e Junior (2001).

O biogás será direcionado para um gerador de combustão interna (Tabela 2) para consumo interno com a iluminação local do pátio, atualmente ausente no local.

Tabela 2. Descrição do gerador de energia elétrica selecionado.

Descrição	
Tensão Elétrica de Saída	Bivolt
Autonomia	6 horas
Potência Nominal Aparente	4,3 kVA
Potência Máxima	5000 W
Rotação	3600 rpm
Motor	13HP 4 tempos
Cilindrada	337 cc
Frequência	60 Hz
Capacidade do Tanque	25 L
Sistema de Partida	Manual retrátil
Peso do Produto	74,4 kg
Modelo	MG5000CL
Possui Capacitor de Voltagem	Não
Corrente Elétrica do Alternador:	37,5A (120V) 20,5A (220V)
Carregador de Bateria:	12 V – 8,3 Ampère
Possui Sistema de Alerta de Nível de Óleo	Não
Acompanha Voltímetro	Sim
Possui Quadro	Sim

Fonte: Adaptado do fornecedor.

O funcionamento do gerador com o biogás é possível por meio de pequenas adaptações no equipamento, como na instalação de um gás carburador e sua modificação, de maneira a compensar a lenta velocidade da chama e aumentar o consumo de ar da queima de metano. Esta modificação pode ser realizada de duas maneiras, exigindo poucas alterações entre elas. A primeira consiste na alimentação bicomustível, com ignição por injeção e combustível piloto, que poderá ser o Diesel, devido sua disponibilidade na empresa. A segunda consiste no funcionamento exclusivo com o biogás, somente com ignição por faísca. Além disso, sugere-se a instalação de velas de ignição com alta temperatura para combater a combustão de alta temperatura do metano (SUZUKI et al., 2011).

Ambas as formas serão testadas na fase experimental (inicial) de operação do biodigestor, e também consistirá em um parâmetro a ser definido, assim como a identificação de vazão, composição química, poder calorífico e real potencial para a geração de energia elétrica na área.

4 RESULTADOS

4.1 Dimensionamento do Biodigestor

Os dados da análise gravimétrica realizada para os resíduos orgânicos estão expressos na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da análise gravimétrica pela pesagem das bombonas contendo resíduos orgânicos provenientes do refeitório da Mineradora.

Bombona	Massa (kg)
1	71
2	75
3	68
4	72
5	74
6	65
7	67
8	68
Média	70

Fonte: Do Autor (2019).

A partir da média obtida na Tabela 1 e da equação (1), foi obtida a massa específica dos resíduos sólidos orgânicos que alimentarão o biodigestor da Mineradora.

$$\begin{aligned} \text{massa específica} &= \frac{70 \text{ kg}}{50 \text{ L}} \\ \text{massa específica} &= 1,4 \text{ kg L}^{-1} \text{ ou } 1,4 \text{ g cm}^{-3} \end{aligned}$$

A partir da massa específica, obteve-se o volume necessário da caixa de carga para comportar a alimentação com a quantidade média diária de resíduos por meio da equação 2.

$$\begin{aligned} \text{volume} &= \frac{275 \text{ kg}}{1,4 \text{ kg L}^{-1}} \\ \text{volume} &= 196,42 \text{ L} \end{aligned}$$

Desta forma, ficou definido que a caixa de carga do sistema deverá possuir capacidade volumétrica de 200 L. É possível obter este valor para uma caixa cilíndrica com 0,80 m de diâmetro e 0,40 m de altura.

Como o tempo de digestão esperado é de 30 dias, e a alimentação com o valor médio corresponde a 200 L d^{-1} , tem-se que a capacidade mínima do tanque de digestão deverá ser de 6.000 L.

$$\text{volume} = 200 \text{ L d}^{-1} \times 30 \text{ dias}$$

$$\text{volume} = 6.000 \text{ L}$$

Um tanque cilíndrico de 2 m de diâmetro e 2 m de altura satisfaz a capacidade exigida para o tanque de digestão, alcançando $6,28 \text{ m}^3$.

A caixa de saída do sistema terá a capacidade de 300 L, e seu sistema de drenagem 80 L, conforme calculado pela equação 5.

$$\text{volume} = 1,0 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$$

$$\text{volume} = 0,3 \text{ m}^3$$

$$\text{volume} = 0,5 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$$

$$\text{volume} = 0,08 \text{ m}^3$$

Para a escolha da caixa de fibra de vidro a ser utilizada como campânula para armazenamento do biogás, foi utilizada a equação 6, onde obteve-se uma geração total de aproximadamente $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

$$\text{volume}_{\text{gasômetro}} = 6 \text{ m}^3 \times 0,6 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$$

$$\text{volume}_{\text{gasômetro}} = 3,6 \text{ m}^3$$

A representação do projeto após a conclusão encontra-se nos Anexos 1 e 2.

4.2 Análise do projeto

Durante o ano de 2018, foi possível observar uma tendência da redução da taxa de geração da quantidade de resíduos orgânicos provenientes do restaurante da Mineradora, provavelmente como resultado das campanhas de combate ao desperdício que tem ocorrido na empresa. Contudo, no início do ano de 2019 foi possível observar um novo aumento, e o volume de resíduos orgânicos direcionados ao pátio de compostagem tem sido visivelmente maior ao longo dos últimos meses. Diante desta situação, surgem duas hipóteses: uma inconsistência no sistema de pesagem e ineficiência do procedimento de segregação de resíduos na fonte.

Conforme determinado na PNRS, a Mineradora tem em sua Política Interna a realização da Coleta Seletiva, conforme os preceitos legais, e todos os resíduos gerados na unidade são, em tese, separados na fonte e têm destinação ambientalmente adequada. Porém, diante da atual situação descrita na empresa, a instalação do biodigestor representa uma alternativa viável e sustentável para o gerenciamento dos resíduos na Unidade, conforme demonstrado na Tabela 4.

Diante disso, haverá a implementação de treinamentos específicos para a operação do biodigestor e manejo dos resíduos e subprodutos, com todos os funcionários envolvidos. Um bom manejo do reator possibilitará o usufruto de todas as vantagens oferecidas pelo sistema.

Tabela 4. Aspectos envolvidos na adoção do projeto em estudo, conforme os parâmetros da Sustentabilidade.

Dimensão Ambiental	Dimensão Econômica	Dimensão Social
Redução de emissão gasosa para a atmosfera	Redução de gastos com ações tratativas	Promoção de qualidade de vida
Projetos de Educação Ambiental	Competitividade de mercado	Inclusão social e valorização dos Direitos Humanos
Redução de desperdícios	Prosperidade econômica	Promoção de bem-estar social
Conservação de Recursos Naturais	Redução de custos de oportunidade	Envolvimento comunitário
Manutenção das condições de limpeza da área	Impacto visual positivo	Cuidados com a saúde pública
Consumo de energia limpa e renovável	Redução de custos com despesa de energia elétrica	Estratégia de crescimento com base na preservação ambiental
Atendimento à legislação ambiental	Respeito com funcionários, fornecedores e sociedade	Bases éticas

Fonte: do Autor (2019).

Quando a sustentabilidade alcança os três pilares, ela gera valor para o empreendimento, deixando de ser apenas uma prática a ser seguida e passa a se tornar uma estratégia de atuação que promove visão de crescimento e permeia toda a organização de forma natural. Além disso, implicitamente há provocação de um impacto positivo para o mercado e para a sociedade, e os benefícios se concentram em ganhos muito além dos econômicos (YOUNG; HAMSHIRE, 2000).

Uma vantagem do modelo escolhido é a possibilidade de adaptação ao clima local e ao tipo de solo presente no local de instalação, não sendo necessária a definição de dimensionamento preciso para o diâmetro e a profundidade. É preciso apenas observar a relação de capacidade do tanque de digestão e da campânula de coleta de biogás (GASPAR, 2003). Devido as condições climáticas locais, aliadas à alta incidência solar e pouca chuva, é esperado um acentuado processo de fermentação, com alta produção de biogás, dentro dos limites estabelecidos esperados, resultando em alta performance de tratamento, assim como da qualidade de seus subprodutos, o biofertilizante e o biogás.

Além de consistir em uma destinação adequada para os resíduos sólidos, os biodigestores também possibilitam a recirculação de água em pomares e hortas, em processos de fertirrigação, evitando a contaminação do solo e lençol freático (CHIEMCHAI SRI et al., 2012). Com a realização da coleta seletiva de forma eficiente, serão direcionados ao biodigestor resíduos com maior relação C/N, portanto é esperado grande rendimento na geração de subprodutos, incluindo um adubo de maior qualidade, conforme demonstrado por Orrico et al. (2016).

O gás metano, composto majoritário do biogás, tem alto poder calorífico e seu aproveitamento reduz a intensificação do efeito estufa, promovendo o consumo de energia limpa e renovável, além de mais barata que as convencionais, garantindo uma economia financeira com despesas de eletricidade. Dentre as energias renováveis, o biogás se destaca devido ao custo de produção de energia elétrica perenemente menor que, por exemplo, o de gás natural. O tempo de retorno de um investimento na planta leva cerca de 8 anos com o gás natural, enquanto com o biogás esse retorno pode ser obtido em até 4 anos, mesmo com o uso de tecnologias dessulfurantes para seu aprimoramento. Mesmo as fontes limpas como a eólica e a solar não são tão financeiramente acessíveis quanto o gás metano (JUNIOR et al., 2002).

Os impactos relacionados à redução dos custos são mais sentidos nas pequenas propriedades rurais, geralmente menos capitalizadas, surtindo efeitos positivos em economia de recursos tanto para o consumo doméstico quanto para a produção. Há redução direta nas despesas fixas com energia elétrica e gás de cozinha, por exemplo, favorecendo as famílias que utilizam a criação animal como fonte de renda. Em grande escala, essa não emissão de gás pode ser convertida em créditos de carbono e ser comercializada na Bolsa de Valores. Em 2003, uma fazenda conveniada a uma entidade canadense instalou 5 biodigestores e reduziu em 30% o custo da produção, além de comercializar suas ações nas Bolsas da Europa e Ásia (GOUVEIA, 2017).

Quanto maior a pureza, maior seu poder calorífico. Componentes como o CO₂ e a água interferem no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada, diminuindo sua eficiência. Além disso, a presença de ácido sulfídrico também pode trazer prejuízos como a corrosão e redução da vida útil do motor. Junior et al. (2002) ressaltam a importância das práticas de purificação do biogás, e listam alguns dos métodos aplicáveis, como a remoção de umidade com sílica em gel, remoção do gás carbônico por absorção em superfície contínua e separação por membranas.

Os mesmos autores destacaram, porém, que motores de combustão interna pobre não necessitam tratamentos sofisticados do combustível, e procedimentos de secagem e filtragem são suficientes. Caso sejam identificadas falhas no processo da combustão e eficiência do gerador, esta literatura será consultada para analisar as alternativas de correção do problema. Ainda assim, uma improvável insuficiência não compromete os ganhos dos ativos do projeto, pois o local é desprovido de iluminação desde o início da sua operação, realizada durante o dia, e a iluminação no período noturno configura uma medida adicional de segurança.

Com base nos estudos de Souza (2010), nos dados do EMBRAPA, e nos cálculos do dimensionamento, espera-se uma produção média de 4 m³ por hora de trabalho, assumido como suficiente para prover energia elétrica para a iluminação local, através da lâmpada LED (Tabela 5). Sabe-se, porém, que produção do biogás não é constante, e pode haver falha ao atendimento da demanda de energia para a iluminação local.

Tabela 5. Características das lâmpadas disponíveis para a iluminação da área.

Características	Tipo de Lâmpada		
	Comum	Fluorescente	LED
Durabilidade	1 ano	5 anos	15 anos
Consumo	50 W	10 W	5 W
Economia	-	até 80%	até 95%
Emissão de calor	Alta	Média	Baixa
Ecológica	Não contém mercúrio	Contém Hg	Não contém mercúrio
Eficiência	Pouca	Mediana	Muita

Fonte: Adaptado de Leroy Merlin

De acordo com os dados as condições da área, serão utilizadas 16 lâmpadas, em consonância com a NBR 13.103 que define que a somatória das potências nominais para instalação de aparelhos a gás não deve ultrapassar 80 kW (ABNT, 2013). De acordo com uma simulação de cálculo de energia disponibilizada pelo site da CEMIG, o uso de 16 lâmpadas em funcionamento por 12 horas durante 30 dias equivale ao consumo aproximado de 250 kW (o que corresponde a uma conta de luz de aproximadamente R\$106,00).

Entretanto, tem-se a intenção de futuramente empregar a geração de energia elétrica para acionamento de bombas do sistema de tratamento de efluentes sanitários,

caso a produção de biogás seja suficiente, e isso consistirá em um uso mais proveitoso para a Mineradora. Gaspar (2003) apontou o uso de energia proveniente do biogás para acionamento do sistema de ventilação em incubadoras de alguns animais em propriedades rurais que se beneficiam do uso do biodigestor. No presente estudo, a seleção das lâmpadas para a iluminação local será baseada na Tabela 5.

Além do biogás, o aproveitamento do biofertilizante também compõe outra grande vantagem. Almeida, Melo e Vidigal (2002) apontaram as vantagens da adoção de biodigestores por grandes exportadores de carnes de animais, como a inclusão dos cuidados na higiene do animal e melhorias do saneamento do local. A biodigestão anaeróbia permite o isolamento dos resíduos, possibilitando a redução de moscas, de parasitos e patógenos ao homem e aos animais (FUKAYAMA, 2008), colaborando extensivamente para a salubridade do local e melhoria das condições de trabalho.

Além da função de condicionador de solo, ele pode ser utilizado como defensivo natural agrícola, que geralmente possui considerável eficiência contra algumas pragas e fungos (PINTO, 2008). Todo o adubo gerado será doado para as comunidades vizinhas ao empreendimento, que também serão alvo dos Programas de Educação Ambiental, junto com a comunidade interna. A doação do biofertilizante é uma possível forma de atuação dos pequenos produtores e consiste em um benevolente trabalho social, pois promove viabilização da geração de renda para as famílias que trabalham com agricultura em pequena escala.

Serão desenvolvidas campanhas de redução de desperdícios e capacitações sobre segregação de resíduos. Dentre as ações, incluem as visitas técnicas para exposição e explicação do funcionamento do biodigestor, além de prestar auxílio para os pequenos produtores interessados na implementação do projeto em suas propriedades.

O processo de conscientização ambiental envolve, além da valorização do meio ambiente, o comprometimento com a qualidade de vida dessas comunidades. Isso é capaz de promover maior geração de renda e inclusão social. Além de configurar um aproveitamento econômico dos recursos naturais, a geração de biofertilizantes representa uma parcela muito significativa de resíduos que deixaram de ser destinados ao aterro sanitário ou a áreas em que poderiam causar contaminação do solo e de corpos d'água.

Além das vantagens econômicas envolvidas na adoção exclusiva do biodigestor citadas até o momento, o que inclui reaproveitamento dos subprodutos, destaca-se o ganho de produtividade do operador, pois o reator possui um manejo mais autônomo em

comparação com a compostagem, que demanda trabalho manual em todas as etapas de seu procedimento. Com a biodigestão, será necessário manejo menos frequente dos resíduos, reduzido aos procedimentos de carga e descarga do sistema.

A longo prazo, espera-se que haja diminuição na geração de resíduos orgânicos e o biodigestor seja capaz de suportar toda a demanda da unidade, dispensando a realização da compostagem.

Os aspectos relacionados à segurança do trabalho devem ser garantidos a todos os funcionários que lidam com o biodigestor, direta ou indiretamente. Caso haja necessidade de entrar no biodigestor, este deverá estar vazio e deverão ser providenciados todos os equipamentos e treinamentos necessários para a realização de trabalho em espaço confinado. Além disso, o local já possui extintores de incêndio de pó químico de 4 kg, mas é recomendando a sinalização com placas de “Proibido Fumar” e “Perigo Inflamável”.

É importante lembrar que se trata de um gás inflamável, cuja com o oxigênio pode causar explosões e linhas de gás com vazamentos podem provocar incêndios. As instalações devem seguir rigidamente as normas da ABNT (2013) para instalações a gás e deve ser solicitado a vistoria pelo Corpo de Bombeiros. Para prevenir acidentes que podem colocar os funcionários em risco, recomenda-se a utilização de equipamentos que detectam presença de gás no ambiente e promovem alívio da pressão no biodigestor e na tubulação, como o registro de gaveta e válvula de pressão.

5 CONCLUSÕES

De acordo com as definições deliberadas na PNRS, é possível concluir que o procedimento de estabilização da matéria orgânica e sua conversão em adubos e fertilizantes consiste em um processo de reciclagem. Conseqüentemente, resíduos orgânicos não devem ser classificados precipitadamente como rejeitos, e parte da estratégia de uma gestão eficaz de RSU sólidos consiste no tratamento dos resíduos orgânicos, em qualquer escala, seja ela domiciliar, comunitária, institucional, industrial ou municipal.

O projeto proposto configura uma alternativa viável, à medida que apresenta vantagens amparadas pelos conceitos da sustentabilidade, e atende as necessidades da empresa, configura uma solução diante dos atuais problemas da compostagem. Ainda, acredita-se que posteriormente o biodigestor será capaz de atender a demanda integral da geração de resíduos orgânicos da unidade, promovendo a melhoria da salubridade do local, das condições de higiene, dos ganhos de produtividade do operador, da obtenção de adubo natural com qualidade superior ao atual e do aproveitamento energético do biogás para as demandas locais, por meio da provisão de iluminação local e do acionamento das bombas da ETE.

O projeto contribui com iniciativas da área de educação ambiental realizados com as comunidades interna e externa, e representa uma inovação para as empresas do ramo da mineração e da forma de tratamento dos resíduos orgânicos no setor industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. A.; MELO, R. J. S.; VIDIGAL, R. C. Eficientização energética da Fazenda Exp, PUC-MINAS – biodigestor de baixo custo. IV Encontro de Energia no Meio Rural. 2002.

ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R.N.; SILVA, L. G. S.; ELIAS, M. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. IV Encontro de Energia no Meio Rural. 2002.

ANTONELLI, J.; LINDINO, C. A.; AZEVEDO, J. C. R.; SOUZA, S. N. M.; CREMONEZ, P. A.; ROSSI, E. Produção de biogás por digestão anaeróbia do soro do leite. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 39, n. 3. Lisboa, 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15087>> Acesso em: 03 mai. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.303 **Instalação de aparelhos a gás para uso residencial**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9061 **Segurança de escavação a céu aberto**. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14.001 **Sistema de Gestão Ambiental**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR10.004 **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, T. D. Biogás. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, Campinas, Árvore do Conhecimento: Agroenergia. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

BELIK, W.B.; DE ALMEIDA CUNHA, A. R. A.; COSTA, L. A. Crise dos alimentos e estratégias para a redução do desperdício no contexto de uma política de segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 38. 2012.

BONTURI, G. L.; VAN DIJK, M. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. **Revista Ciências do Ambiente Online**, n.20. 2012. Disponível em: <http://www.ib.unicamp.br/dep_biologia_animal/BE310>. Acesso em: 09 mai. 2009.

BRASIL, A. Os três pilares da sustentabilidade: como o desenvolvimento econômico pode contribuir para os negócios, a natureza e a sociedade. **Estadão**, Mai. 2017, Economia & Negócios. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/blogs/ecoando/os-tres-pilares-da-sustentabilidade-como-o-desenvolvimento-economico-pode-contribuir-para-os-negocios-a-natureza-e-a-sociedade/>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010.** Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 jun. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm>. Acesso em: 11 abr. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 7.404, 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. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 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, Edições Câmara: Série Legislação, Brasília, v. 81, 2 ed., mai. 2012. Disponível em: <COLOCAR O SITE>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 05 jan. 2007. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 11 abr. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013.** Altera a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 dez. 2013. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm> Acesso em: 11 abr. 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.** Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 dez. 1980. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1980-1988/L6894.htm> Acesso em: 10 abr. 2019.

CAVALCANTI, C. Uma tentativa de caracterização da economia ecológica. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 1, p. 149-156. 2004.

CAVALLET, L.E.; CARVALHO, S.G.; FORTES NETO, P.. Metais pesados no rejeito e na água em área de descarte de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ambiente Água**, v. 8, n. 3, p. 229-238. 2013.

CELERE, M. S. C.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São

Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, 2007.

CEMIG. **Simulador de Consumo**. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Documents/SimuladorDeConsumo/Cemig%20-%20Estime%20seu%20Consumo2.htm>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

CHIEMCH AISRI, C.; CHIEMCH AISRI, W.; NONTHAPUND, U.; SITTICHOKTAM, S. Acceleration of solid waste biodegradation in tropical landfill using bioreactor landfill concept. *In: WASTE. 5th Asian Symposium on Academic Activities for Waste Management*. Asian. p. 9–12. 2002.

COELHO, P. **Biodigestores contínuos e de batelada**. 2012. Disponível em: <<https://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>>. Acesso em: 11 mai. 2019.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001**. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Diário Oficial da União, 19 jun. 2001. Seção 1, p. 80.

COPAM. **Deliberação Normativa COPAM nº 172, de 22 de dezembro de 2011**. Institui o Plano Estadual de Coleta Seletiva de Minas Gerais. Diário Executivo, Belo Horizonte, MG, 22 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=20096>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e Batelada. IV Encontro de Energia no Meio Rural. Bauru, 2002.

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*.

FRIEHE, J.; WEILAND, P.; SCHATTAUER, A. Fundamentals of anaerobic digestion. *In: Guide to Biogas From production to use. 5th completely revised edition, Gülzow. Eschborn, Germany: Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV); Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2010. p. 21-30. 2010*.

FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G. & FRIGO, E. P. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, v.4, n.1, p, 57-65. 2015.

FUKAYAMA, E., H. **Características Quantitativas e Qualitativas da Cama de Frango Sob Diferentes Reutilizações**: Efeitos na Produção de Biogás e Biofertilizante. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Pós-graduação em Zootecnia. Jaboticabal, 2008.

GASPAR, R., M., B., L. **Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais, com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo- PR.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2003.

GOUVÊA, M. **Biodigestor: a destinação perfeita para seus resíduos orgânicos.** Disponível em: < <https://emasjr.com.br/2017/06/25/biodigestor-residuos-organicos/>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

HARGROVES, K. & SMITH, M. (Editors). **The Natural Advantage of Nations: Business Opportunities, Innovation and Governance in the 21st Century.** Hardback: Earthscan/James&James. 2005

HJORT-GREGERSEN, K.; BLANDFORD, D. & GOOCH, C. A. Biogas from Farm-based Biomass Sources. **EuroChoices**, v. 10, n. 3, p. 18-23. 2011. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1746-692X.2011.00211.x>> Acesso em: 24 abr. 2019.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília, 2012. Disponível em: < http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2019.

JORGE, L., H., A.; OMENA, E. **Biodigestor.** Dossiê Técnico. SENAI/ AM- Escola SENAI Antônio Simões. Março, 2012. 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: 18 abri. 2019.

JUNIOR, E. G.; CARROCI, L. R.; SILVEIRA, J. R. C.; GIACAGLIA, G. E. O. Biodigestores associados à sistema de cogeração para o aproveitamento do biogás produzido a partir de resíduos de suinocultura. IV Encontro de Energia no Meio Rural. 2002.

KIEHL, C.J. Produção de composto orgânico e vermicomposto. **Informe Agropecuário**, v.22, n.212, p.40-42, 47-52, Belo Horizonte, 2001.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.** 4 ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba: E. J. Kiehl, 1998.

KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985.

LUNA, F. M.; BORGES, F. F.; ALBUQUERQUE, G. N. P.; LUNA, A. A. C. Biodigestor Sertanejo Selado: Uma tecnologia social inovadora que evita emissão de gás metano para o meio ambiente. II CONIDIS, Campina Grande, PB. 2017.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979.

MAPA. **Instrução Normativa nº 25, de 27 de junho de 2017**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/semntes-e-mudas/publicacoes-semntes-e-mudas/copy_of_INN25de27dejunhode2017.pdf>. Acesso 11 abr. 2019.

MATTOS, L. C.; JÚNIOR, M. F. **Manual do biodigestor sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011.

MINAS GERAIS. **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Diário do Executivo, Belo Horizonte, MG, 13 jan. 2009. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>> Acesso em: 11 abr. 2019.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Deferimento da Licenciamento Ambiental nº 355/1998/009/2011 e concessão da Outorga nº 2969/2011**, Unai, MG, 06 mai. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Gestão de resíduos. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixos-tematicos/gest%C3%A3o-adequada-dos-res%C3%ADduos.html>> Acesso em: 11 abr. 2019

MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**: versão preliminar para consulta pública. Brasília, DF, Set. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Pós-Graduação em solos e nutrição de plantas. Piracicaba-SP, 2008.

ORRICO, A. C. A.; LOPES, W. R. T.; MANARELLI, D. M.; JUNIOR, M. A. P. O.; SUNADA, N. S. Codigestão anaeróbia dos dejetos de bovinos leiteiros e óleo de descarte (Anaerobic co-digestion of dairy cattle manure and waste oil). **Engenharia Agrícola**, vol. 36, n. 3, p. 537-545. Jaboticabal, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p537-545/2016>>. Acessado em: 27 abr. 2019.

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 18 abr. 2019.

PINTO, P., H., M. **Tratamento de Manipueira de Fecularia em Biodigestor Anaeróbio para Disposição em Corpo Receptor, Rede Pública ou uso em Fertirrigação**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrônomicas-Universidade Estadual Paulista. Pós-Graduação em Energia na Agricultura. Botucatu, 2008.

PORTER, M. E. From Competitive Advantage to Corporate Strategy. **Harvard Business Review**, p. 43-59, 1987.

SALES FILHO, I. O. **Avaliação da Toxicidade e Remoção de Matéria Orgânica de Efluente de Biodigestor de Resíduos Sólidos Orgânicos Tratado em Wetlands.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru, 2014.

SILVA, A. M.; SILVA, C. P.; PESSINA, E. L. Avaliação do índice de resto ingesta após campanha de conscientização dos clientes contra o desperdício de alimentos em um serviço de alimentação hospitalar. **Revista Simbio-Logias**, v. 3, n. 4, p. 43-56. 2010.

SOUZA, K. C. G. **Modelo de simulação para análise da viabilidade de geração de energia a partir da utilização de biodigestores.** UFMS. s.l. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Programas de Pós-graduação da CAPES, 2010.

SUZUKI, A. B. P.; FERNANDES, D. M.; FARIA, R. A. P.; VIDAL, T. C. M. Uso de biogás em motores de combustão interna. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.1, p. 221–237, Guarapuava-PR. 2011.

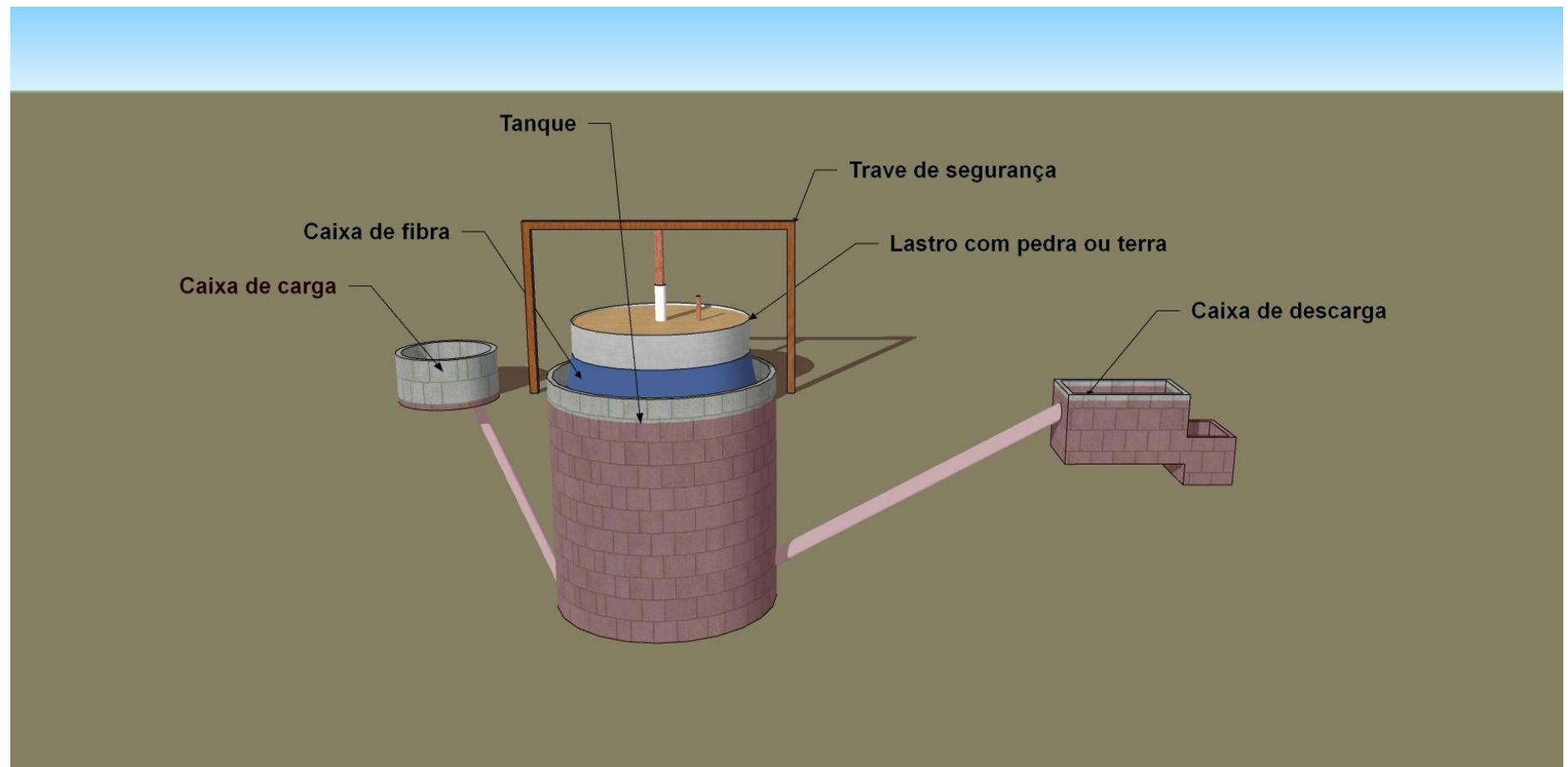
TARRENTO, G. E., MARTINES, J. C. **Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa.** In: SIMPEP. Bauru, SP. 2006.

TEGHMMAR, A.; FORGÁCS, G.; SÁRVÁRI, I.; TAHERZAEH, M. J. Techno-economic study of NMMO pre-treatment and biogas production from forest residues. **Applied Energy**, v. 116, p. 125-133, 2014. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.11.053>> Acesso em: 30 abr. 2019.

YOUNG, L.; HAMSHIRE, J. **Promoting Practical Sustainability.** Australian Agency for International Development (*AusAID*). Canberra-Austrália. 2000.

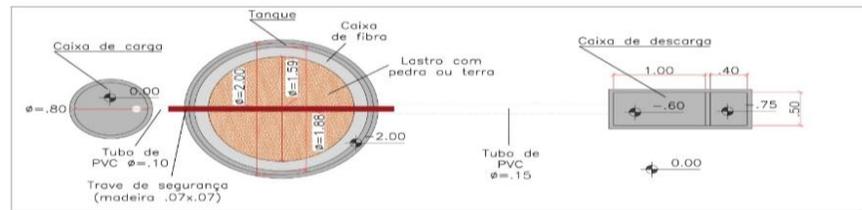
6 ANEXOS

6.1 Anexo 1. Imagem em 3D do projeto do biodigestor Sertanejo concluído

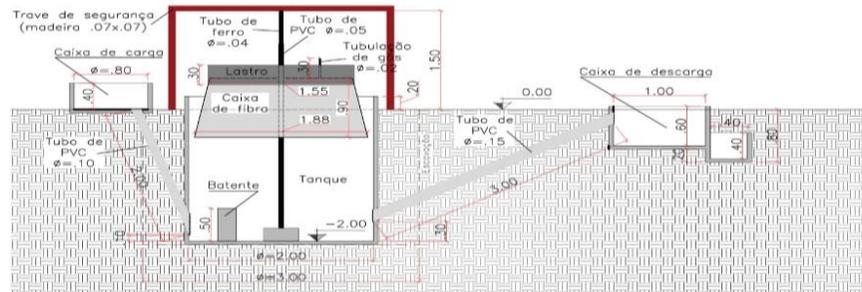


Fonte: Do Autor (2019).

Anexo 2. Vista superior e planta baixa do projeto do biodigestor Sertanejo



Vista superior
esc 1:50



Vista lateral
esc 1:50



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

DISCIPLINA:	PRG219 - Trabalho de Conclusão de Curso	ESCALA:	1/50
ASSUNTO:	Projeto de Biodigestor Sertanejo para tratamento de resíduos sólidos orgânicos	FOLHA:	1/1
ALUNO:	Flávia Araujo França	MATRICULA:	201311188
		DATA:	16/05/2019

Fonte: Do Autor (2019).