



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



## **ALTERNATIVAS PARA VALORIZAÇÃO DA VINHAÇA**

**Victor Gonçalves de Sousa**

**Orientador: Profa. Dra. Larissa Nayhara Soares Santana Falleiros**

**Uberlândia – MG**

**2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



## **ALTERNATIVA PARA VALORIZAÇÃO DA VINHAÇA**

**Victor Gonçalves de Sousa**

**Orientador: Profa. Dra. Larissa Nayhara Soares Santana Falleiros**

**Monografia de graduação apresentada à  
Universidade Federal de Uberlândia  
como parte dos requisitos necessários  
para a aprovação na disciplina de  
Trabalho de Conclusão de Curso do curso  
de Engenharia Química.**

**Uberlândia – MG**

**2018**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a toda minha família e  
amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me dar força nessa minha trajetória.

Agradeço a minha família por sempre me apoiar nas minhas escolhas.

Agradeço a minha namorada por sempre me incentivar a buscar os meus sonhos.

Agradeço aos professores pelo conhecimento adquirido ao longo do curso.

Agradeço a minha professora orientadora por dedicar seu tempo a me ajudar a fazer um trabalho cada vez melhor.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	8
2	Objetivos .....	9
2.1	Objetivo geral .....	9
2.2	Objetivos específicos .....	9
3	Contexto hitórico da cana de açúcar .....	9
4	Processo de produção de etanol .....	12
4.1	Etapas .....	13
4.1.1	Recepção da matéria prima.....	13
4.1.2	Controle de qualidade.....	13
4.1.3	Limpeza .....	13
4.1.4	Extração do caldo .....	13
4.1.5	Tratamento do caldo .....	14
4.1.6	Concentração do caldo.....	14
4.1.7	Fermentação.....	14
4.1.8	Destilação .....	15
5	A Vinhaça e suas utilizações .....	16
5.1	Fertirrigação “in natura” .....	17
5.1.1	Métodos usados na fertirrigação .....	19
5.2	Biodigestão anaeróbia da vinhaça e aproveitamento do biogás produzido .....	21
5.2.1	A turbina a gás.....	23
5.2.2	A microturbina a gás .....	25
5.2.3	Motor a combustão interna.....	26
5.3	Concentração .....	27
5.3.1	Tecnologia para concentração da vinhaça.....	29
6	Estudo de casos de usinas: Viabilidade da implementação de um sistema de concentração 31	
7	Conclusão .....	33
8	Referências .....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Redução do efeito estufa .....	10
Figura 2 - Fluxograma da produção de etanol e açúcar.....	12
Figura 3- fluxograma do processo de destilação do etanol .....	15
Figura 4 – Descarga rápida de um caminhão-tanque sobre lavoura .....	19
Figura 5 - Aspersor tipo montagem direta succionando de canal .....	20
Figura 6 - Carretel enrolador succionando do canal .....	20
Figura 7- Reator UASB.....	22
Figura 8 - Ciclo Brayton .....	24
Figura 9 - Diagrama de funcionamento de uma turbina.....	24
Figura 10 - Esquema de uma micro-turbina.....	25
Figura 11 - Motor a gás operando num sistema de geração de energia .....	26
Figura 12 - Funcionamento de um motor 4 tempos, ciclo Otto.....	27
Figura 13- Evaporador Falling film .....	29
Figura 14 - Evaporador 4 efeitos .....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química da vinhaça.....	16
Tabela 2 - Coeficiente global de troca térmica.....	30
Tabela 3 - Coeficientes de troca térmica e área de troca térmica.....	31
Tabela 4 - Custo anual com transporte da vinhaça.....	32
Tabela 5 - Custo com transporte após a instalação do evaporador.....	33

## RESUMO

A vinhaça, subproduto da produção de etanol, vem sendo utilizada no uso da fertirrigação dos canaviais desde a década de 1970, o que minimiza os custos com fertilizantes, além de lhe dar um destino correto, já que antes era despejada diretamente nos cursos d'água. O presente trabalho tem como objetivo mostrar as principais alternativas para valorização da vinhaça usadas atualmente, sendo elas a fertirrigação, concentração e produção de biogás. Dessa forma, pesquisa estão sendo realizadas com o intuito de desenvolvimento de tecnologias e aperfeiçoamento das já existentes. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre como agregar valor à vinhaça. A concentração tem como principal objetivo reduzir a quantidade de vinhaça a ser levada para o campo com o objetivo da fertirrigação, pois o custo para seu transporte é muito caro. Por outro lado, a produção de biogás a partir de reatores UASB visa a produção de energia, assim, reduzindo custos da indústria neste setor.

Palavras chave: vinhaça, fertirrigação, concentrador, biogás.

# 1 INTRODUÇÃO

A atividade da agroindústria da cana-de-açúcar, desde a época do Brasil colonial, possui relevante importância, contribuindo para o desenvolvimento social, econômica, geração de emprego e renda nas regiões onde se encontra instalada. A crescente demanda energética aliada a uma forte conscientização ambiental fez com que o bioetanol se consolidasse como uma fonte de energia renovável muito atrativa.

Em consequência das mudanças climáticas fez-se necessário o uso de medidas de responsabilidade entre os setores públicos e privados com o objetivo de evitar o agravamento das condições ambientais e conseqüentemente queda na produção e qualidade de vida da população, a agroindústria de cana-de-açúcar cumpre seu dever em contribuir efetivamente para proteção da água com a utilização de tecnologias voltadas para o aproveitamento hídrico de seus resíduos (QUEIROZ, 2017).

O setor sucroenergético é conhecido por seu alto número de subprodutos, como por exemplo, cinzas da caldeira, torta de filtro, bagaço, fuligem e vinhaça. Com a preocupação dos países, em relação ao meio ambiente, após a conferência de Estocolmo, fez com que essa atividade começasse a reutilizar seus subprodutos, investindo bastante em pesquisas para agregar valor a estes.

Dentre os resíduos citados acima, um tem bastante destaque, a vinhaça. A grande importância esta relacionada a seu alto volume, que é em torno de 12 a 15 vezes o valor do etanol produzido, além da economia que pode ser gerada tanto usando como fertilizante como para produção de energia (NETO, 2016).

Alguns estudos, como o de concentração da vinhaça e tratamento anaeróbico, foram feitos a fim de agregar valor a vinhaça, os objetivos destes, em geral, são fazer com que a vinhaça deixe de ser um resíduo que seria descartado para ser uma fonte de renda ou economia a mais para as usinas sucroalcooleiras. Maneiras de valorizar e tratar a vinhaça, tais como: tratamento físico-químico, osmose reversa, evaporação, incineração, reciclagem industrial, lagoas aeróbias de jacinto, lagos de estabilização, filtros biológicos, produção de biomassa proteica fúngica ou unicelular, digestão anaeróbia e fertirrigação, são algumas das pesquisas realizadas nessa área.

Segundo Rocha (2012), apesar de haver muitas formas de se aproveitar este subproduto, algumas destas são inviáveis economicamente, sendo as viáveis e mais comuns a evaporação, fertirrigação e digestão anaeróbica. Devido a essa importância, o presente trabalho irá estudar maneiras de valorizar esse subproduto, pois, como estabelecido pelas regras ambientais, as



usinas têm que dar um fim a este de forma a não prejudicar o meio ambiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral estudar alternativas para o uso da vinhaça

### **2.2 Objetivos específicos**

Realizar um estudo bibliográfico a respeito do processo de fabricação do álcool onde é originada a vinhaça.

Analisar a composição da vinhaça, oriunda de usinas sucroalcooleiras.

Estudar as diferentes alternativas sobre tratamento e valorização da vinhaça

Analisar economicamente as alternativas mais utilizadas nas indústrias

## **3 CONTEXTO HISTÓRICO DA CANA DE AÇÚCAR**

Por volta do século VI a.C., em Nova Guiné, sudoeste do Oceano Pacífico, foi o primeiro lugar que o homem teve contato com a cana de açúcar. A chegada desta no Brasil, entretanto, se deu no século XVI através do colonizador português Martim Afonso de Souza. Este construiu o primeiro engenho em 1532, em São Vicente – litoral de São Paulo. A região se desenvolveu muito rápida, influenciando o surgimento de outros vilarejos, como São Paulo e Santos. A partir desse momento começou o ciclo da cana de açúcar, primeira atividade econômica organizada no Brasil (UDOP).

O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar surgiu, no Brasil, basicamente por duas razões: a necessidade de amenizar as sucessivas crises do setor açucareiro e a tentativa de reduzir a dependência do petróleo importado. Nesse sentido, no início do século XX, ocorreram as primeiras ações de introdução do etanol na matriz energética brasileira. Em 1925, surgiu a primeira experiência brasileira com etanol combustível. Em 1933, o governo de Getúlio Vargas criou o Instituto do Açúcar e do Álcool – IAA e, pela Lei nº 737, tornou obrigatória a mistura de etanol na gasolina (COTÉZ e LEITE).

O álcool combustível teve seu auge na década de 1970, quando o mundo viveu a grande crise do petróleo. Esta ocorreu, pois, os países exportadores daquela época supervalorizaram o

preço em protesto ao apoio dos EUA a Israel na Guerra de Yom Kippur. Devido ao aumento do preço do barril de petróleo, que fez com que as importações do Brasil com petróleo quase que quadruplicasse, da possibilidade de esgotamento e necessidade de utilização de energia limpa e renovável, o governo lança, em 1975, o Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, com o objetivo de substituir os veículos movidos a gasolina por veículos movidos a etanol. Na década de 1980, com o aumento na produção de petróleo no Brasil e a queda no seu preço internacional fez com que o governo reduzisse a interferência no mercado do etanol, desestimulando a indústria e acabando com a fase de expansão do PROÁLCOOL (NOVA CANA).

Em 1992, o Brasil sediou a Rio 92, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, onde, especialistas do mundo inteiro se reuniram para discutir meios de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação dos ecossistemas do planeta. Neste evento foi mostrado, pela primeira vez, um estudo sobre o papel do etanol na redução dos gases estufa, quando comparado à gasolina, resultados estes mostrados na Figura 1 (ÚNICA).

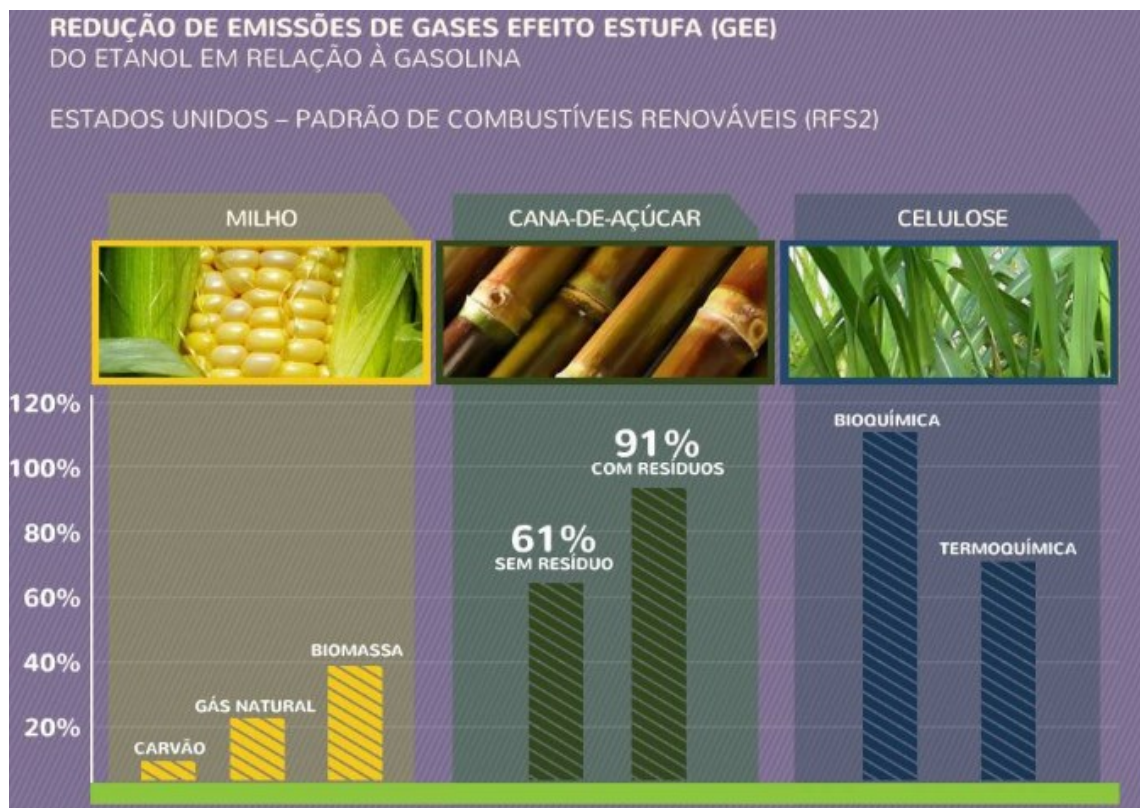


Figura 1 - Redução do efeito estufa

Fonte: UNICA (2012)

Os automóveis flex foram lançados, no Brasil, no ano de 2003, com capacidade de funcionar com etanol hidratado, gasolina ou com as misturas dos dois combustíveis. A comercialização desses carros novos em 2010 já representava 95%. Com a chegada dessa tecnologia até meados de 2012 a quantidade reduzida de emissões de CO<sub>2</sub> foi mais de 160 milhões de toneladas (ÚNICA).

As usinas sucroalcooleiras, também, têm um grande potencial de geração de energia elétrica. Em 1986 foi assinado o primeiro contrato de venda de energia excedente numa usina sucroalcooleira, energia essa obtida a partir da queima do bagaço de cana. Atualmente, os leilões são a porta de entrada para a bioeletricidade na rede nacional de energia elétrica. O primeiro leilão ocorreu no Rio de Janeiro, no ano de 2005, e cinco anos depois a energia advinda da cana de açúcar já era suficiente para abastecer 5 milhões de residências em 1 ano (COTÉZ e LEITE).

Em decorrência da política de produção e consumo de energia limpa, tanto pelo Brasil como os demais países, buscam-se alternativas para produção de energia renovável, com intuito de diminuir a emissão de gases de efeito estufa. A produção de etanol obtido a partir da cana-de-açúcar apresenta grandes vantagens, para o país, como a detenção pelo setor de tecnologias avançadas para produção, além de não necessitar de aumento da área destinada à produção.

Além disso, o conceito de aproveitamento dos resíduos está sendo, cada vez mais, aplicado nas indústrias. O aproveitamento destes está associado a alguns fatores, tais como danos ao meio ambiente se descartados de maneira inadequada e desperdício de um possível subproduto que quando processado possa vir a ter um maior valor agregado, gerando uma renda extra.

## 4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL

O etanol é uma substância que não é encontrada pura na natureza, assim, para obtê-lo é necessário uma série de processos. No Brasil, este é comumente produzido a partir da fermentação das moléculas de açúcar presentes na cana de açúcar, mas também pode se usar milho, beterraba, batata, trigo e mandioca. As etapas para se conseguir o etanol a partir da cana de açúcar em usinas anexas, ou seja, que produzem açúcar e álcool, estão descritas na Figura 2 (NOVA CANA).

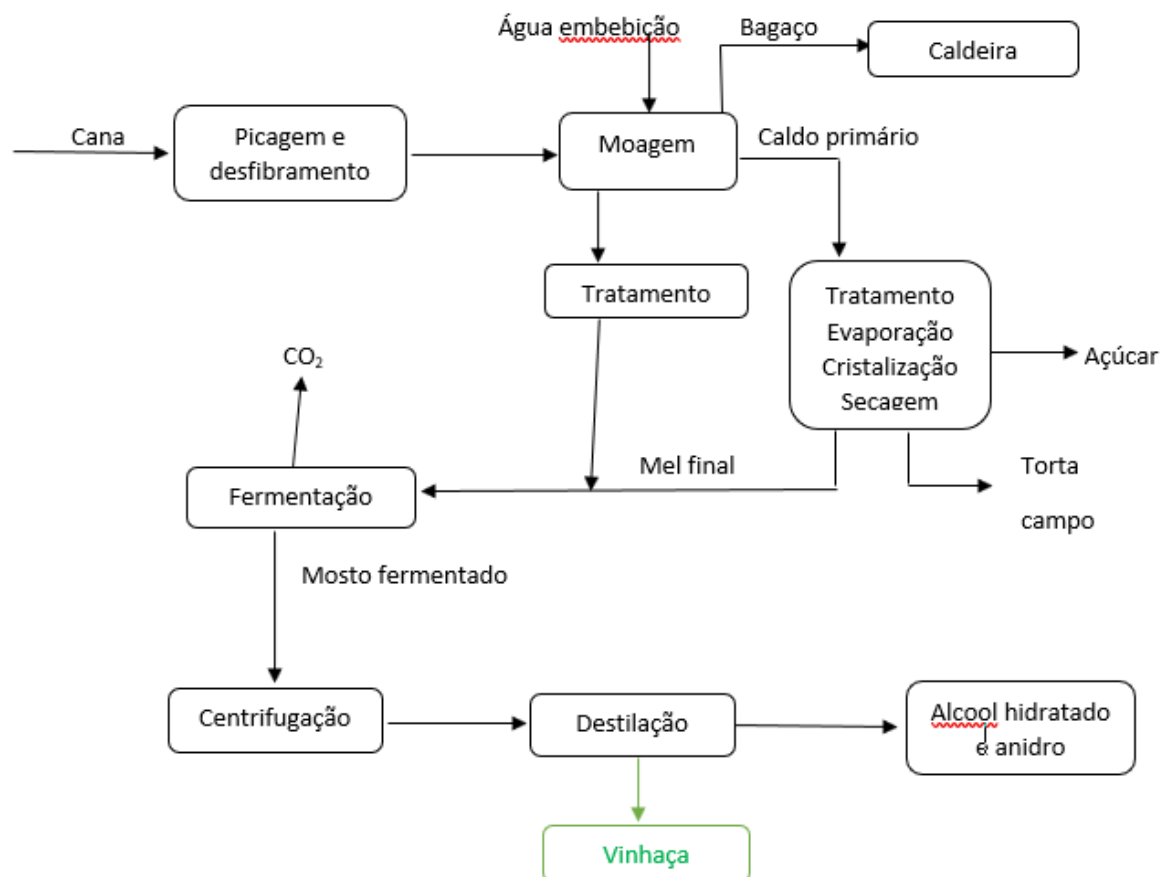


Figura 2 - Fluxograma da produção de etanol e açúcar

Fonte: Adaptado DE MELLO (2012)

As etapas a seguir irão explicar detalhadamente, apenas, o processo de produção de álcool.

## **4.1 Etapas**

### **4.1.1 Recepção da matéria prima**

De acordo com Rangel (2009) o descarregamento da matéria prima é composto pelo CCT (corte, carregamento e transporte), pela recepção e descarregamento e também pela armazenagem no pátio da usina. A cana de açúcar é cortada no campo e levada diretamente para a usina, onde passa por um processo rápido de amostragem e depois pode ser armazenada por um curto período antes de ser levada para a moagem.

### **4.1.2 Controle de qualidade**

Segundo a EMBRAPA (2004) a qualidade da cana de açúcar está relacionada com dois fatores: a riqueza da cana em açúcares e o potencial de recuperação dos açúcares da cana. Amostras destas são recolhidas assim que chegam no pátio e são analisadas no laboratório alguns dos seguintes indicadores: POL (sacarose aparente), pureza, ATR (açúcar total recuperável) na cana e porcentagem de fibra.

### **4.1.3 Limpeza**

A limpeza da matéria prima é feita com o objetivo de maximizar a vida útil dos equipamentos, pois, essa retira areias, terras, entre outros, que poderiam vim a danificar estes. Essa etapa pode ser feita por lavagem ou a seco, sendo a segunda a mais comum. O processo a seco faz a limpeza por um sistema de ar que sopra a cana, normalmente em posição transversal e no momento de uma queda, quando o lençol da matéria-prima se torna disperso. (CHERUBIN, 2019)

### **4.1.4 Extração do caldo**

O processo de extração do caldo pode ser feito por dois meios: moagem e difusão. Segundo o portal NOVA CANA, no Brasil, a maneira mais usada é a primeira. Esta consiste em fazer a cana passar entre dois rolos, esmagando-a e, assim, produzindo caldo e bagaço. Já no segundo, a cana é submetida à um processo de lixiviação e percolação, em que é colocada sobre um leito onde ocorre a retirada dos açúcares através da lavagem da cana desfibrada por adição de água a alta temperatura.

#### 4.1.5 Tratamento do caldo

De acordo com a EMBRAPA o caldo extraído contém impurezas, tais como: areia, terra, bagaço e alguns pedaços da cana de açúcar. O tratamento desse tem os seguintes objetivos:

- eliminação de impurezas grosseiras (bagacilho, areia), que aumentam o desgaste dos equipamentos e as incrustações, além de diminuir a capacidade de produção e dificultarem a recuperação do fermento;
- máxima eliminação de partículas coloidais, responsáveis pela maior formação de espuma e também por dificultarem a recuperação do fermento;
- preservação de nutrientes, vitaminas, açúcares, fosfatos, sais minerais e aminoácidos livres, necessários ao metabolismo das leveduras;
- minimização de contaminantes microbianos, os quais competem com as leveduras pelo substrato e podem produzir metabólitos tóxicos a estas, diminuindo a eficiência e a viabilidade do fermento.

Na primeira parte do tratamento é realizado o peneiramento que é responsável por reduzir a quantidade de partículas leves e pesadas. Após isso, o caldo é tratado com leite de cal, caleação, provocando a floculação e a decantação das impurezas, protegendo os equipamentos contra a corrosão. Na etapa seguinte é realizado o aquecimento do caldo para em torno de 103 °C com o objetivo de diminuir a contaminação microbiana. Feito isso, será realizado a decantação, onde ocorre a separação por gravidade das impurezas, esse processo ocorre com pouca intensidade visando ter uma mínima perda de nutrientes (EMBRAPA).

#### 4.1.6 Concentração do caldo

Após o tratamento do caldo este é levado para o pré aquecedor com o objetivo de elevar o Brix a aproximadamente 25° e gerar vapor vegetal da água evaporada (GONÇALVES, BLOCK, *et al.*, 2015).

#### 4.1.7 Fermentação

Em destilarias autônomas o mosto é obtido apenas do caldo de cana, já em destilarias anexas, após separação na centrífuga, será adicionado ao melaço uma quantidade de água ou caldo, para ficar com uma concentração de 18° a 22° brix, originando o mosto, que deve ter pH

entre 4.5 e 5. O mosto é adicionado a dorna de fermentação para começar o processo fermentativo, que é dividido em três partes: fermentação preliminar, fermentação principal e fermentação complementar. Em relação à condução da fermentação estas são classificadas segundo o regime de alimentação das dornas e do desenvolvimento da fermentação, em processos contínuos e descontínuos, sendo estes denominados batelada alimentada ou simples (MENEGUETTI, MEZARROBA e GROFF, 2010).

#### 4.1.8 Destilação

O vinho, mosto fermentado, que é composto por componentes sólido, líquidos e gasosos, é submetido ao processo de destilação, como mostra a Figura 3, para separar as substâncias voláteis e condensáveis.

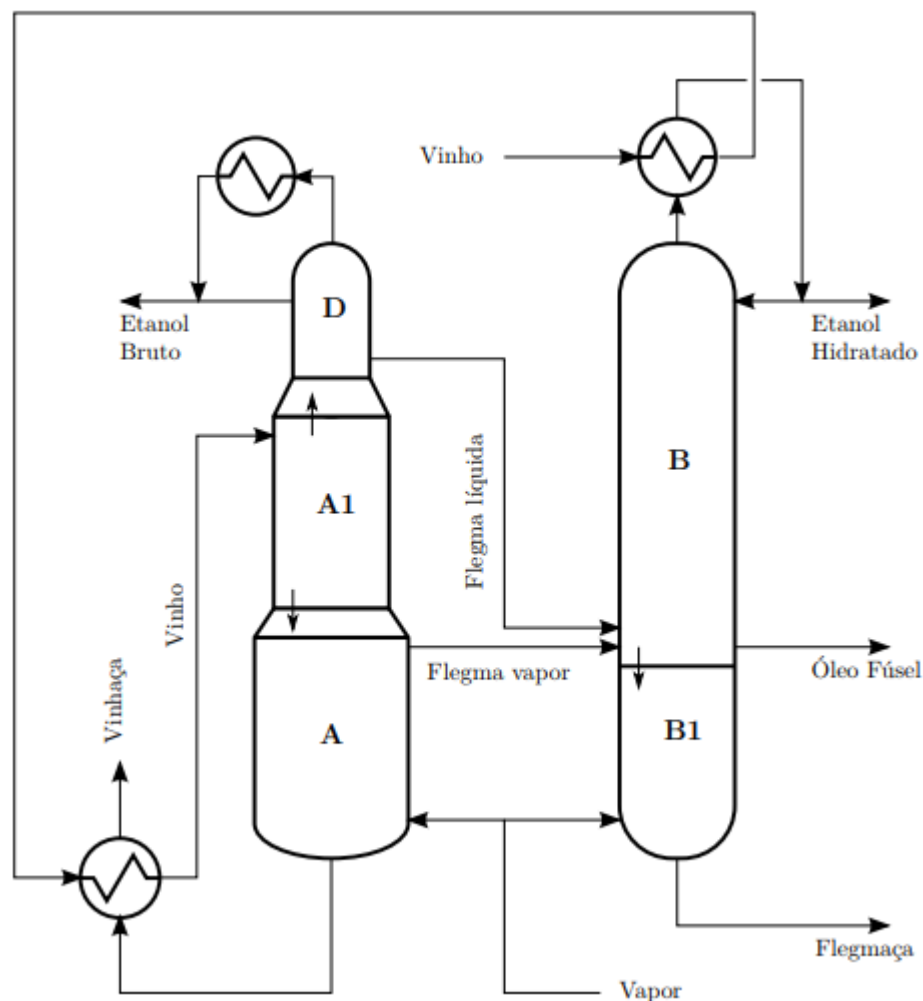


Figura 3- fluxograma do processo de destilação do etanol

Fonte: Mundo da cana (2009)

De acordo com Fonseca (2014) na primeira parte do processo são utilizadas três colunas superpostas, onde o etanol é separado do vinho inicialmente com 7° a 10°GL. O vinho é alimentado no topo da coluna A1 e desce pelas bandejas, sendo a flegma retirada no fundo da coluna D e enviada para o fundo da coluna B. No fundo da coluna A se produz vinhaça, que é retirada numa proporção de aproximadamente de 13 litros de vinhaça para 1 litro de água. O etanol hidratado é obtido um prato abaixo do topo da coluna B e os vapores produzidos no topo são usados para pré-aquecer o vinho.

## 5 A VINHAÇA E SUAS UTILIZAÇÕES

A partir do processo descrito anteriormente, foi possível entender de onde vem a vinhaça. Este resíduo pode ter diferentes concentrações de potássio e outros materiais de acordo com o material de origem (mosto), essa diferença pode ser vista pela Tabela 1. A vinhaça gerada a partir da fermentação do melão é mais concentrada em relação a gerada com caldo de cana de açúcar.

Tabela 1 - Composição química da vinhaça

Fonte: EMBRAPA

Parâmetro	Melão	Caldo	Misto
pH	4,2-5,0	3,7-4,6	4,4-4,6
Temperatura (°C)	80-100	80-100	80-100
DBO (mg/l O <sub>2</sub> )	25000	6000-16500	19800
DQO (mg/l O <sub>2</sub> )	65000	15000-33000	45000
Sólidos totais (mg/l)	81500	23700	52700
Sólidos voláteis	60000	20000	40000
Sólidos fixos (mg/l)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg/l N)	450-1610	150-700	480-710
Fósforo (mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	100-290	10-210	9-200
Potássio (mg/l K <sub>2</sub> O)	3740-7830	1200-2100	3340-4600
Cálcio (mg/l K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	450-5180	130-1540	1330-4570
Magnésio (mg/l MgO)	420-1520	200-490	580-700
Sulfato (mg/l SO <sub>4</sub> )	6400	600-760	3700-3730
Carbono (mg/l C)	11200-22900	5700-13400	8700-12100
Relação C/N	16-16,27	19,7-21,07	16,4-16,43
Matéria orgânica (mg/l)	63400	19500	3800
Subst. Redutoras (mg/l)	9500	7900	8300

Rocha (2012) mostra algumas das alternativas para tratamento e aproveitamento da vinhaça:

a- **Tratamento físico-químicos:** coagulação, floculação e sedimentação com baixo



consumo de energia e remoção de DQO de até 50% havendo inclusive remoção de cor.

b- **Osmose reversa:** a vinhaça é passada por pressão por uma membrana seletiva, no permeado há redução de DQO de 90%. É um processo caro com grande consumo energético e dificuldade em encontrar uma membrana adequada.

c- **Evaporação:** para atingir cerca de 60°Brix deixando a vinhaça com consistência pastosa.

d- **Incineração:** sistema de reação em leito fluidizado. Apesar de reaproveitar os sais minerais nas cinzas, é economicamente inviável.

e- **Reciclagem industrial:** A vinhaça gerada é usada até 15 vezes para diluir o melaço antes da fermentação, isto reduz o volume de vinhaça para 1 a 2 litros por litro de álcool destilado.

f- **Lagos aeróbicos de jacinto:** a planta aquática, conhecida vulgarmente como Jacinto (aguapé), é a biomassa vegetal produzida a partir da remoção da matéria orgânica e nutriente da vinhaça, podendo ser aproveitada na ração animal ou para produção de biogás.

g- **Lagos de estabilização:** o resíduo pode ser estabilizado com prazo de até nove meses por ação fermentativa natural, em que há o desprendimento de gases com odor desagradável, infiltração e contaminação do lençol freático.

h- **Filtros biológicos:** biodegradação anaeróbica.

i- **Produção de biomassa proteica fúngica ou unicelular:** necessidade de tratamento posterior.

j- **Digestão anaeróbia:** produção de gás metano durante a degradação anaeróbia da vinhaça.

k- **Fertirrigação:** a vinhaça *in natura* é utilizada na lavoura para reaproveitamento do nitrogênio, fósforo e potássio.

A seguir serão comentados sobre as três mais comuns e viáveis aplicações da vinhaça: a fertirrigação, produção de energia a partir da digestão anaeróbia e vaporização.

### 5.1 Fertirrigação “*in natura*”

Os benefícios da vinhaça *in natura* no solo estão relacionados tanto com a diminuição dos custos com adubação quanto com a fertilidade do solo após a aplicação deste subproduto.

O uso da vinhaça repõe ao solo os minerais que as plantas dele retiram, tais como fósforo e potássio, aumenta a produtividade agrícola, eleva o pH do solo e a população microbiana e o poder de retenção de água (SANTA CRUZ, 2011).

Entretanto, o uso da vinhaça sem orientação e de forma descontrolada pode causar prejuízos, tais como salinização e contaminação de aquíferos subterrâneos. Além disso, as altas concentrações de potássio existentes na vinhaça que, apesar de não ser poluidor, favorece a formação de compostos que são potenciais poluidores de água, como o nitrato, formando por exemplo o nitrato de potássio (NOGUEIRA, 2014). Então, em 2006 foi estabelecida a normativa Técnica da CETESB P4.231, onde está escrito que a área a ser utilizada para a aplicação da vinhaça no solo deve atender certas condições, como:

- Não estar contida no domínio das Áreas de Preservação Permanente (APP) ou de reserva legal, nem nos limites da zona de amortecimento definidos para as Unidades de Conservação de Proteção Integral;
- Não estar contida no domínio de área de proteção de poços;
- Não estar contida na área de domínio das ferrovias e rodovias federais ou estaduais;
- Estar afastada, no mínimo, 1000 metros dos núcleos populacionais compreendidos na área do perímetro urbano;
- Estar afastada, no mínimo, seis metros das APP's, e com proteção por terraços de segurança;
- A profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça deve ser, no mínimo, de 1,50 m;
- A concentração máxima de potássio não poderá exceder 5% da CTC. Quando este limite for atingido, a aplicação ficará restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura, que é de 185 kg de K<sub>2</sub>O por hectare por corte;

Afim de minimizar os riscos causados pelo excesso de vinhaça no solo, o CETESB dosou a quantidade de efluente que deveria ser jogada, quantidade essa calculada pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, que foi desenvolvida levando em consideração o desenvolvimento radicular da planta e o componente em maior quantidade na vinhaça, o potássio (QUEIROZ, 2017).

O transporte da vinhaça para a fertirrigação pode ser feito via caminhão, adutoras com uso de bombeamento ou canais por gravidade. Entretanto, a vinhaça antes de ser transportada

deve passar numa torre de resfriamento para abaixar sua temperatura.

Algumas das principais razões para o uso da fertirrigação são (NOGUEIRA, 2014):

- Baixo investimento inicial requerido (tanques de decantação, caminhões, tanques, bombas e dutos);
- Baixo custo de manutenção (pouco trabalhador, diesel e eletricidade);
- Ganhos compatíveis com o investimento (há lucros compatíveis com a reciclagem de potássio do solo);
- Fecha o ciclo interno que envolve a parte agrícola e a industrial no mesmo setor, diminuindo a dependência de insumos externos (fertilizantes);
- Não envolve o uso de tecnologias complexas;

### 5.1.1 Métodos usados na fertirrigação

O sistema de transporte da vinhaça e aplicação no solo mais utilizado até poucos anos atrás era a partir do uso de caminhões-tanque, Figura 4. Apesar do uso desse mecanismo requerer baixo custo de implementação e ter alta mobilidade, este necessita de boas estradas para locomoção, frota de veículos, sistematização do talhões e planejamento de corte de cana de modo a permitir a aplicação 24 h por dia. Além disso, a dificuldade de aplicação em dias chuvosos e a compactação do solo são desvantagens que esse sistema apresenta. A utilização desse meio está limitada a distância econômica do local onde é feito o carregamento até a área de aplicação, sendo o combustível o fator principal.



Figura 4 – Descarga rápida de um caminhão-tanque sobre lavoura

Fonte: Poveda (2014)

Outra tecnologia que veio após o uso de frotas de caminhões foi a aspersão, para a implementação dessa é requerido canais, dutos ou uso dos rodotrem para o transporte da vinhaça até os talhões. Os aspersores de montagem direta e carretel enrolador (hydroroll) são os mais comuns. O primeiro consiste em um conjunto motobomba com um aspersor tipo canhão-hidráulico aspergindo vinhaça diretamente do canal (Figura - 5). Já o segundo, assim como o anterior, precisa de uma motobomba que alimente as tubulações donde estão acoplados estes equipamentos. Este possui um aspersor tipo canhão e o carretel gira acionado por uma turbina hidráulica Figura 6 (POVEDA, 2014).



Figura 5 - Aspersor tipo montagem direta succionando de canal

Fonte: UNICA (2016)



Figura 6 - Carretel enrolador succionando do canal

Fonte: UNICA (2016)

A principal vantagem do carretel é ser um sistema semi-mecanizado, assim, requerendo menos mão de obra. Além disso, tem uma boa flexibilidade de aplicação, facilidade de manejo no campo, opera em diversos relevos e tem ampla faixa de dosagem (7 a 50 mm). Entretanto, este sistema apresenta como desvantagens o requerimento de pressão de serviço, consumo de energia sujeito a ação do vento, eficiência de aplicação (BAFFA, FREITAS e BRASIL, 2009).

## **5.2 Biodigestão anaeróbia da vinhaça e aproveitamento do biogás produzido**

O processo de biodigestão anaeróbia consiste na biodegradação de sua carga orgânica. O resultado deste processo são biogás ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ) e biofertilizante com reduzida carga orgânica sem, no entanto, alterar suas propriedades fertilizantes. A biodigestão anaeróbica pode apresentar benefícios tais como: menor consumo de energia, comparados com aeróbicos; melhor manejo do lodo; menor produção de biomassa; redução dos custos de tratamento; suporta elevadas concentrações de DBO e reduz a carga orgânica da vinhaça para sua aplicação no solo (SANTA CRUZ, 2011).

Em países de clima tropical, o tratamento de efluentes por meio da biodigestão anaeróbica é vantajosa, visto que as condições ambientais nessas regiões são favoráveis. O biodigestor UASB (upflow anaerobic sludge blanket digestion) Figura 7 vem sendo utilizado para tratamento de esgotos domésticos e industriais, assim como no tratamento de lodo, atuando, como decantador primário, um reator biológico, um decantador e um digestor de lodo (NOGUEIRA, 2014).

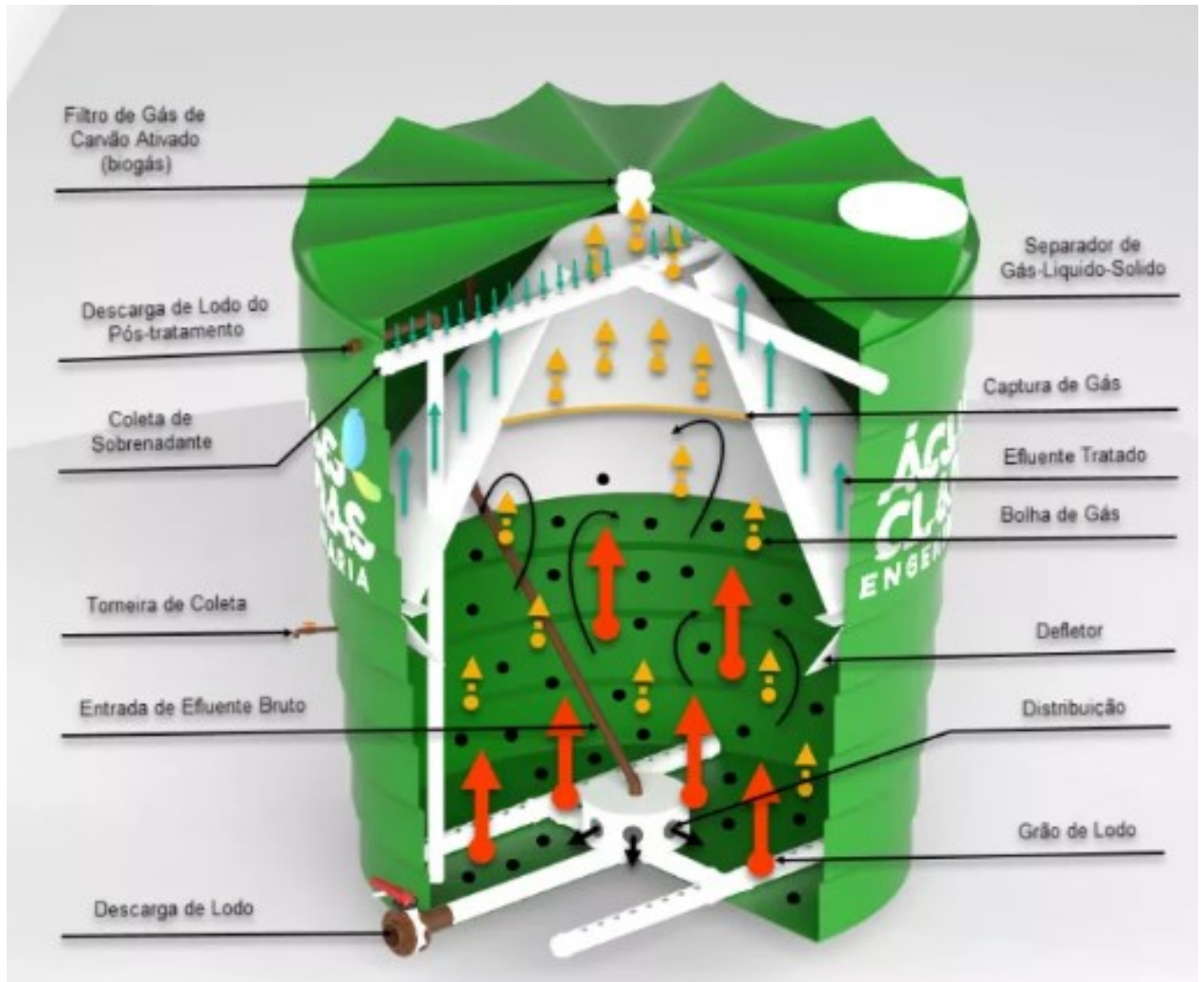


Figura 7- Reator UASB

Fonte: ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA (2017)

Segundo Szymanski (2009), os reatores UASB podem ter várias configurações, como tanques cilíndricos, quadrados e retangulares. Em todas elas, o efluente é bombeado ao topo do reator onde é distribuído na “estrutura de distribuição de vazão”, constituída por uma ou mais caixas distribuidoras de fluxo. Estas caixas são divididas internamente, conduzindo o efluente aos seus compartimentos internos. De cada um destes compartimentos, parte um tubo que conduz o efluente à parte inferior do reator, onde é liberado e inicia seu fluxo ascendente, passando pela manta de lodo e vindo a ser coletado na parte superior, em vertedores ou tubulações perfuradas. Este é o efluente do reator UASB. O gás que é produzido no compartimento de reação na forma de bolhas é coletado na parte central do separador trifásico.

O processo anaeróbico tem se mostrado bastante adequado para o processo de estabilização da matéria orgânica presente na vinhaça, assim, produzindo dois produtos finais

de valor econômico: o efluente pode ser usado com maior segurança como fertilizante, devido a redução na matéria orgânica, e o biogás como fonte de energia. (NOGUEIRA, 2014)

A partir dos produtos do processo citado acima, a principal aplicação é referente a produção de energia, utilizando elevada concentração de metano ali presente. O poder calorífico do biogás se situa em torno de 5000 a 7000 kcal.m<sup>-3</sup>, podendo atingir 12000 kcal.m<sup>-3</sup> caso o CO<sub>2</sub> seja retirado da mistura. Além dessas utilidades, o biogás pode ser queimado na caldeira para geração de vapor e acionamento da moagem da cana, também é possível utilizar parte destes para substituição dos combustíveis utilizados na agroindústria no período da safra (SZYMANSKI, 2009).

A utilização do biogás para produção de eletricidade é uma solução inovadora que diminui a necessidade de utilização de recursos não renováveis, tal como o gás natural, e ainda diminui a quantidade de gases que seriam emitidos na atmosfera, se tornando uma alternativa sustentável.

Abaixo será detalhado as principais tecnologias usadas para produção de energia em plantas, sendo elas os motores (ciclo Diesel ou Otto), as microturbinas e as turbinas.

### **5.2.1 A turbina a gás**

Assim como um motor a diesel ou gasolina, a turbina a gás é um tipo de motor de combustão interna e funciona usando o ciclo de admissão, compressão, combustão (expansão) e escape Figura 9, onde a turbina a gás tem movimento circular.

Em primeiro lugar, o ar é comprimido por um compressor, e esse ar comprimido é levado para a câmara de combustão. Na câmara de combustão, o combustível é continuamente queimado para produzir gás em alta temperatura e pressão. A turbina a gás industrial faz com que o gás produzido na câmara de combustão seja expandido na turbina (um rotor de pás feito conectando diversas lâminas a um disco redondo) para a produção de energia rotacional, que faz com que o compressor funcione na fase anterior. A energia restante é fornecida com um eixo de saída. A Figura 8 mostra o funcionamento da turbina (TAVARES e VERDÚ, 2008).

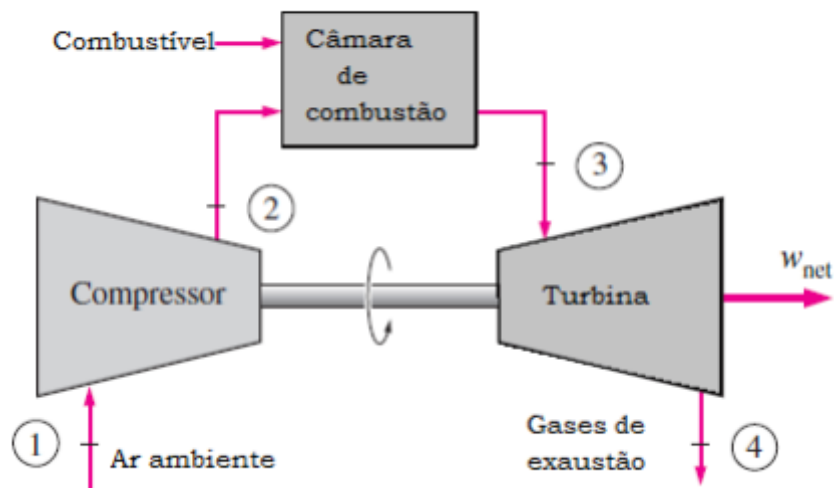


Figura 8 - Ciclo Brayton

Fonte: Laurya (2014)

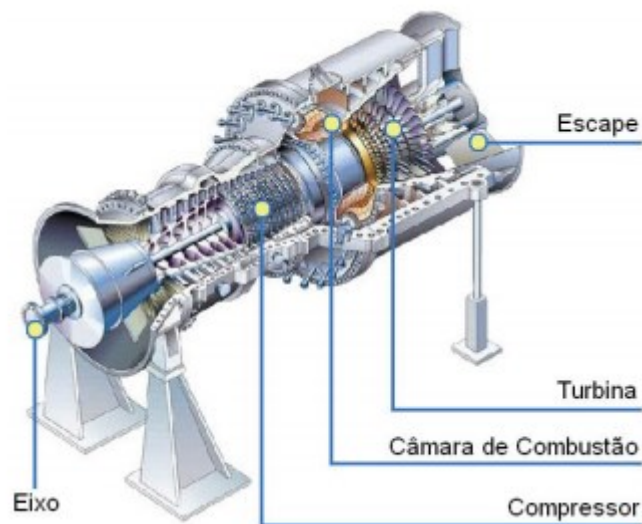


Figura 9 - Diagrama de funcionamento de uma turbina

Fonte: Tavares (2008)

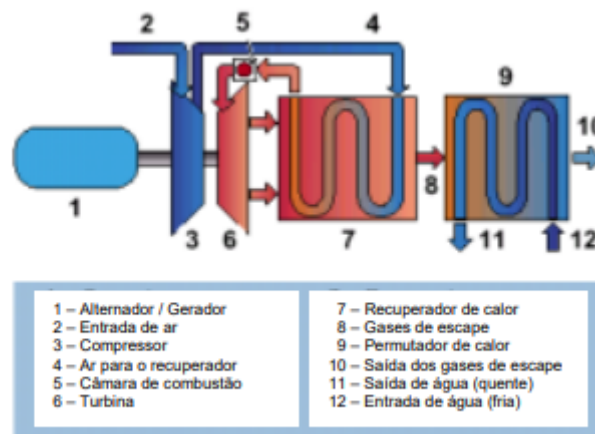
De acordo com Tavares (2008) para um bom desempenho das turbinas os gases combustíveis não podem formar cinzas na combustão, que se depositam nas palhetas das turbinas e interferem na operação, não podem conter materiais erosivos e não conter compostos que provocam corrosão das palhetas das turbinas. Além disso, o equipamento necessita de pouco tempo de parada e as plantas que a usam são caracterizadas pela rápida entrada em funcionamento, demorando de 6 a 8 minutos para atingir o regime em plena carga.



### 5.2.2 A microturbina a gás

O termo “micro-turbina” refere-se em geral a um sistema de dimensões relativamente reduzidas composto por compressor, câmara de combustão, turbina e gerador elétrico, com uma potência total disponível não superior a 250 kW. Para sistemas semelhantes, mas com potências entre 250 kW e 1 MW é usualmente utilizado o termo “mini-turbina”.

As micro-turbinas são na sua maioria turbinas a gás, onde o ar admitido é levado ao compressor para elevar sua pressão. Nesse equipamento geralmente vem integrado um sistema de recuperar calor, que permite aproveitar o calor disponível nos gases de escape para aquecer o ar novo antes deste entrar na câmara de combustão esquema mostrado na Figura 10. O calor liberado na combustão eleva a temperatura e a pressão da mistura ar-combustível. Quando a mistura passa pela turbina, esta se expande, transmitindo energia mecânica ao venho, assim, acionando o compressor e o gerador.



Fonte: Turbec AB – Brochura comercial

Figura 10 - Esquema de uma micro-turbina

Fonte: Bona 2004

Os maiores benefícios das micro-turbinas, de acordo com Bona (2004), são:

- emissões atmosféricas baixas devido à combustão contínua (A microturbina da Capstone apresenta emissões atmosféricas com  $\text{NO}_x < 9\%$  quando operando com em plena carga com gás natural);
- baixos níveis de ruído e de vibração;
- flexibilidade de combustível (pode ser utilizado gás natural, diesel, propano, biogás);
- dimensões reduzidas (uma microturbina de 30 kW tem em média a dimensão de um refrigerador doméstico) e simplicidade na instalação, podendo ser

instalada em locais cobertos ou ao ar livre;

- modularidade (as conexões da microturbina com a rede/carga são feitas de modo "plug-and-play", podendo se conectar diretamente em paralelo até 20 microturbinas da Capstone sem necessidade de equipamentos adicionais);
- baixo custo e pequena necessidade de manutenção.

### 5.2.3 Motor a combustão interna

Os motores de combustão interna Figura 11 são usados em alguns sistemas de cogeração de energia em indústrias de pequeno porte e no setor terciário. Geralmente, o uso dessa tecnologia é recomendado em situações em que o consumo de energia sofre variações ao longo do dia e as necessidades térmicas sejam pouco significativas. Além disso, esses motores têm aplicações em produção de energia de emergência e em lugares isolados. (TAVARES e VERDÚ, 2008).

Esta tecnologia, comparada aos usados em automóveis, tem aplicação em micro cogeração (<15 kW) e geralmente usa-se esses motores segundo o ciclo de Otto, como mostra a Figura – 12. Neste sistema, um combustível é misturado ao ar e comprimido num cilindro sendo a ignição da mistura induzida por uma faísca. A energia mecânica produzida é utilizada para produzir eletricidade através de um gerador elétrico (ROSA e GRADE, 2013).



Figura 11 - Motor a gás operando num sistema de geração de energia

Fonte: Tavares (2008)

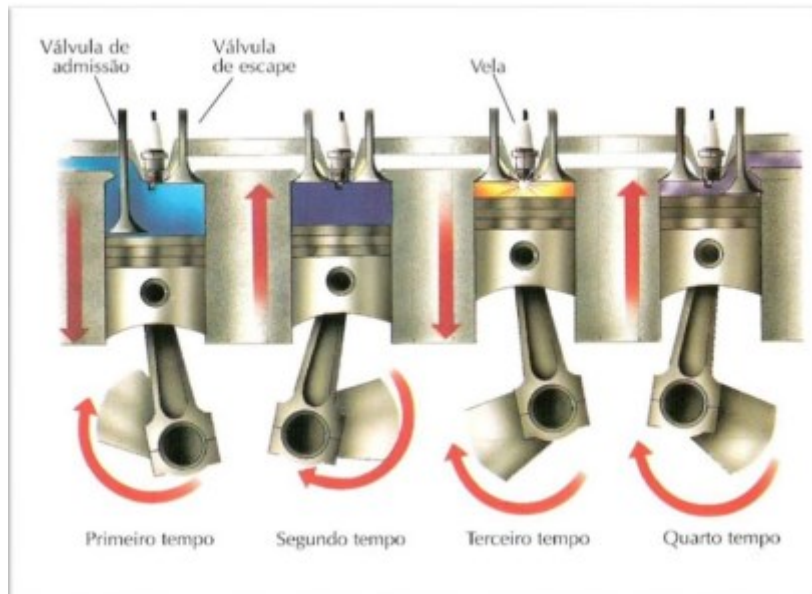


Figura 12 - Funcionamento de um motor 4 tempos, ciclo Otto

Fonte: Rosa e Grade (2013)

As vantagens e desvantagens mais importantes dos motores alternativos são:

Vantagens:

- Arranque rápido;
- Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas;
- Elevada eficiência mecânica;
- Não necessita de vigilância constante.

Desvantagens:

- Tempo de vida útil curto;
- Baixo rendimento térmico;
- Custos de manutenção elevados devido à necessidade de paradas frequentes.

### 5.3 Concentração

A evaporação é uma operação unitária largamente utilizada nos diversos ramos da indústria química e de processos com o objetivo de obter produtos mais concentrados, ou seja, com menor percentual de um soluto volátil, na maioria das vezes a água. Os evaporadores são utilizados na indústria alimentícia, de papel e celulose, sucroalcooleira, de polímeros, de fertilizantes, de compostos orgânicos e inorgânicos, dentre outras.

A energia para evaporação, na maioria das vezes, é obtida do vapor saturado proveniente

das caldeiras, o qual não entra em contato direto com o produto que se deseja evaporar. O objetivo da evaporação pode estar ligado à necessidade de diminuir os custos de transporte do produto, como por exemplo, o transporte de hidróxido de sódio anidro, que é diluído após chegar ao seu destino. Também pode estar ligado à purificação e pasteurização dos produtos como nas indústrias de alimentos.

Os primeiros registros sobre evaporadores de vinhaça datam de 1954, quando a empresa austríaca Vogelbusch instalou um sistema concentrador que se utilizava de evaporadores inclinados tipo termo-sifão. Pouco tempo depois, a mesma empresa desenvolveu o evaporador falling film, ou película fina que se utiliza do princípio de evaporação de filme descendente (CARVALHO, 2010).

No Brasil, as duas primeiras instalações para se concentrar a vinhaça foram instaladas em 1978. Uma delas foi instalada na Usina Tiúma em Pernambuco e foi projetada por uma empresa nacional chamada Borag, sendo integrada à destilaria de álcool da usina. A instalação teve muitos problemas de incrustações e as paradas para limpeza dificultavam a operação da destilaria. Atualmente, tanto o sistema de concentração quanto à usina está desativado (CARVALHO, 2010).

A outra unidade foi instalada na Usina Santa Elisa em São Paulo e foi fabricada pela empresa brasileira Conger sob licença da Vogelbusch. A unidade ficou parada em função do alto consumo de energia, mas em 1999 com a implantação do sistema de cogeração de energia elétrica na usina, a unidade passou a funcionar continuamente, produzindo cerca de 3 m<sup>3</sup> /h de vinhaça concentrada. O sistema permitiu que a usina reduzisse o custo de transporte da vinhaça para as regiões mais afastadas e pudesse ter a flexibilidade de dosar a concentração de cada aplicação de vinhaça conforme as características do solo. Para a aplicação da vinhaça concentrada ao solo, foi desenvolvido um caminhão tanque com bomba de pressurização e barra aplicadora de sete metros de largura que possibilitou a dosagem em cerca de 5.000 ha (CARVALHO, 2010).

A concentração da vinhaça, principalmente por evaporadores de múltiplos efeitos, tem como objetivo reduzir a quantidade de água presente neste resíduo, reduzindo o seu volume e conseqüentemente os custos com transporte e aplicação na fertirrigação. Com o avanço de tecnologia, como mostrado acima, essa é uma tecnologia que vem sendo usado cada vez mais, principalmente após a difusão da cogeração de energia.

### 5.3.1 Tecnologia para concentração da vinhaça

O tipo de evaporador a ser usado em uma planta irá depender do soluto e do solvente. O soluto pode ter algumas características tais como ser termo-sensível, tender a polimerizar ou incrustar na área de troca térmica. Em relação ao solvente, este pode ter alta viscosidade dificultando o fluxo e troca térmica, sendo a viscosidade do soluto o fator que determina o limite superior da concentração. Para a escolha do evaporador tem-se que levar em conta as variáveis concentração e taxa de evaporação que precisa ser obtida, o tipo de sistema de aquecimento e recuperação de calor e o mais importante a viscosidade do fluido (POVEDA, 2014).

Em geral, os evaporadores falling film ou película descendentes são usados para valores baixos de viscosidade e altas taxas de evaporação para grandes instalações que podem concentrar até 150 m<sup>3</sup> de vinhaça in natura por hora. Seu funcionamento consiste em uma película de fluido concentrado descendo por gravidade e tendo contato permanente com a superfície de troca térmica. Ao longo do contato o fluido se aquece até a volatilização do solvente em forma de vapor. A Figura 13 mostra o funcionamento do equipamento (POVEDA, 2014).

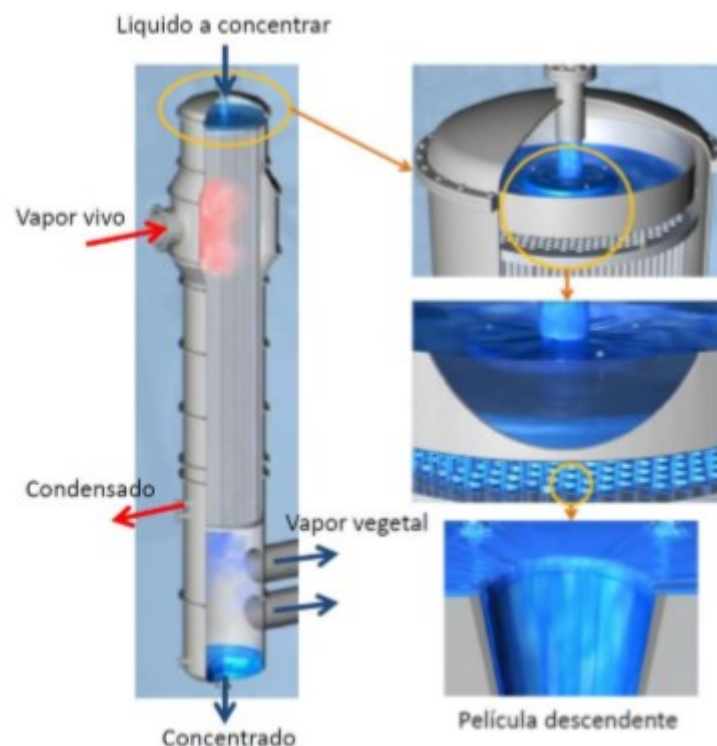


Figura 13- Evaporador Falling film

Fonte: Poveda (2014)

Os evaporadores são grandes consumidores de energia, em vista disso, são utilizadas várias estratégias para se diminuir o consumo de energia, como o sistema de evaporação em múltiplos efeitos. Neste arranjo, um evaporador é montado sequencialmente ao outro, de modo que o vapor vegetal de um evaporador (primeiro efeito) é utilizado para aquecer outro evaporador (segundo efeito) e assim sucessivamente. O vapor evaporado no último efeito passa por um condensador, encerrando o processo.

Carvalho (2010) através de dados da usina Cerradinho – SP, onde se encontra um sistema de evaporação Citrotec de cinco efeitos e produz cerca de 500 m<sup>3</sup>/dia de álcool e 250 m<sup>3</sup>/h de vinhaça, antes de passar pelo sistema de concentração, desenvolveu um trabalho para cálculo da área de troca térmica de cada efeito e também dos coeficientes globais de troca térmica do evaporador. O evaporador tem capacidade de 100 m<sup>3</sup>/h de vinhaça e geralmente recebe essa de 3 a 5° brix e a leva para 20 a 22° brix. Apesar de ser complicado a obtenção de valores precisos dos coeficientes globais, através da correlação de Rein (2007) pode-se obter valores próximos, assim como alguns valores típicos recomendados por Rein (2007) para evaporadores mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente global de troca térmica

<b>Efeito</b>	<b>Evaporação com quatro efeitos (kW/m<sup>2</sup>. K)</b>	<b>Evaporação com cinco efeitos (kW/m<sup>2</sup>. K)</b>
1° efeito	2,5	2,5
2° efeito	2,2	2,5
3° efeito	1,7	2,0
4° efeito	0,7	1,5
5° efeito	-	0,7

Para cálculo da área de troca térmica, Carvalho (2010) usou o software Sugars<sup>TM</sup>, desenvolvido para fazer simulação de processos para fábricas de açúcar de cana e beterraba.

Tabela 3 - Coeficientes de troca térmica e área de troca térmica

	Valores de U e A				
	1º efeito	2º efeito	3º efeito	4º efeito	5º efeito
U, kW/m <sup>2</sup> . K	2,50 - 3,20	2,12 - 3,04	1,92 - 2,95	1,50 - 2,86	0,70 - 2,61
A, m <sup>2</sup>	161 - 126	1430-997	688-448	1074-563	883-237

A partir dos dados apresentados acima percebe-se a não constância das variáveis, ou seja, cada efeito tendo sua particularidade.

## 6 ESTUDO DE CASOS DE USINAS: VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONCENTRAÇÃO

Silva (2015) fez um estudo de viabilidade de implementação de um concentrador de vinhaça em uma usina produtora de etanol no centro-oeste de Minas Gerais. Para tal, foi feita uma pesquisa de campo no local em estudo, analisados dados dos Recursos Humanos (RH), setor de Produção e oficina agrícola, referentes à safra 2014/2015.

O evaporador de vinhaça usado para análise foi um onde sua alimentação se dá pelo vapor utilizado na destilaria, assim, não sendo necessário o uso de um vapor vegetal ou escape adicional. Além disso, cabe ressaltar que o aparelho tem um sistema de limpeza independente, permitindo manter o processo de destilação e trabalhar com baixo consumo de energia. O aparelho em estudo pode reduzir em até seis vezes a vinhaça produzida diariamente na usina, a Figura 14 ilustra o funcionamento do equipamento (SILVA, RIOS, *et al.*, 2015).

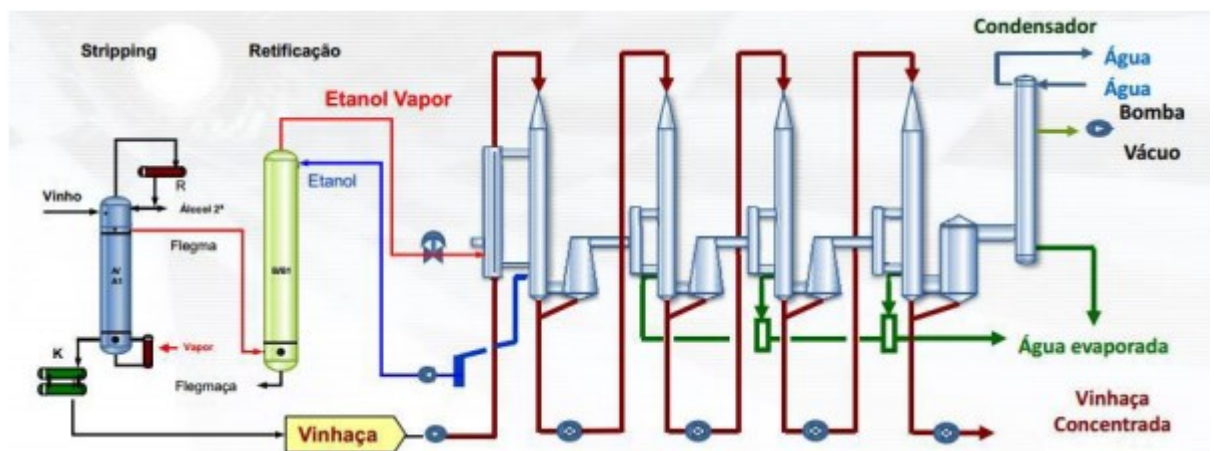


Figura 14 - Evaporador 4 efeitos

Fonte: Silva (2015)

Para o cálculo da viabilidade econômica, Silva (2014), primeiramente, calculou os custos relativos ao transporte da vinhaça para o campo, já que na usina em estudo toda a vinhaça era destinada a fertirrigação. De acordo com os dados coletados, durante os meses de abril a setembro de 2014, foram produzidos 1.121.985.816L de vinhaça (SILVA, RIOS, *et al.*, 2015).

O método usado para calcular o custo com transporte da vinhaça será um observado por Gomes (2014) em que para calcular o número de motoristas por caminhão é usado um fator de 1,2 motoristas para cada turno. Tal fator foi calculado sabendo que tem-se a folga dos caminhoneiros e também o absenteísmo. Para dois turnos temos um fator de 2,4 e três turnos temos um fator de 3,6. O custo estimado com cada caminhoneiro por mês foi de R\$ 3352,42 incluindo encargos, férias, 13º, equipamentos para proteção individual e benefícios. Além disso, o custo por mês com caminhões representa R\$ 4800,00 incluindo depreciação e manutenção. O valor gasto com combustível foi feito a partir dos dados coletados na usina, dados estes que indicam uma média de 1,7 L de óleo diesel por Km para cada caminhão, além de percorrerem aproximadamente 210 Km por dia cada a um preço de R\$ 2,50 o litro do combustível. A Tabela 4 mostra o custo total de cada segmento (SILVA, RIOS, *et al.*, 2015).

Tabela 4 - Custo anual com transporte da vinhaça

<b>Eventos</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>Total</b>
Número de funcionários	$3,6*8$	28,8 = 29
Custo anual dos motoristas	$29*R\$3352,42*12$	R\$1.166.642,16
Custo anual do consumo de combustível	$8*210*180*1,7*R\$2,50$	R\$1.285.200,00
Custo anual de depreciação dos caminhões	$R\$4.800*8*12$	R\$460.800,00

A partir da tabela acima estipula-se que custo anual com transporte de vinhaça pela indústria em estudo foi de R\$ 2.912.642,16, o que indica um alto custo para a empresa.

De acordo com Silva (2014) o custo para implementação do evaporador de quatro efeitos na unidade é onerosa (R\$ 20.000.000,00) e tem sua depreciação em torno de 5% ao ano.

Após a implementação do evaporador, pode se analisar a diminuição dos gastos com o transporte da vinhaça, como mostra o Tabela 5 (SILVA, RIOS, *et al.*, 2015).



Tabela 5 - Custo com transporte após a instalação do evaporador

<b>Eventos</b>	<b>Fórmulas</b>	<b>Total</b>
Redução na utilização de caminhões	$8 \div 6$	$1,33 = 2$
Custo de manutenção de caminhões	$R\$4.800,00 * 2 * 12$	R\$115.200,00
Utilização de motoristas	$2 * 2,4$	$4,8 = 5$
Custos trabalhistas dos motoristas	$5 * 12 * R\$3.352,42$	R\$201.145,20
Diminuição do consumo de diesel	$R\$1.285.200,00 \div 6$	R\$214.200,00

De acordo com Silva (2014) o evaporador irá diminuir em seis vezes o volume da vinhaça, com isso tem-se uma diminuição na mesma proporção do número de caminhões, custo de manutenção e combustíveis. A Tabela 5 mostra o novo valor gasto anualmente, valor este que corresponde a R\$ 530.545,20, ou seja, uma redução de mais de R\$ 2.000.000,00/ano, o que significa uma economia expressiva.

Para cálculo do payback foi considerado gasto anuais de R\$ 1.000.000,00 relativos a desvalorização do evaporador e R\$ 530.545,20 com fertirrigação o que gera um valor total de R\$ 1.530.545,20. Assim, a economia anual, visto que os gastos antes eram de R\$ 2.912.642,16, será de R\$ 1.382.096,96, logo, o prazo para se pagar o investimento é de aproximadamente 14 anos (SILVA, RIOS, *et al.*, 2015).

Após a análise destes dados percebe-se que a fertirrigação é um processo que gera muita despesa para a indústria e que a implementação do concentrador como forma de diminuir estes gastos, por mais que seja viável economicamente, é um equipamento que tem alto custo de aquisição.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O conceito de agregar valor aos resíduos está cada vez mais presentes nas indústrias e pensando no cenário atual, onde as empresas passam por frequentes mudanças devido principalmente a globalização dos mercados e aumento da competitividade que as obriga a reduzir custos constantemente, é mais do que necessário uma redefinição de seus processos produtivos.

Pensando em novos processos este trabalho teve como objetivo estudar as principais tecnologias usadas para agregar valor a vinhaça, sendo elas a fertirrigação, produção de biogás e evaporação. Apesar da fertirrigação ser a mais difundida as outras duas já estão sendo implementadas em algumas indústrias.

A fertirrigação a muito tempo é usado nas indústrias brasileiras, entretanto, devido ao alto volume de vinhaça gerado pelas usinas o custo de transporte dessa até o campo acaba sendo muito elevado, caracterizando um grande custo para as empresas. Com o objetivo de diminuir a quantidade de vinhaça transportada foi desenvolvido os evaporadores, em que estes podem concentrar cerca de seis vezes o volume, diminuindo assim o custo com a vinhaça. De acordo com o trabalho aqui desenvolvido apesar do alto custo dos equipamento para altos volumes de vinhaça produzido os evaporadores são viáveis, contudo, o payback é demorado.

O tratamento da vinhaça utilizando o reator UASB tem dois pontos principais positivos, sendo eles a geração de energia e a utilização do efluente como fertilizante com mais segurança. Neste trabalho foi citado os três principais equipamentos utilizados para aproveitar o biogás para produção de energia, sendo eles a microturbina a gás, turbina a gás e motor a combustão, cada um com suas peculiaridades.

Ainda que existam tecnologias para se diminuir os custos com resíduos, muitas plantas ainda não aderiram, principalmente devida a seu alto custo inicial. A expectativa é que tecnologias mais eficientes sejam desenvolvidas e que tanto a evaporação quanto o tratamento com UASB sejam mais frequentes nas indústrias.

## 8 REFERÊNCIAS

- BAFFA, D. C. F.; FREITAS, R. G. D.; BRASIL, R. P. C. D. **O USO DA VINHAÇA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**. UFV - Universidade Federal de Viçosa. [S.l.]. 2009.
- BONA, F. S.; RUPPERT, E. F. **AS MICROTURBINAS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. UNICAMP. Campinas. 2004.
- CARVALHO, T. C. REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE VINHAÇA ATRAVÉS DA EVAPORAÇÃO. **FÓRUM AMBIENTAL DE ALTA PAULISTA**, 2010. 17.
- COTEZ, L.; LEITE, R. O etanol combustível no Brasil. **Agencia embrapa**. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3\\_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf)>. Acesso em: 07 ago. 2018.
- DE MELLO, A. G. B. **Redução e reaproveitamento de água no processo de produção de etanol: um estudo de caso**. Dissertação - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 64. 2012.
- EMBRAPA. Qualidade de matéria-prima. **agencia.cnptia.embrapa**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_138\\_22122006154842.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html)>. Acesso em: 09 ago. 2018.
- EMBRAPA. Tratamento do caldo. **agencia.cnptia.embrapa**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_104\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_104_22122006154841.html)>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- FONSECA, G. C. **Modelagem e simulação de uma destilaria autônoma de produção de etanol de primeira geração (E1G)**. USCAR. São Carlos. 2014.
- GONÇALVES, K. Y. et al. Processo produtivo do etanol hidratado a partir da cana de açúcar. **EEPA - Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial**, 19-20 set. 2015. 9.
- LAURYA, M. L.; JUNIOR, J. V. O.; NOBREGA, C. E. L. **Análise de rendimento de uma turbina a gás utilizando resfriamento do ar de aspiração**. CEFET-RJ. Rio de Janeiro. 2014.
- MENEGUETTI, C. C.; MEZAROBA, S.; GROFF, A. M. Processos de produção de álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema. **Encontro de engenharia de produção agroindustrial**, Campo Mourão, 17-19 nov. 2010. 9.
- MUNDO DA CANA. <http://mundodacana.blogspot.com>. **Mundo da cana**, 2009. Disponível em: <<http://mundodacana.blogspot.com/2009/01/produo-de-lcool.html>>. Acesso em: 23 ago. 2018.
- NETO, A. E. **Estado da arte da vinhaça**. UNICA. [S.l.]. 2016.
- NOGUEIRA, A. C. C. **Avaliação de um sistema anaeróbio-aeróbio para tratamento da vinhaça**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 148. 2014.

NOVA CANA. Contextualização histórica do etanol. **Nova cana**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/estudos/contextualizacao-historica-do-etanol-120913/>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

NOVA CANA. Processo de fabricação de etanol. **NOVA CANA**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

POVEDA, M. M. R. **Análise econômica e ambiental do processamento da vinhaça com aproveitamento energético**. USP. São Paulo, p. 148. 2014.

QUEIROZ, F. O. **Influência da filtração no processo de concentração da vinhaça**. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, p. 78. 2017.

RANGEL, J. D. A. et al. Análise do sistema de recepção da cana de açúcar no pátio de uma usina. **enegep**, Salvador, 06 a 09 out. 2009. 15.

ROCHA, V. C. **Processo anaeróbico da vinhaça pré-tratada com biopolímero a base de cálcio**. USP - Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 86. 2012.

ROSA, R. A. B. B.; GRADE, A. M. D. M. **Sistema de Micro-cogeração com Motor de Combustão Interna: Aplicação a uma Residência Unifamiliar**. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, p. 59. 2013.

SANTA CRUZ, F. L. **Viabilidade técnica/econômica/ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça para o Setor Sucroenergético do Estado de São Paulo**. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 131. 2011.

SILVA, T. A. et al. **ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM CONCENTRADOR DE VINHAÇA EM USINA PRODUTORA DE ETANOL**. IFMG. FORTALEZA, p. 15. 2015. (15).

SZYMANSKI, M. S. E. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso, Londrina, p. 11, mar. 2009.

TAVARES, A. F. J.; VERDÚ, R. A. R. **Análise do Aproveitamento Energético do Biogás Produzido numa Estação de Tratamento de Esgoto**. UNESP. Ilha Solteira, p. 147. 2008.

UDOP. UDOP. **União dos produtores de bioenergia**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

UNICA. Histórico do setor. **União da indústria de cana de açúcar**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/linha-do-tempo/>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

ZANINI. Limpeza da cana a seco. **zanini**. Disponível em: <<http://www.zanini.ind.br/produtos/limpeza-de-cana-seco-e-aproveitamento-da-palha/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.