

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL – CAMPUS FELIZ  
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**BRENDA SCHERNER PROVIN**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE USO DO BIODIGESTOR NA  
PRODUÇÃO DE SUCO DE UVA EM PEQUENA PROPRIEDADE**

**FELIZ  
2021**

**BRENDA SCHERNER PROVIN**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE USO DO BIODIGESTOR NA  
PRODUÇÃO DE SUCO DE UVA EM PEQUENA PROPRIEDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Química do Instituto Federal  
de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio  
Grande do Sul.

Área da Engenharia Química: Tecnologia  
Química

Subárea: Tratamentos e Aproveitamento  
de Rejeitos

Orientador: Prof. Me. Eduardo  
Echevengú Barcellos.

**FELIZ**

**2021**

**BRENDA SCHERNER PROVIN**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE USO DO BIODIGESTOR NA PRODUÇÃO DE  
SUCO DE UVA EM PEQUENA PROPRIEDADE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Química.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dra. Nicéia Chies da Fré

---

Prof. Dra. Cristiane Inês Musa

**ORIENTADOR**

---

Prof. Me. Eduardo Echevengúá Barcellos

Feliz, 30 de março de 2021.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais Wanderlei e Carmem (in memoriam), meus maiores incentivadores e que mesmo sem estarem presentes fisicamente iluminam meus passos.

Aos meus irmãos Paolo, Samantha, Gustavo e Samuel pela amizade e atenção dedicadas sempre quando precisei.

Ao meu namorado Dener, por todo apoio, paciência e compreensão. Obrigada pela atenção e por entender minha ausência em alguns momentos.

Aos sobrinhos, tios e avós que de alguma forma contribuíram para que o sonho da faculdade se tornasse realidade.

A todos amigos da graduação que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos.

Ao meu orientador Eduardo Barcellos, que esteve ao meu lado neste momento importante, não medindo esforços para me ajudar e me aconselhar.

A todos os professores que passaram em minha formação, pelo conhecimento e exemplos.

## RESUMO

O Estado do Rio Grande do Sul, principalmente a região da serra, possui grande cultivo de uvas destinado a produção de suco. O processo produtivo do suco de uva é composto basicamente por oito etapas e gera entre 20 a 25% de resíduo orgânico que pode ser aproveitado como fonte de energia. Energia essa que é necessária nas etapas de aquecimento e pasteurização, para que o produto adquira cor e sabor. A digestão anaeróbia é uma maneira de possibilitar o tratamento dos resíduos e ainda prover a geração de energia através do biogás, que possui composição majoritariamente de metano e dióxido de carbono, sendo uma abordagem promissora para a valorização sustentável dos recursos. Com isso, este estudo propõe-se a analisar a viabilidade da produção de biogás em uma pequena propriedade produtora de suco de uva, utilizando os resíduos da produção e dejetos de animais da propriedade. Durante uma entrevista para coleta de dados, verificou-se que em média se produz 3540 litros de suco de uva por ano, sendo necessários 435,25 m<sup>3</sup> de biogás para essa produção. Ao utilizar esterco bovino e o bagaço da uva tem-se uma produção de 640,8 m<sup>3</sup> de biogás por ano, utilizando um reator descontínuo de 3 m<sup>3</sup> de volume. Conclui-se de tal modo a viabilidade do processo utilizando o bagaço da uva e o dejetos de animais.

**Palavras-chave:** Biodigestor. Bagaço de uva. Biogás.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção do suco de uva.....	14
Figura 2 - Extrator de suco, a) recipiente com tampa para colocar a uva; b) recipiente do suco e c) depósito de água. ....	15
Figura 3 - Etapas da digestão anaeróbia.....	20
Figura 4 - Faixas de temperatura associadas ao crescimento microbiano.....	21
Figura 5 - Esquema do processo de digestão seca .....	25
Figura 6 - Biodigestor batelada .....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo da produção de uvas destinadas a industrialização no Estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2015 e 2019 .....	11
Tabela 2 - Produção do suco de uva na safra de 2019 no Estado do Rio Grande do Sul .....	12
Tabela 3 - Composição típica do biogás .....	27
Tabela 4 - Equivalência energética de 1 m <sup>3</sup> de biogás.....	27
Tabela 5 – Quantidade de suco de uva produzido na propriedade .....	34
Tabela 6 - Dados dos resíduos a serem utilizados na geração do biogás .....	35

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de geração de biogás.....	26
--	----



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1	Objetivo geral .....	10
2.2	Objetivos específicos .....	10
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
3.1	Produção de uvas e do suco de uva .....	11
3.2	Processamento do suco de uva.....	13
3.3	Resíduos orgânicos .....	16
3.3.1	Resíduos da uva .....	16
3.3.1	Dejeto de animais .....	17
3.4	Tratamentos dos resíduos orgânicos .....	17
3.5	Digestão anaeróbia .....	19
3.6	Sistemas de geração de biogás .....	23
3.6.1	Reatores de mistura contínua (CSTR) .....	24
3.6.2	Reator contínuo de digestão seca .....	24
3.6.3	Reator descontínuo de digestão seca .....	25
3.7	Biogás 26	
3.8	Tecnologias para o aproveitamento de biogás .....	27
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
4.1	Estimativa da produção de biogás .....	29
4.2	Dimensionamento do sistema de geração de biogás .....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>34</b>
5.1	Estimativa de biogás necessário para a produção do suco de uva .....	34
5.2	Caracterização dos resíduos.....	35
5.3	Estimativa da produção de biogás .....	35
5.4	Dimensionamento do sistema.....	38
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A primeira plantação de videira no Brasil foi feita pelos colonizadores portugueses em meados de 1500. No Estado do Rio Grande do Sul, o plantio iniciou pela uva Isabel sendo a Serra Gaúcha a principal região produtora no Estado, com a colheita realizada entre janeiro e fevereiro (PROTAS; CAMARGO, 2008). No ano de 2019, 614.279,205 toneladas de uva foram destinadas a industrialização (SISDEVIN, 2019).

As variedades mais utilizadas na produção do suco são a Concord, Isabel e Bordô (RIZZON; MENEGUZZO, 2007). O suco pode ser classificado como integral, adoçado e reprocessado ou reconstituído (PROTAS; CAMARGO, 2008).

A produção do suco de uva consiste nas seguintes etapas: recebimento da uva, separação do ráquis e esmagamento da uva, aquecimento da uva, extração do suco da uva, clarificação, pasteurização, engarrafamento e armazenamento. Nas etapas de separação do ráquis e na extração do suco da uva têm-se a geração do resíduo, também chamado de bagaço (RIZZON; MENEGUZZO, 2007). O sistema geralmente utilizado para a produção de suco de uva, por pequenos produtores, é a panela extratora, onde são interligadas as panelas, que são as de depósito de água e a panela perfurada onde a uva é adicionada (MARCON, 2013).

Os resíduos agrícolas são considerados recursos promissores de energia renovável (ACHKAR et al., 2016), neles estão incluídos os bagaços da produção do suco de uva. Grande parte desse resíduo é desperdiçado, sendo que apresenta ótimas propriedades permitindo agregar valor quando utilizado como um subproduto da produção ou fonte de renda se vendido para outros produtores. O bagaço da uva é composto de semente, casca e engaço da uva (CAMPOS, 2005).

A pecuária leiteira tem grande relevância no agronegócio, porém gera um volume considerável de dejetos diariamente, o que contribui negativamente para a degradação ambiental. Os dejetos da pecuária têm grande possibilidade de utilização na geração de biogás. (AMARAL et al., 2004).

Com a digestão anaeróbia, o potencial dos resíduos orgânicos pode ser explorado, sendo uma abordagem promissora para a valorização sustentável dos recursos. É um processo dividido em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, que transformam a matéria orgânica em biogás e

biofertilizante (ACHKAR et al., 2016). Para melhor eficiência do processo, o controle de alguns fatores são importantes na biodigestão como pH, temperatura, nutrientes, tempo de retenção (CHERNICHARO, 2016).

A biodigestão é uma forma de tratamento anaeróbio, ou seja, sem a utilização de oxigênio, podendo ser realizado através de reatores de mistura contínua (CSTR), o qual apresenta a versão básica e a versão avançada ou por reatores de digestão seca podendo ser contínuo ou descontínuo (SNSA, 2015).

Para o aproveitamento do biogás, pode ser utilizado motor a gás estacionário que gera energia elétrica e térmica, caldeiras a gás para gerar energia térmica ou a injeção do biogás na rede de gás natural para gerar energia elétrica, térmica ou energia veicular (SNSA, 2015).

Diante do exposto, considerando o potencial do tratamento anaeróbio dos resíduos orgânicos, este trabalho visa apresentar esta forma de tratamento como uma solução para os resíduos sólidos da produção do suco de uva em pequenas propriedades e do dejetos de animais, e o aproveitamento energético do biogás gerado no processo, viabilizando a produção do suco de uva.

Para viabilizar o processo, se propõe calcular os gastos energéticos na produção do suco, estimar a produção do biogás gerado a partir do resíduo da uva e do esterco bovino, e então, dimensionar um sistema de metanização a seco em um reator descontínuo para a digestão dos resíduos e a geração do biogás. Se trata de uma alternativa que tem como resultado o tratamento adequado dos resíduos orgânicos gerados na propriedade, na geração de biofertilizantes e na diversificação da matriz energética.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar a viabilidade da produção do suco de uva em pequena propriedade por meio do tratamento de resíduos em biodigestores.

### **2.2 Objetivos específicos**

No intuito de atingir o objetivo geral, abaixo estão listadas as etapas necessárias.

- Coletar dados de uma pequena propriedade produtora de suco de uva;
- Estimar a produção de biogás pelo processo de digestão anaeróbica;
- Analisar a viabilização do processo;
- Dimensionar um biodigestor para o processo.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Produção de uvas e do suco de uva

A primeira plantação de videira no Brasil foi feita pelos colonizadores portugueses em meados de 1532 no atual Estado de São Paulo, a partir disso a viticultura expandiu-se para outras regiões do país. No Estado do Rio Grande do Sul, o plantio iniciou pela uva Isabel, se tornando a base para o desenvolvimento e, com isso, estímulos governamentais foram implantados para incentivar o cultivo (PROTAS; CAMARGO, 2008).

A principal região produtora de uvas no Estado do Rio Grande do Sul é a da Serra Gaúcha, localizada no nordeste do Estado, sendo considerada a maior região vitícola do país. No caso das propriedades familiares, a produção é pequena e pouco mecanizada por conta da topografia irregular, onde predomina o uso da mão-de-obra familiar. As condições ambientais causam um período de repouso hibernar à videira, onde a poda é realizada entre julho e agosto e a colheita, na sua maioria, é realizada entre janeiro e fevereiro (PROTAS; CAMARGO, 2008).

Com a grande produção de uvas na região da serra, ocorre também, uma maior concentração de uvas destinadas ao processamento para a elaboração de vinhos e sucos de uva. Na Tabela 1, tem-se o comparativo da produção de uvas destinadas a industrialização entre os anos de 2015 e 2019.

Tabela 1 - Comparativo da produção de uvas destinadas a industrialização no Estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2015 e 2019

Ano	Quantidade (toneladas)
2015	703.271,388
2016	300.298,847
2017	752.495,050
2018	664.205,024
2019	614.279,205

Fonte: SISDEVIN – Sistema de Cadastro Vinícola - Secretaria Estadual da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, 2019

As principais variedades de uvas utilizadas na produção do suco de uva são a Concord, Isabel e Bordô. A uva Concord é uma variedade cultivada para a produção de sucos e também para a produção de vinho, dá origem ao suco mais procurado pelo consumidor, pois mantém as características de uva fresca ao longo das etapas do processamento. A uva Isabel é a mais difundida nos vinhedos da Serra Gaúcha, sendo que origina um suco de menor intensidade aromática e de cor em relação à Concord. A uva Bordô tem uma boa aceitação pelos viticultores, pois apresenta alta resistência a doenças e tem boa produtividade, no suco ela aumenta a intensidade da cor (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

Conforme Protas e Camargo (2008), o suco de uva pode ser classificado como:

- Suco de uva integral: o açúcar provém exclusivamente da uva, não podendo ser aplicada qualquer substância adoçante;
- Suco de uva adoçado: é adicionada uma parte de sacarose;
- Suco de uva reprocessado ou reconstituído: é obtido através da diluição do mosto concentrado.

Na Tabela 2, tem-se a produção de suco de uva na safra de 2019 no Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 2 - Produção do suco de uva na safra de 2019 no Estado do Rio Grande do Sul

<b>Produtos</b>	<b>Quantidade (litros)</b>
Suco de uva adoçado	120.320
Suco de uva integral branco	1.664.175
Suco de uva integral rosado	70.795
Suco de uva integral tinto	48.504.797
Suco de uva reconstituído	584.256
<b>Total de suco de uva</b>	<b>50.944.343</b>

Fonte: SISDEVIN/SDA – Sistema de Cadastro Vinícola - Secretaria Estadual da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, 2019

No ano de 2015, na produção de uvas destinadas à industrialização no Estado do Rio Grande do Sul, de 703.271,05 toneladas, 0,39% (2.742,75 toneladas) foi

produzida e processada pela própria cantina rural para consumo próprio (MELLO; MACHADO, 2017).

### **3.2 Processamento do suco de uva**

O processo de fabricação do suco de uva tem influência nas características da bebida. O sabor e o aroma são fatores importantes na determinação da qualidade do suco de uva, assim como a cor e a limpidez (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

Na Figura 1 tem-se o fluxograma das etapas do processo de elaboração do suco de uva. No recebimento, a uva é analisada, pois é importante para a qualidade do suco que a uva tenha sido colhida recentemente, mantida no abrigo de sol, esteja inteira e sem resíduos de poeira. A separação da ráquis é realizada, pois ela interfere negativamente na composição do mosto, diluindo o suco e tem gosto amargo. O objetivo do esmagamento é para contribuir na extração de cor, aumentando a superfície de contato entre o mosto e a parte sólida (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

No aquecimento, a temperatura mínima deve ser de 65°C e não pode ultrapassar 90°C, para não atribuir gosto de cozido ao suco da uva. Após o período de aquecimento, quando o suco adquiriu a intensidade de cor e o equilíbrio gustativo, é necessário separá-lo da parte sólida da uva. Em seguida, é realizada a clarificação para a retirada das turvações e precipitações do suco de uva, que são causadas pelas pectinas, bitartarato de potássio e tartarato de cálcio (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

A pasteurização se caracteriza pelo aquecimento moderado do suco e, em seguida, o resfriamento no recipiente utilizado para o engarrafamento. A última etapa é o engarrafamento, onde o suco ainda quente é engarrafado. O armazenamento deve ser feito em local seco, isento de cheiros desagradáveis e sem incidência de luz direta (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

Venturini (2016) diferencia o processo de produção do suco de uva através do modo de extração, podendo ser pelo processo Flanzy ou Welch. O processo Flanzy, ou sulfitação, consiste na maceração sulfurosa da uva por alguns dias para extrair a cor e, posteriormente é feita a extração do mosto, sendo conservado em recipientes até ser comercializado, sendo dissulfitado e engarrafado.

No processo Welch, a extração é feita pelo aquecimento da uva, separação do suco, estabilização e engarramento. Esse processo pode ser realizado por meio de trocadores de calor ou painelas extratoras com arraste de vapor (VENTURINI, 2016).

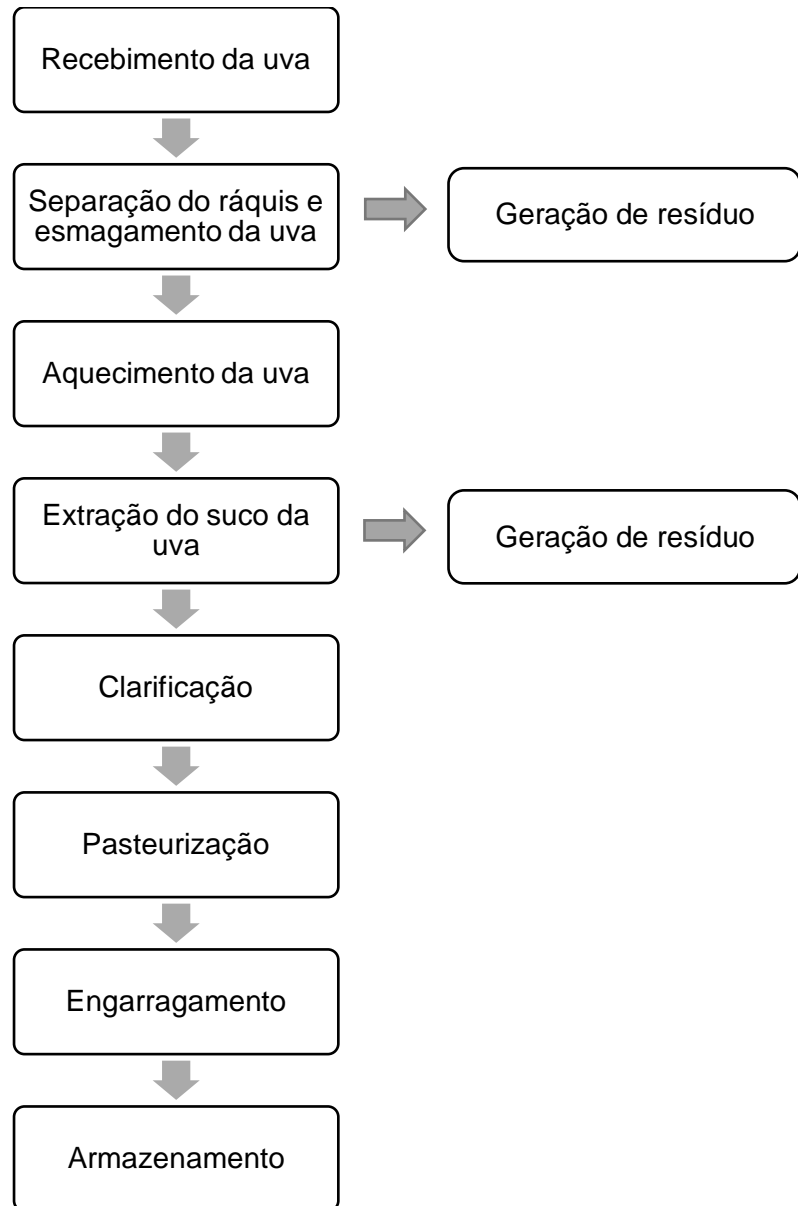


Figura 1 - Fluxograma do processo de produção do suco de uva

Fonte: Adaptado de Rizzon e Meneguzzo (2007)

As etapas do processo para o método da panela extratora, utilizada por pequenos produtores, são os de recebimento da uva, separação dos ráquis, aquecimento, extração do suco, a pasteurização, o engarramento e o armazenamento. Esse método consiste em painelas interligadas. No equipamento,



tem-se um depósito de água que gera vapor necessário para a extração do mosto da uva. A água pode ser aquecida através de caldeira, gás ou vaso de aquecimento (MARCON, 2013).

O equipamento é formado por três partes principais, conforme a Figura 2:

a - Recipiente perfurado com tampo, onde a uva é colocada;

b - recipiente maior, com abertura no centro para a passagem do vapor e abertura lateral para o engarrafamento do suco;

c - depósito de água que gerará vapor para a extração do mosto da uva.



Figura 2 - Extrator de suco, a) recipiente com tampa para colocar a uva; b) recipiente do suco e c) depósito de água.

Fonte: Rizzon, Manfroi e Meneguzzo (1998)

Primeiramente, se coloca a água no depósito até o nível indicado. A uva desengaçada é alocada no recipiente perfurado, sendo encaixado no recipiente externo e ambos são colocados sobre o depósito da água. Após aquecer por 10 a 20 minutos, o suco de uva começa a fluir através do tubo de saída. O primeiro suco não apresenta a temperatura mínima de 75°C necessária para o engarrafamento antisséptico, por conta disso, é recolocado sobre a uva. À medida que o vapor extrai

o suco, ele é acumulado no fundo do recipiente e engarrafado a quente. O rendimento do suco de uva, nesse processo, é entre 50% e 60% em peso da uva (RIZZON; MANFROI; MENEGUZZO, 1998).

### **3.3 Resíduos orgânicos**

Os resíduos orgânicos são constituídos por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas, possuindo várias origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos e entre outras), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017).

As frações orgânicas de resíduos agrícolas, resíduos de animais e restos de alimentos são consideradas recursos promissores para a produção de energia renovável (ACHKAR et al., 2016).

#### **3.3.1 Resíduos da uva**

O bagaço da uva é um resíduo que provém a partir do processo de produção do suco de uva e é composto pela semente, casca e engaço da uva. De acordo com Cáceres et al. (2012), é um resíduo orgânico de alta resistência, com baixos níveis de nitrogênio e fósforo, os quais são suficientes para o crescimento bacteriano.

Segundo Yu e Ahmedna (2012), o bagaço representa cerca de 20 a 25 % do peso da uva esmagada para a produção. De acordo com Nascimento Filho e Franco (2015), o bagaço representa cerca de 20% da massa da uva processada, formado por 58% de cascas, 20% de engaços e 22% de sementes.

O engaço trata-se da armação do cacho de uva que sustenta o fruto, se constitui em cerca de 3,5 a 4,5% da massa total da uva e contém um teor de 50% de umidade. Por conta de sua composição, o engaço é impróprio para utilização como alimento para gado, sua biomassa pode ser utilizada em produtos de valor agregado, como energia, combustíveis, na produção de papel e de materiais de construção, representando uma alternativa para os produtos obtidos a partir de recursos fósseis (SILVA, 2003; PROZIL et al., 2013).

O resíduo gerado após a prensagem dos grãos da uva para a extração final do suco é constituído por cascas, sementes e uma quantidade residual de engaço. Apresenta na sua composição química teores de umidade inferiores a 13% e celulose inferior a 22% (SILVA, 2003).

As sementes constituem de 20 a 25% do peso do bagaço e representa 3% em relação ao peso da uva. Possuem um teor de 10 a 11% de óleo, o qual pode ser extraído e utilizado como matéria-prima para cosméticos, na indústria farmacêutica e como combustível (SILVA, 2003).

De acordo com Besinella et al. (2017), o bagaço de uva contém 35% de sólidos totais e 90% de sólidos voláteis e produz entre 160 e 200 m<sup>3</sup>/ (tonelada de sólidos voláteis) de biogás.

### 3.3.1 Dejeito de animais

A pecuária leiteira tem grande relevância no agronegócio, no entanto, gera um volume considerável de dejetos diariamente, o que contribui negativamente para a degradação ambiental. O manejo inadequado dos dejetos, que são ricos em matéria orgânica e agentes patogênicos, pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, devido ao carreamento desse material pela ação das chuvas (AMARAL et al., 2004).

Como alternativa, para minimizar os impactos causados por esses dejetos no meio ambiente, é utilizada a biodigestão anaeróbia. A biodigestão representa uma alternativa para o tratamento dos resíduos, pois permite a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários, promove a geração de biogás e o efluente pode ser utilizado como biofertilizante (AMARAL et al., 2004).

## 3.4 Tratamentos dos resíduos orgânicos

Os resíduos agroindustriais são tratados como subprodutos obtidos a partir do processamento industrial de alimentos. Com a grande atividade agrícola do Brasil, a geração desses resíduos se torna uma busca de alternativas para a utilização da matéria orgânica (CATANEO et al., 2008). Algumas alternativas são a compostagem,

a alimentação animal, a utilização na indústria farmacêutica, de alimentos e de cosméticos e a digestão anaeróbia.

A compostagem é a decomposição da matéria orgânica na presença de micro-organismos, umidade e oxigênio sendo transformados em carboidratos, lipídeos, proteínas, celulose e ligninas. A eficácia do tratamento depende do controle e da adequação de nutrientes, aeração, temperatura, umidade e pH. O tratamento por este método tem um tempo médio de 3 a 4 meses (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009).

Conforme Rocha, Rosa e Cardoso (2009), como vantagem, a compostagem gera um composto que pode ser utilizado como adubo ou em rações para animais, além de reduzir a quantidade de resíduos que iriam ser dispostos em aterros. Como desvantagem, o mau cheiro devido à falta de oxigênio proporcionado ao tratamento quando mal aplicado e a proliferação de insetos e roedores, produzindo chorume e compostos com baixa qualidade e contaminados por plásticos e metais.

A indústria de alimentos e de cosméticos pode ter interesse em componentes encontrados nos resíduos da uva, principalmente, casca e sementes, uma vez que foram encontrados agentes com características antioxidantes funcionais (MELLO; SILVA, 2014).

Como tratamento para resíduos orgânicos, a digestão anaeróbica pode ser considerada como um processo tecnológico bioquímico, podendo ser utilizada em esgotos e efluentes industriais ou substratos sólidos, como resíduos agrícolas ou resíduos alimentares. Esse processo recebeu atenção crescente nos últimos anos, pois envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica complexa por uma união de microrganismos, os quais geram o biogás, que é rico em energia e que pode ser utilizado como energia renovável, substituindo as fontes de energia fóssil (RAPOSO et al., 2012).

A digestão anaeróbia é considerada uma fonte competitiva para a produção de energia renovável no que diz respeito à eficiência e ao custo. O presente trabalho propõe o uso da digestão anaeróbica para o tratamento dos resíduos da uva, sendo detalhado no capítulo seguinte.

### 3.5 Digestão anaeróbia

Diante das alternativas de tratamentos de resíduos sólidos, a digestão anaeróbica é um método eficaz, os subprodutos produzidos podem agregar valor e o tratamento parcial dos resíduos diminui os impactos ambientais (GLATZ; MIAO; RODDA, 2011).

De maneira geral, a digestão anaeróbia pode ser resumida em quatro estágios: pré-tratamento, digestão dos resíduos, recuperação do biogás e o tratamento dos resíduos. O pré-tratamento é para a separação ou triagem dos materiais não biodegradáveis, seguido por uma trituração. Ao ser adicionada ao biodigestor, a massa é diluída para obter o conteúdo de sólidos desejado e permanece no digestor por um determinado tempo de retenção. O biogás obtido é purificado e armazenado. O biossólido restante deve ser curado aerobiamente para obter um composto de qualidade (REICHERT, 2005).

Ros et al. (2016) destacam que a digestão anaeróbica é adequada para tratar os resíduos da uva, pois estabiliza os resíduos enquanto produz biogás, apesar dos baixos níveis de nitrogênio e fósforo. O processo também remove poluentes orgânicos, como os polifenóis, e com o uso adequado do biogás para a geração de energia pode reduzir as emissões de gases do efeito estufa.

A digestão anaeróbica pode ser considerada um ecossistema, onde grupos de microrganismos fazem a conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas (CHERNICHARO, 2016).

De acordo com Chernicharo (2016), a digestão anaeróbia ocorre em quatro fases:

**Hidrólise:** a primeira fase da digestão anaeróbia consiste na hidrólise de materiais orgânicos complexos em materiais dissolvidos mais simples, essa conversão é conseguida através da ação de exoenzimas liberadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Os subprodutos dessa etapa são açúcares, aminoácidos, ácidos graxos e acetato.

**Acidogênese:** os compostos já reduzidos são novamente simplificados, mas dessa vez pela ação de bactérias acidogênicas. Os subprodutos formados nessa

etapa são ácidos orgânicos, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio, além de novas células bacterianas.

**Acetogênese:** as bactérias acetogênicas atuam nos produtos gerados na fase de acidogênica, transformando em substratos apropriados para a etapa seguinte, que são ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono.

**Metanogênese:** etapa final do processo global de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono a qual é efetuada por dois grupos de microrganismos metanogênicos. A produção do metano se dá pela conversão do ácido acético (bactérias acetotróficas) e no outro caso pela conversão do hidrogênio e dióxido de carbono (bactérias hidrogenotróficas).

As etapas da digestão anaeróbia podem ser verificadas na Figura 3.

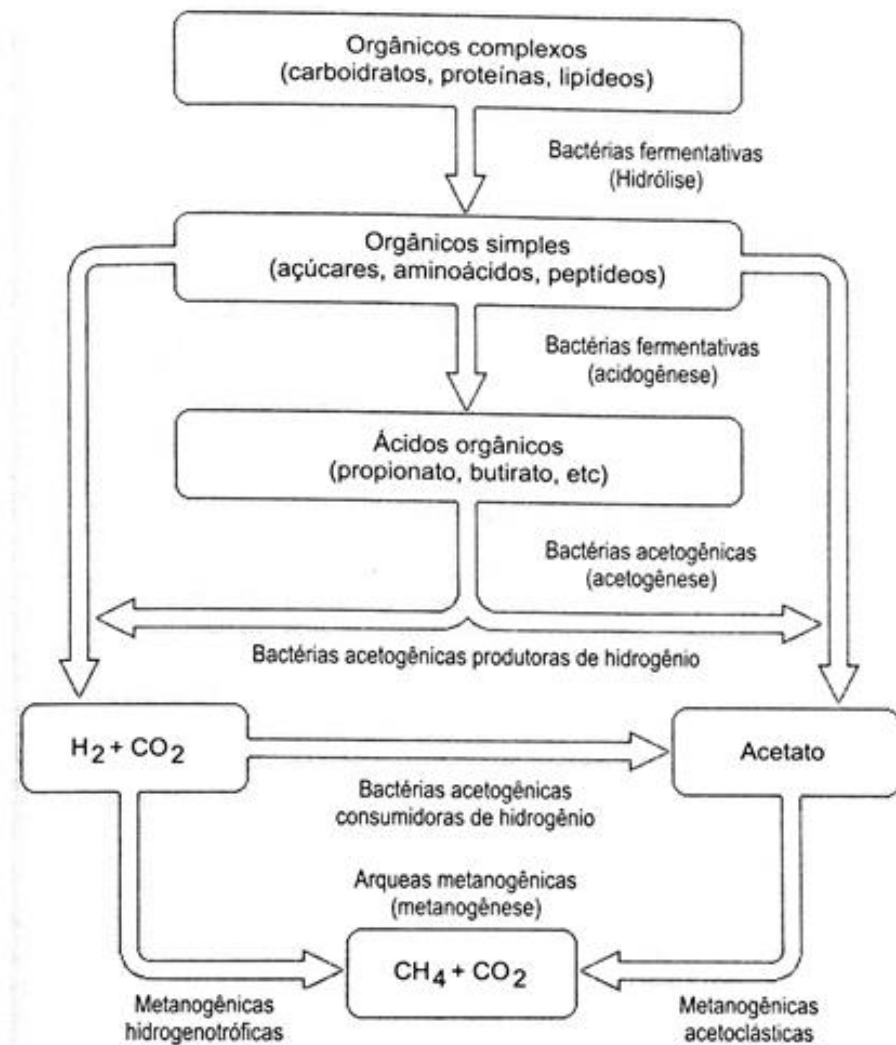


Figura 3 - Etapas da digestão anaeróbia

Fonte: Chernicharo (2016)

Além das quatro fases descritas, ainda segundo Chernicharo (2016), o processo de digestão anaeróbia pode incluir uma quinta fase, que depende da composição do substrato a ser tratado, trata-se da sulfetogênese. O sulfato e os compostos a base de enxofre presentes na biomassa oxidam os compostos orgânicos, reduzindo-os a sulfetos. De acordo com Rizzoni et al. (2012), o enxofre é um nutriente necessário para a bactéria, porém em teores elevados produz sulfeto de hidrogênio, um gás venenoso, corrosivo e que interfere na queima do metano.

Alguns fatores podem influenciar a biodigestão e influenciar seu bom desempenho. Os fatores de maior relevância estão abaixo relacionados.

**pH:** Os microrganismos formadores de metano têm valor ótimo na faixa de pH de 6,6 a 7,4. Embora se possa conseguir estabilidade na formação do metano numa faixa mais ampla entre 6 e 8. Com o pH abaixo de 6, em condições ácidas, a produção de metano é inibida. Ao elevar o pH acima de 8, o processo de acetogênese pode ser inibido (CHERNICHARO, 2016; SINGH et al., 2018).

**Temperatura:** A temperatura é um dos fatores mais importantes, pois os microrganismos não conseguem controlar sua temperatura interna, por conta disso, sua temperatura no interior da célula é determinada pela temperatura ambiente externa. Na maioria dos processos biológicos, três faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano, e podem ser observadas na Figura 4 (CHERNICHARO, 2016).

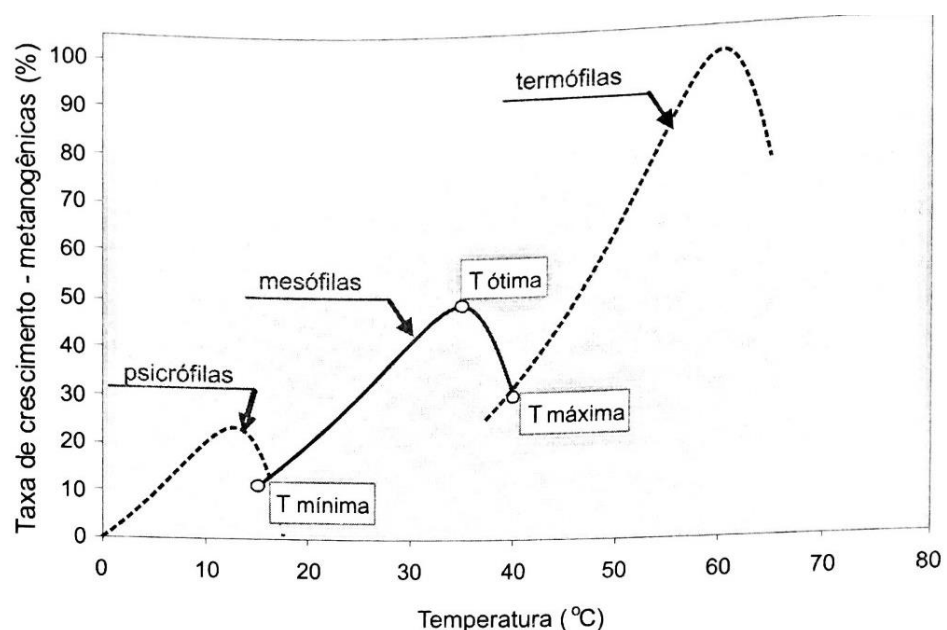


Figura 4 - Faixas de temperatura associadas ao crescimento microbiano

Fonte: Chernicharo (2016)

A formação microbiana do metano pode ocorrer numa faixa de temperatura ampla, entre 0° e 97°C, porém para Chernicharo (2016), há dois níveis ótimos para a digestão anaeróbia, de 30° a 35°C na fase mesófila e o outro na fase termófila entre 50° e 55°C.

Os digestores termofílicos permitem maiores taxas de carregamento e geram maior produção de metano e decomposição do substrato, diminui o tempo de retenção necessário, apesar de ser menos adequado para fins comerciais, pois requer utilização de energia para o aquecimento. No caso dos digestores mesofílicos tem-se melhor estabilidade e fácil manutenção. Como desvantagem apresenta maior tempo de retenção e menor formação de biogás, é mais adequado para fins comerciais, pois não requer nenhuma entrada de energia adicional para aquecimento (SINGH et al., 2018).

**Nutrientes:** Os principais nutrientes requeridos por microrganismos são o carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Para que haja uma produção eficiente de biogás, é necessário um equilíbrio entre os compostos de carbono, que fornecem energia, e os compostos que fornecem nitrogênio (CHERNICHARO, 2016). De acordo com Glatz, Miao e Rodda (2011), a proporção ideal de carbono/nitrogênio é entre 20/1 a 30/1. Uma razão alta de C/N resulta em uma produção de biogás baixa, pois o nitrogênio é consumido rapidamente. Quando ocorre uma razão baixa, se aumenta o risco de inibição por amônia, causando utilização insuficiente das fontes de carbono.

Para Chernicharo (2016), além de carbono e nitrogênio, outros nutrientes são necessários para o crescimento dos microrganismos, tais como: fósforo, potássio, enxofre, cálcio, magnésio, ferro, níquel, cobalto, molibdênio, zinco, manganês e cobre.

**Tempo de retenção:** É o tempo necessário para a conclusão da degradação da matéria orgânica, estando associado à taxa de crescimento microbiano, dependendo da temperatura do processo, composição do substrato e quantidade de sólidos voláteis alimentados (MAO et al., 2015). Em países tropicais, varia de 30 a 50 dias, e em países com clima frio, pode demorar até 100 dias (YADVIKA et al., 2004).

De acordo com Raposo et al. (2012), na maioria dos casos, 30 dias é o tempo de retenção suficiente para que o substrato seja completamente digerido. Tipicamente, 80 a 90% do metano é produzido durante os primeiros 8 a 10 dias. Em menor tempo de retenção, pode ocorrer o *washout* (esmaecimento) de bactérias ainda ativas, já um tempo maior de retenção, requer grande volume de digestor (YADVIKA et al., 2004).



Além desses fatores, é importante conhecer a composição da biomassa a fim de prever a quantidade de biogás produzida na biodigestão (SINGH et al., 2018).

### **3.6 Sistemas de geração de biogás**

O biodigestor é o equipamento onde a digestão anaeróbia é realizada, gerando como produto o biogás e o biofertilizante. Constitui-se de uma câmara fechada onde se coloca o material orgânico, que ao sofrer a decomposição, gera-se o biogás que se acumula na parte superior da câmara. Os biodigestores podem ser contínuos, onde a biomassa é inserida em intervalos de tempo determinados, ou podem ser descontínuos, onde o material orgânico é inserido de uma só vez (DEGANUTTI et al., 2008).

Existem registros de utilização do biogás desde o século XVII, em 1808, foi demonstrada a produção do metano a partir da digestão anaeróbia. A produção de biogás como processo de industrialização teve início na Índia em 1859, e até 1920, a maior parte da digestão anaeróbia ocorria em lagoas anaeróbias. Com o avanço do conhecimento do processo, foram desenvolvidos tanques fechados para otimizar o processo. E com o desenvolvimento da microbiologia, foi possível identificar bactérias anaeróbias e as condições para melhorar a produção do metano (REICHERT, 2005).

A utilização dessa tecnologia está ligada diretamente ao custo e disponibilidade de energia. A digestão anaeróbia teve um maior desenvolvimento com a utilização dos resíduos rurais na China e na Índia. No Brasil os biodigestores tiveram maior desenvolvimento a partir da década de 1980 (REICHERT, 2005).

Os tipos de sistemas utilizados para tratar os resíduos podem ser classificados como: estágio único, múltiplo estágio e batelada. Essas categorias podem ainda ser classificadas com base no teor de sólidos totais do material orgânico (REICHERT, 2005).

As tecnologias diferenciam-se em reatores de digestão anaeróbia seca (sólidos totais > 20%) e úmida (sólidos totais < 15%). SNSA (2015) destaca diferentes tecnologias de sistemas de geração de biogás: reatores de mistura contínua (CSTR), lagoas anaeróbias cobertas, reatores de metanização seca – processo contínuo, reatores de metanização seca – processo descontínuo, reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) e digestores de lodo. Cada tecnologia é adaptada a uma realidade e

necessidade de biogás, sendo os mais indicados para resíduos sólidos, o CSTR, e reatores de metanização seca.

### 3.6.1 Reatores de mistura contínua (CSTR)

Os reatores de mistura contínua (CSTR) são a tecnologia de digestão anaeróbia padrão de substratos com sólidos totais em torno de 15%. Sendo aplicados nos setores agrícolas e na indústria, exigem substratos praticamente livres de impurezas e com umidade suficiente para o processo. O sistema CSTR pode ser classificado em duas versões, a versão básica que é utilizada para tratar dejetos de animais, com construção, equipamentos, operação e manutenção relativamente simples. A versão avançada é utilizada para substratos complexos, com altas cargas orgânicas, sendo uma construção mais elaborada, com reatores mais altos e necessitam de maior investimento (SNSA, 2015).

Existem os CSTR bifásicos, nos quais os processos ocorrem separadamente, em duas etapas, dividindo as etapas da digestão. Uma opção é a realização da hidrólise em um pré-digestor e a metanogênese no digestor principal, o que permite melhor controle operacional para substratos com alto valor energético. Outra opção é a realização da pós digestão que fornece ganhos de energia, possibilitando menores tempos de retenção no digestor principal (SNSA, 2015).

### 3.6.2 Reator contínuo de digestão seca

O reator contínuo de digestão seca ou reator de metanização de processo contínuo pode ser alimentado com substratos com sólidos totais de 25 a 35%, pode ser construído horizontalmente, promovendo deslocamento do substrato por meio de misturadores, ou verticalmente, podendo ou não possuir sistema de mistura, com o deslocamento ocorrendo com recirculação do material ou por agitação com biogás comprimido (SNSA, 2015).

Nesse processo, a digestão não é interrompida, os substratos são inseridos no digestor, enquanto se retira o material digerido, o que resulta em um sistema com vazão e produção de biogás constantes. O material digerido geralmente possui uma concentração de sólidos inferior a 20%, sendo essa a principal desvantagem do

processo, com necessidade de se ter uma etapa posterior de desagendamento com a geração de uma fração sólida e uma líquida (SNSA, 2015).

### 3.6.3 Reator descontinuo de digestão seca

O reator descontinuo de digestão seca ou reator de metanização de processo descontinuo, é um reator do tipo garagem adequado para substratos com sólidos totais entre 35 e 45% e suportam altas porcentagens de impurezas (SNSA, 2015).

O processo realizado em batelada utiliza reatores do tipo garagem, mostrado na Figura 5.

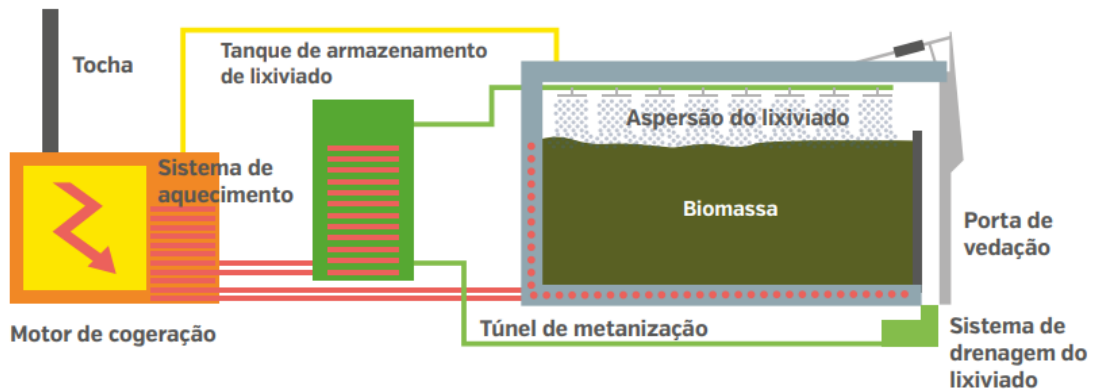


Figura 5 - Esquema do processo de digestão seca

Fonte: SNSA (2015)

A principal diferença em relação ao sistema contínuo é que a digestão é realizada em um processo com início e fim, com interrupção para a remoção do material digerido, interrompendo também a produção do biogás (SNSA, 2015).

Na Quadro 1, apresentam-se as vantagens e desvantagens dos sistemas de geração de biogás.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos sistemas de geração de biogás

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Reatores de mistura contínua – CSTR	Alta taxa de produção de gás	Necessidade de preparação do substrato
	Alta estabilidade de processo	Geração de efluente excedente a ser tratado
	Controle das emissões de metano	Desgaste dos equipamentos mecânicos
	Material digerido utilizável na agricultura	O fluxo homogeneizado exige volume de armazenamento
Reatores de metanização - processo contínuo	Maior eficiência energética	Necessidade de preparação do substrato
	Alta estabilidade do processo	Desgaste dos equipamentos mecânicos
	Controle das emissões de metano	Os custos de investimento são mais elevados do que os do sistema seco descontínuo
Reatores de metanização - processo descontínuo	Pouca ou nenhuma preparação do substrato	Maiores emissões de metano, com conseqüente menor aproveitamento energético
	Baixa utilização de energia e equipamentos	Pouca ou nula geração de efluente excedente a ser tratado
	Tecnologia modular	Necessidade de maiores áreas
	Após a extração, o material digerido pode ser encaminhado para compostagem	Grande quantidade de resíduo gerado
	Não exige homogeneização ou mistura e, por esse motivo, o equipamento não está sujeito a desgaste	Menor eficiência na geração de biogás

Fonte: Adaptado de SNSA (2015)

### 3.7 Biogás

O biogás é o produto obtido através da digestão de resíduos agroindustriais na ausência de oxigênio. Pode ser utilizado na geração de calor, energia elétrica ou como combustível veicular (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014). O biogás é composto basicamente de uma mistura de gases, contendo em maior quantidade metano e dióxido de carbono, e em menores proporções, encontra-se gás sulfídrico e nitrogênio (DEGANUTTI et al., 2008). Na Tabela 3, tem-se a composição típica do biogás.

Tabela 3 - Composição típica do biogás

<b>Gás</b>	<b>% (Volume/volume)</b>
Metano	62 – 70
Gás carbônico	30 – 38
Gás sulfídrico	50- 3000 ppm
Nitrogênio	0,05 – 1
Oxigênio	0,022
Hidrogênio	<0.01

Fonte: Andreoli, Sperling e Fernandes (2014)

Quanto maior a concentração de metano no biogás, maior será seu poder calorífico e menor será sua densidade. O poder calorífico do biogás contendo cerca de 70% de metano é de aproximadamente 23.380 kJ/m<sup>3</sup> (6,5 kW/m<sup>3</sup>) (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2014). Na Tabela 4 tem-se a equivalência energética de 1 m<sup>3</sup> de biogás com outras fontes de energia.

Tabela 4 - Equivalência energética de 1 m<sup>3</sup> de biogás

<b>Fonte</b>	<b>Faixa</b>
Gasolina (L)	0,61 a 0,70
Querosene (L)	0,58 a 0,62
Óleo diesel (L)	0,55
Gás liquefeito de petróleo (GLP)(kg)	0,40 a 1,43
Álcool (L)	0,80
Carvão mineral (kg)	0,74
Lenha (kg)	3,50
Eletricidade (kWh)	1,25 a 1,43

Fonte: Lora; Venturini (2012)

De acordo com Cáceres et al. (2012), uma produção de suco de uva pode cobrir até 45% de suas necessidades de energia durante o tempo de vinificação utilizando o bagaço para gerar o biogás, e então gerar energia a partir deste.

### **3.8 Tecnologias para o aproveitamento de biogás**

Para o biogás ser utilizado é necessário selecionar tecnologias e projetar sistemas para tratar o biogás até o nível exigido pelo tipo de aproveitamento. A

escolha da tecnologia para o aproveitamento depende da composição, quantidade e das condições locais da planta e não do tipo de substrato utilizado (SNSA, 2015).

As principais opções de aproveitamento do biogás, consideradas por SNSA (2015), são:

- Motores a gás estacionários (CHP) para gerar energia elétrica e térmica;
- Caldeiras a gás para gerar energia térmica;
- Injeção na rede de gás natural através da purificação do biogás a biometano, posteriormente, podendo ser utilizado como energia elétrica, térmica e energia veicular.

A geração de eletricidade com biogás corresponde a cogeração, pois é capaz de gerar energia elétrica e calor. Para isso, geralmente são utilizados motores à combustão com gerador de eletricidade, por produzirem calor, podem ser utilizados como CHP (SNSA, 2015).

As caldeiras de biogás se apresentam como outra possibilidade para a produção de calor que ocorre por meio da queima, e se apresentam em três tipos, os queimadores atmosféricos, os queimadores com ventilador e os queimadores tipo lança. Os queimadores atmosféricos são utilizados para uma potência elétrica equivalente baixa de até 35 kW, o ar é levado até uma câmara de combustão pela força da sucção gerada pelo fluxo de gás, onde se misturam e então a ignição é realizada eletricamente ou através de um dispositivo de segurança (SNSA, 2015).

Os queimadores com ventilador têm potência térmica de até 10MW, mas para uma potência maior pode-se instalar um ventilador separadamente, recebem ar para a queima com alta pressão pelo ventilador. Os queimadores tipo lança são adequados para lareiras de combustão curtas, com potência de 150MW (SNSA, 2015).

O biogás pode também ser injetado na rede de gás natural com a utilização de uma instalação especializada que contém uma estação de medição e regulação de pressão de gás. As impurezas do gás devem ser retiradas para ter valores entre 90 a 98% de metano, dependendo do local, pode ser estabelecido um aumento do valor calorífico do metano misturando outros gases, como propano ou butano. O biogás pode ser engarrafado e utilizado como combustível veicular (SNSA, 2015).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para viabilizar a produção do suco de uva, por meio da utilização do biogás, em pequenas propriedades, foram analisados os resultados teóricos obtidos através da literatura, realizando uma comparação entre a propriedade pesquisada neste trabalho e os trabalhos de outros autores.

Este estudo se dividiu em três etapas, sendo a primeira, a estimativa da quantidade necessária de biogás, a segunda, a quantidade de diferentes resíduos da propriedade e a terceira, o dimensionamento do sistema de digestão anaeróbia.

Os dados foram coletados por meio de uma entrevista em uma propriedade rural no município de Caxias do Sul – RS. Na entrevista, foram levantados os dados sobre a produção de 2016 até 2020, a quantidade de gás liquefeito de petróleo (GLP) utilizado para a produção, assim como outros resíduos gerados na propriedade, que serão utilizados na geração e posterior utilização do biogás na produção do suco.

### 4.1 Estimativa da produção de biogás

Os dados coletados na entrevista foram utilizados para o dimensionamento do biodigestor por meio de equações mostradas a seguir. Posteriormente, calculou-se a carga de sólidos totais adicionadas ao biodigestor, em seguida calculou-se o volume dos resíduos.

Em seu estudo, Konrad et al. (2016), adotaram uma metodologia adaptada da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, para estimar a produção de biogás, caracterizada pelas equações de 1 a 3.

$$ST \left( \frac{ton}{ano} \right) = \frac{biomassa \left( \frac{ton}{ano} \right) \times ST (\%)}{100} \quad (1)$$

Onde:

ST é a fração sólida do substrato (ton/ano);

Biomassa é a quantidade de resíduo adicionada ao biodigestor (ton/ano);

ST (%) quantidade de sólidos totais no resíduo.

O cálculo do potencial estimado de produção de biogás foi realizado considerando como parâmetros de cálculo os sólidos totais (ST), os sólidos voláteis (SV) e o rendimento de biogás.

$$SV \left( \frac{ton}{ano} \right) = \frac{ST \left( \frac{ton}{ano} \right) \times SV(\%)}{100} \quad (2)$$

$$BIO \left( \frac{m^3}{ano} \right) = SV \left( \frac{ton}{ano} \right) \times R_{BIO} \left( \frac{m^3}{ton SV} \right) \quad (3)$$

Onde:

ST são os sólidos totais;

SV são os sólidos voláteis;

BIO é a produção de biogás (m<sup>3</sup>/ano);

R<sub>BIO</sub> é o rendimento de biogás (m<sup>3</sup>/tonSV).

#### 4.2 Dimensionamento do sistema de geração de biogás

O sistema de geração do biogás escolhido é o reator descontínuo de mistura seca, sendo, neste caso, a melhor aplicação, pois tem como vantagem nenhuma preparação do substrato, baixa utilização de energia e equipamentos e o material digerido pode ser diretamente utilizado como adubo. Como desvantagem, apresenta a necessidade de maiores áreas e menor eficiência de geração de biogás, dentre outras vantagens e desvantagens já listadas no Quadro 1.

O biodigestor batelada é um sistema simples e não requer grandes exigências para sua operação. Sua instalação pode utilizar um único tanque anaeróbico, ou vários tanques em série. O biodigestor é abastecido de material orgânico uma única vez, mantendo o resíduo por um período efetivo de produção de biogás. O sistema é composto por uma câmara de fermentação, e por um gasômetro móvel (SNSA, 2015). O biodigestor batelada é demonstrado na Figura 6.

A digestão anaeróbica ocorrerá dentro da faixa de digestão mesófila (20 a 30°C), sendo necessário um tempo de detenção hidráulica (TDH) maior ou igual a 20



dias. A metanização seca é utilizada com resíduos de teor de sólidos totais superiores a 20%, de acordo com Besinella et al. (2017).

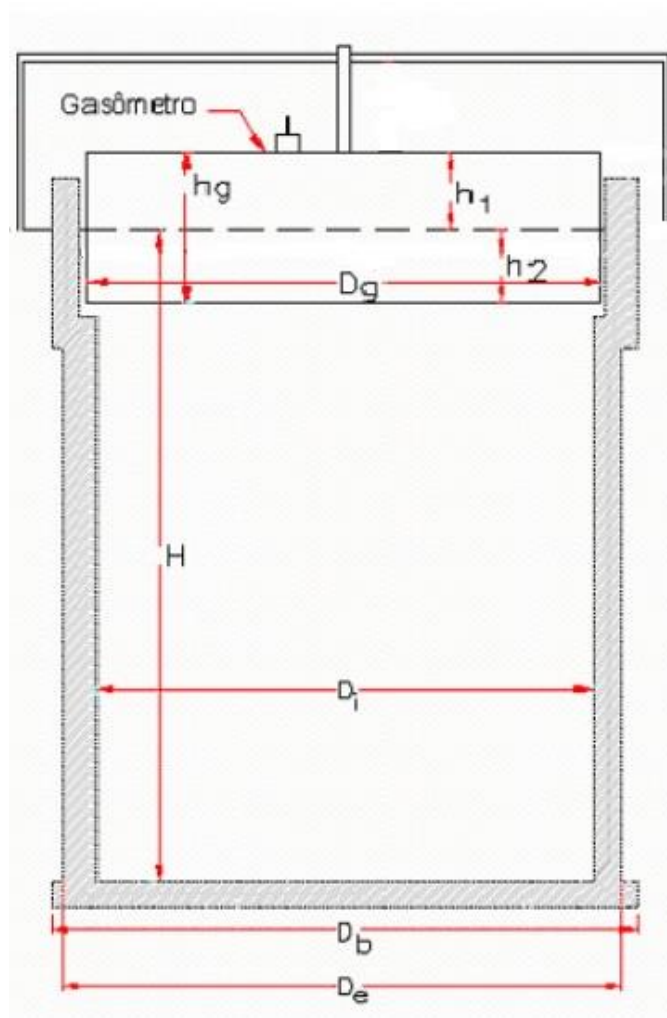


Figura 6 - Biodigestor batelada

Fonte: Portes (2005)

Onde:

H: Altura do nível do substrato;

$h_1$ : Altura ociosa do gasômetro;

$h_2$ : Altura útil do gasômetro;

$h_g$ : Altura do gasômetro;

$D_i$ : Diâmetro interno do biodigestor;

$D_g$ : Diâmetro do gasômetro;

Para calcular o volume dos resíduos, foi utilizada a seguinte equação:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (4)$$

Onde:

V é o volume do subproduto (m<sup>3</sup>);

M é a massa a ser alimentada no reator (kg);

ρ é a massa específica (kg m<sup>-3</sup>).

Para o dimensionamento do biodigestor batelada, de acordo com Portes (2005), são utilizadas as equações seguintes. Para o volume útil do biodigestor:

$$V_B = \frac{\pi \times D_i^2 \times H}{4} \quad (5)$$

Onde:

V<sub>B</sub> – Volume útil do biodigestor (m<sup>3</sup>);

D<sub>i</sub> = Diâmetro interno do biodigestor (m);

H – Altura do nível do substrato (m).

Tem-se a relação para melhor rendimento do biodigestor:

$$0,6 \leq \frac{D_i}{H} \leq 1,0 \quad (6)$$

O diâmetro do gasômetro é calculado pela Equação 7:

$$D_g = D_i + 0,1 \quad (7)$$

Onde:

D<sub>g</sub> – Diâmetro do gasômetro (m).

E o volume do gasômetro pela Equação 8:

$$V_g = \frac{\pi x D_g^2 x h_1}{4} + \frac{\pi x D_g^2 x h_2}{4} \quad (8)$$

Onde:

$V_g$  – Volume do gasômetro ( $m^3$ );

$h_1$  – Altura ociosa, valor igual ou superior a 0,15m;

$h_2$  – Altura útil (m).

Para a análise dos resultados, será realizada uma comparação entre os resultados obtidos teoricamente por meio dos cálculos e os resultados obtidos na literatura observando a análise dos resíduos. A estimativa da produção de biogás será realizada com valores tabelados disponíveis na literatura.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a viabilização do processo, necessita-se estimar o biogás necessário para produzir o suco, e então calcular quanto biogás será gerado a partir dos resíduos disponíveis na propriedade. Após, é necessário dimensionar o sistema, utilizando o volume dos substratos e o volume do biogás gerado. Também precisa-se definir o melhor tempo de detenção hidráulica para melhor aproveitamento dos resíduos.

### 5.1 Estimativa de biogás necessário para a produção do suco de uva

A partir das informações coletadas na entrevista, os dados referentes à produção de suco na propriedade estudada, entre os anos de 2016 e 2020, são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade de suco de uva produzido na propriedade

Ano	Quantidade de suco (litros)
2016	2000
2017	4500
2018	4000
2019	3500
2020	3700
Média	3540

Fonte: Autor (2020).

Pode-se observar que a produção sofreu uma oscilação devido à quantidade de uva produzida por ano. Para as estimativas e cálculos, optou-se por utilizar a média de dados obtidos na propriedade quanto à produção, em litros, de suco de uva por ano, visto que se trata de uma produção com variação.

Ainda, foi informado, que a propriedade possui alguns animais e que o esterco pode ser utilizado para viabilizar o processo. Por conta do melhor desempenho, escolheu-se o dejetos de bovino para ser utilizado.

Além disso, a partir das informações levantadas, para a produção de 120 litros de suco de uva, se utiliza um botijão de GLP contendo 5,4 m<sup>3</sup>. Com isso, calculou-se que para a produção de 3540 litros de suco se utiliza 29,5 botijões, o que equivale a

159,3 m<sup>3</sup> de GLP e utilizando os dados da Tabela 4, onde é mostrado que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,915 kg de GLP, com isso, serão necessários, para viabilizar a produção 435,25 m<sup>3</sup> de biogás.

## 5.2 Caracterização dos resíduos

O substrato utilizado será oriundo dos resíduos do processo de produção do suco e de dejetos de bovino. Na Tabela 6, constam os dados encontrados na literatura dos resíduos escolhidos para serem utilizados.

Tabela 6 - Dados dos resíduos a serem utilizados na geração do biogás

Resíduo	Dados		Referência
Esterco bovino	Geração de resíduos (kg/dia)	15	KUNZ; OLIVEIRA (2006)
	Rendimento de biogás (m <sup>3</sup> /kg SV)	0,27	
	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	600	
	Sólidos Totais (ST%)	47,6	AMARAL et al. (2004)
	Sólidos Voláteis (SV%)	86	
Bagaço da uva	Geração de resíduos (kg/L suco produzido)	0,2	BESINELLA et al. (2017)
	Sólidos Totais (ST%)	35	
	Sólidos voláteis (SV%)	90	
	Rendimento de biogás (m <sup>3</sup> /kg SV)	0,16	
	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	500	

## 5.3 Estimativa da produção de biogás

Para estimar a produção de biogás a partir do bagaço da uva, foi considerada a produção média de 3540 L por ano. De acordo com Besinella et al. (2017), a geração de resíduos é 0,2 kg por litro de suco produzido, então, tem-se:

$$biomassa \left( \frac{kg}{ano} \right) = produção \text{ do suco } (L) \times geração \text{ de resíduos } \left( \frac{kg}{L \text{ produzido}} \right)$$

$$biomassa \left( \frac{kg}{ano} \right) = 3540 (L) \times 0,2 \left( \frac{kg}{L \text{ produzido}} \right) = 708 kg$$

Utilizando os dados da Tabela 6, onde tem-se que os sólidos totais do bagaço de uva são 35%, calculou-se a carga de sólidos totais adicionadas ao biodigestor, de acordo com a Equação 1.

$$ST \left( \frac{kg}{ano} \right) = \frac{biomassa \left( \frac{kg}{ano} \right) \times ST (\%)}{100} = \frac{708 \left( \frac{kg}{ano} \right) \times 35\%}{100} = 247,8 \frac{kg}{ano} \quad (1)$$

Com isso, calculou-se o estimado da produção de biogás, obtendo os dados necessários da Tabela 6, pelas Equações 2 e 3.

$$SV \left( \frac{kg}{ano} \right) = \frac{ST \left( \frac{kg}{ano} \right) \times SV (\%)}{100} = \frac{247,8 \left( \frac{kg}{ano} \right) \times 90\%}{100} = 223 \frac{kg}{ano} \quad (2)$$

Para o cálculo da produção de biogás anual, é necessário o valor de sólidos voláteis em toneladas, portanto, tem-se 0,223 toneladas.

$$\begin{aligned} BIO \left( \frac{m^3}{ano} \right) &= SV \left( \frac{ton}{ano} \right) \times R_{BIO} \left( \frac{m^3}{ton SV} \right) = \\ &= 0,223 \frac{ton}{ano} \times 160 \frac{m^3}{ton SV} = 35,68 \frac{m^3}{ano} \end{aligned} \quad (3)$$

De acordo com Besinella et al. (2017), a região sul do Brasil tem um grande potencial de geração de biogás utilizando o bagaço de uva proveniente da produção de vinhos e sucos e, também, da borra de uva proveniente da produção de vinhos. Realizando o tratamento de  $38,05 \times 10^3$  toneladas por ano de resíduos gerados, tem-se a estimativa de produção de  $37,54 \times 10^6$  m<sup>3</sup> por ano de biogás. A capacidade desses subprodutos de gerarem energia elétrica é de 67,58 GWh/ano (BESINELLA et al., 2017).

No estudo de Paixão (2018), foi proposto um modelo para a produção de biogás a partir de resíduos de alimentos de um restaurante, com capacidade de

digestão de 140 kg de resíduos produzidos pelo restaurante, obtendo uma produção diária de 14 m<sup>3</sup> de biogás, sendo o necessário para suprir a demanda diária do restaurante.

Para o esterco bovino, o cálculo se dá a partir do resíduo gerado diariamente, que de acordo com Kunz e Oliveira (2006), é de 15 kg por dia, então, tem-se:

$$ST \left( \frac{kg}{ano} \right) = \frac{biomassa \left( \frac{kg}{ano} \right) \times ST (\%)}{100} =$$

$$= \frac{15 \left( \frac{kg}{dia} \right) \times 47,6\% \times 365 \text{ dias}}{100} = 2606,1 \frac{kg}{ano} \quad (1)$$

Após, calculou-se o estimado da produção de biogás, obtendo os dados necessários da Tabela 6, pelas Equações 2 e 3.

$$SV \left( \frac{kg}{ano} \right) = \frac{ST \left( \frac{kg}{ano} \right) \times SV (\%)}{100} = \frac{2606,1 \left( \frac{kg}{ano} \right) \times 86\%}{100} = 2241,2 \frac{kg}{ano} \quad (2)$$

Para o cálculo da produção de biogás anual, utiliza-se a Equação 3:

$$BIO \left( \frac{m^3}{ano} \right) = SV \left( \frac{ton}{ano} \right) \times R_{BIO} \left( \frac{m^3}{kg} \right) =$$

$$= 2241,2 \frac{kg}{ano} \times 0,27 \frac{m^3}{kg} = 605,1 \frac{m^3}{ano} \quad (3)$$

Com isso, tem-se a produção de 605,1 m<sup>3</sup> de biogás a partir do esterco bovino, e de 35,68 m<sup>3</sup> a partir do bagaço da uva, tendo ao total, uma produção de 640,8 m<sup>3</sup> de biogás por ano, sendo possível viabilizar a produção, que necessita de 435,25 m<sup>3</sup> de biogás.

No estudo de Barros et al. (2009), com o esterco de 11 gados bovinos de uma propriedade e sua vizinhança, tinha-se a estimativa de produção de 3,96 m<sup>3</sup> de biogás por dia. E ao realizar experimentos, o valor médio de produção foi de 4,39 m<sup>3</sup> por dia de biogás, apresentando uma boa correlação com o valor estimado teoricamente.

#### 5.4 Dimensionamento do sistema

Utilizando os valores da densidade dos resíduos, calculou-se o volume ocupado por eles, utilizando a massa e a densidade, sendo para o esterco, conforme a Equação 4:

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{15 \text{ kg}}{600 \text{ kg/m}^3} = 0,025 \text{ m}^3 \text{ por dia} \quad (4)$$

O tempo de detenção hidráulica será de 35 dias, pois o bagaço da uva necessita de 30 dias e o esterco bovino necessita de 35 dias, então, o volume do esterco será de 0,875 m<sup>3</sup> a cada batelada.

E para o resíduo da uva:

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{708 \text{ kg}}{500 \text{ kg/m}^3} = 1,42 \text{ m}^3 \quad (4)$$

Para esses resíduos, necessita-se de um biodigestor de 2,3 m<sup>3</sup>, porém será adotado o valor de 3 m<sup>3</sup>, pois a produção do suco é variável e os moradores da propriedade poderão adicionar outros resíduos.

Conforme a Equação 6, para o melhor rendimento do biodigestor, a relação D<sub>i</sub>/H (diâmetro interno/altura), terá um valor de 0,7. Com isso, o diâmetro é de 1,4 m e a altura é de 2 m.

$$V_B = \frac{\pi x D_i^2 x H}{4} = \frac{3,14 x 1,4^2 x 2}{4} = 3 \text{ m}^3 \quad (5)$$

O diâmetro do gasômetro, que é onde o biogás ficará armazenado, é calculado pela Equação 7. Sendo o diâmetro do gasômetro (D<sub>g</sub>) de 1,5 m, a altura ociosa (h<sub>1</sub>) de 0,15 m, e a altura útil (h<sub>2</sub>) de 1,5 m, então o volume:



$$V_g = \frac{\pi x D_g^2 x h_1}{4} + \frac{\pi x D_g^2 x h_2}{4}$$
$$V_g = \frac{\pi x 1,5^2 x 0,15}{4} + \frac{\pi x 1,5^2 x 1,5}{4} = 2,9 \text{ m}^3 \quad (8)$$

Estima-se uma produção diária de 1,9 m<sup>3</sup> de biogás, então o volume do gasômetro será suficiente para armazenar o biogás gerado.

Araújo et al. (2018) dimensionou um biodigestor contínuo para o Assentamento Trangola no Rio Grande do Norte, estimando um volume de 3,33 m<sup>3</sup> para o biodigestor com esterco bovino, com diâmetro do tanque de 1,68 m. Com o uso do biodigestor, será proporcionado uma nova alternativa para os dejetos do gado, diminuindo a demanda de gás natural e da lenha utilizados para as atividades diárias do assentamento, além de produzir o biofertilizante para tratamento e enriquecimento do solo (ARAÚJO et al., 2018).

## 6 CONCLUSÕES

A utilização de biodigestores para geração de biogás nas propriedades rurais é uma alternativa viável, pois tem a possibilidade de agregar valor aos resíduos gerados.

É possível viabilizar a produção de suco de uva em pequenas propriedades, apesar da oscilação da produção de uva e, conseqüentemente, do suco, por meio da biodigestão anaeróbica do bagaço da uva e do dejetos de animais.

Foi possível calcular os gastos energéticos para a produção do suco, estimar a produção do biogás e dimensionar o sistema de metanização a seco. Por enquanto, tem-se uma estimativa com base em informações reais da propriedade e dados de autores.

## 7 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, citam-se:

- Realizar a análise do esterco bovino e do bagaço da uva para se ter resultados concretos da quantidade de biogás gerado;
- Realizar a viabilidade econômica do projeto do biodigestor.

## REFERÊNCIAS

- ACHKAR, J. H. et al. Anaerobic digestion of grape pomace: Biochemical characterization of the fractions and methane production in batch and continuous digesters. **Waste Management**, [s.l.], v. 50, p.275-282, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.028>.
- AMARAL, C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. de S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 1897-1902, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782004000600035>.
- ANDREOLI, C.; SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodos de esgotos: Tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2014.
- ARAÚJO, A. R et al. **Dimensionamento de um biodigestor rural para o Assentamento Trangola**. In: V Congresso Brasileiro dos Engenheiros sem Fronteiras. Natal, 2018.
- BARROS, R. M. et al. Estudo da produção de biogás da digestão anaeróbia de esterco bovino em um biodigestor. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 15, n. 2, p. 95-116, 2009. Semanal.
- BESINELLA, G. B. et al. **Potencial dos subprodutos vinícolas da região sul do Brasil para a geração de biogás e energia elétrica**. In: II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura, Acta Iguazu, Cascavel – PR, v. 6, n. 5, p. 253-261, 2017.
- CAMPOS, L. **Obtenção de extratos de bagaço de uva cabernet sauvignon (Vitis vinifera): parâmetros de processo e modelagem matemática**. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- CÁCERES, C. et al. Biogas production from grape pomace: Thermodynamic model of the process and dynamic model of the power generation system. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 37, n. 13, p.10111-10117, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.01.178>.
- CATANEO, C. B.; CALIARI, V.; GONZAGA, L. V.; KUSKOSKI, E. M.; FETT, R. Atividade antioxidante e conteúdo fenólico do resíduo agroindustrial da produção de vinho. **Seminário: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 93-102, 2008.
- CHERNICHARO, C. A. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2016.
- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C.; **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e Batelada**. Bauru-SP, 2008.
- GLATZ, P. MIAO, Z.; RODDA, B. Handling and Treatment of Poultry Hatchery Waste: A Review. **Sustainability**, v. 3, p.216-237, 2011.

KONRAD, O. et al. Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano. Lajeado, RS: ED. DA UNIVATES, 2016.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista da Política Agrícola**, v. 3, n. 15, p.28-35, 2006. Trimestral.

LORA, E.; VENTURINI, O. **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.

MAO, C. et al. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 45, p.540-555, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>.

MARCON, Â. R. **Avaliação da incorporação de água exógena em suco de uva elaborado por diferentes processos**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia e Gestão Vitivinícola, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. **Cadastro vitícola do Rio Grande do Sul: 2013 a 2015**. Brasília: Embrapa, 2017.

MELLO, L. M. R.; SILVA, G. A. **Disponibilidade e Características de Resíduos Provenientes da Agroindústria de Processamento de Uva do Rio Grande do Sul**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2014. 6 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. GOVERNO FEDERAL. **Gestão de Resíduos Orgânicos**, 2017. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-org%C3%A2nicos.html>. Acesso em: 15 abr. 2020

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R.. Potential Assessment of Waste Produced Through the Agro-Industrial Processing in Brazil. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 7, n. 6, p.1968-1987, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150116>.

PAIXÃO, S. K. S. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE ALIMENTOS: uma proposta para um restaurante em Recife-PE**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/39/PRODU%C3%87%C3%83O%20DE%20BIOG%C3%81S%20A%20PARTIR%20DE%20RES%20DE%20ALIMENTOS%20-%20UMA%20PROPOSTA%20PARA%20UM%20RESTAURANTE%20EM%20RECIFE%20PE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 fev. 2021.

PORTES, Z. A. **APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA PROJETOS DE BIODIGESTORES RURAIS**. 2005. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005. Disponível em:

[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90574/portes\\_z\\_a\\_me\\_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90574/portes_z_a_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 16 fev. 2021.

PROTAS, J. F. S.; CAMARGO, U. A. **A vitivinicultura brasileira: realidade e perspectivas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2008.

PROZIL, S.O.; MENDES, J.A.; EVTUGUIN, D.V.; LOPES, L.P.C. **Caracterização do Engaço da Uva e Avaliação do seu Potencial como Matéria-Prima Lenhocelulósica**. Millenium, 44. Pp. 23-40. 2013.

RAPOSO, F. et al. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.861-877, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.008>.

REICHERT, G.A.; **Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande – MS. 2005.

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. **Suco de uva**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

RIZZON, L. A.; MANFROI, V.; MENEGUZZO, J. **Elaboração de suco de uva na propriedade vitícola**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1998.

RIZZONI, L. B. et al. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, v. 18, p.1-20, 2012. Semestral.

ROCHA, J. C.; ROSA, A.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2009.

ROS, C. et al. Renewable energy from thermophilic anaerobic digestion of winery residue: Preliminary evidence from batch and continuous lab-scale trials. **Biomass And Bioenergy**, [s.l.], v. 91, p.150-159, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.05.017>.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás**. Probiogás. Brasília, DF. Ministério das Cidades, 2015.

SILVA, L. M. L. R. **Caracterização dos subprodutos da vinificação**, 2003. Disponível em: <http://www.ipv.pt/millenium/millenium28/10.pdf> Acesso em: 05 de outubro de 2018.

SINGH, S. et al. Factors affecting anaerobic digestion of organic waste. **International Journal Of Engineering Research In Mechanical And Civil Engineering**, Chennai, v. 3, p.99-103, 2018.

SISDEVIN. **Produção de uvas e produtos vitivinícolas elaborados na safra 2019, no Estado do Rio Grande do Sul**: Resumo Geral. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, 2019.

VENTURINI, W. G. **Bebidas não alcoólicas**: Ciência e tecnologia. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

YADVIKA et al. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 95, n. 1, p.1-10, out. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.010>.

YU, J.; AHMEDNA, M. Functional components of grape pomace: their composition, biological properties and potential applications. **International Journal Of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 48, n. 2, p.221-237, 1 out. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03197.x>.