



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOPROCESSOS

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS
BOVINOS COMBINADOS COM BAGAÇO DE CANA E CASCA DE
CAFÉ**

Aline de Cássia Campos Pena

Orientador: Edson Romano Nucci

Ouro Branco

Dezembro 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOPROCESSOS

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS
BOVINOS COMBINADOS COM BAGAÇO DE CANA E CASCA DE
CAFÉ**

Aline de Cássia Campos Pena

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado em cumprimento das
exigências do Curso de Bacharelado em
Engenharia de Bioprocessos da
Universidade Federal de São João del-Rei.

Orientador: Edson Romano Nucci

Ouro Branco

Dezembro 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOPROCESSOS

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS
BOVINOS COMBINADOS COM BAGAÇO DE CANA E CASCA DE
CAFÉ**

Aline de Cássia Campos Pena

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Edson Romano Nucci - Orientador

Flávia Donária Reis da Silva - Examinadora 1

Demian Patrick Fabiano - Examinador 2

Ouro Branco, __/__/____

Sumário

Índice de figura.....	4
Índice de tabela.....	4
Resumo.....	5
1. Introdução	6
2. Objetivos.....	10
Objetivo geral	10
Objetivos específicos.....	10
3. Revisão Bibliográfica	11
Histórico do uso de biogás	11
Dejetos de animais.....	13
Dejeto Bovino	13
Resíduos agroindustriais.....	14
Bagaço da cana de açúcar	15
Casca de café	17
Biodigestores	19
Biodigestores de resíduos sólidos.....	20
Biodigestão anaeróbia	20
O biogás	23
Crédito de carbono.....	25
4. Materiais e métodos.....	27
Montagem dos biodigestores anaeróbios.....	27
Preparação do inoculo e substrato.....	27
Análise da quantidade de biogás e do seu poder calorífico	27
5. Resultados.....	29
6. Discussão	31
7. Conclusão	33
8. Referências Bibliográficas.....	34

Índice de Figuras

FIGURA 1. CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL EM 2010.	12
FIGURA 2. CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL EM 2011.	
Erro! Indicador não definido.	2
FIGURA 3. PROCESSAMENTO DE CANA PARA PRODUÇÃO SIMULTÂNEA DE ÁLCOOL E AÇÚCAR.	
ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	16
FIGURA 4. PRODUÇÃO DE CAFÉ VIA ÚMIDA E VIA SECA.	
ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	18
FIGURA 5. PROCESSO ESQUEMÁTICO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA A PARTIR DE MATÉRIA ORGÂNICA.	
ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	21
FIGURA 6. COMPARAÇÃO DOS VALORES DE PH INICIAL E PH FINAL DOS BIODIGESTORES.	
ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	30

Índice de Tabelas

TABELA 1. PERCENTUAL DE GASES NO BIOGÁS EM FUNÇÃO DO SUBSTRATO ORGÂNICO DE ORIGEM.	
	233
TABELA 2. PCIS DE DIFERENTES GASES.	
	244
TABELA 3. CONCENTRAÇÕES DE SUBSTRATOS PARA A MONTAGEM DOS BIODIGESTORES.	
	277
TABELA 4. VALORES DE PH NO INICIO DO EXPERIMENTO.	
	299
TABELA 5. VALORES DE PH AO FINAL DO EXPERIMENTO.	
	299
TABELA 6. ESVAZIAMENTO COMPLETO DA CÂMARA DE BIOGÁS.	
	3030

RESUMO

O Brasil apresenta uma das floras mais ricas do mundo com mais de 56.000 espécies de plantas o que totaliza em 19% da flora mundial. Esta diversidade favorece o uso de biomassa vegetal para a produção de energia. A partir de simples análises do quadro de culturas desenvolvidas no país, percebeu-se que duas plantações são destaque na economia do país, a cultura de cana-de-açúcar e do café, devido a sua grande produção.

A fim de se reunir em um único projeto a solução de dois grandes problemas ambientais, foi pensado em realizar a produção de biogás a partir de dois resíduos sólidos agroindustriais, o bagaço da cana de açúcar e a casca de café. Desta forma, será obtida uma fonte alternativa de bioenergia e haverá destinação correta dos resíduos de indústrias agropecuárias, o que inclui principalmente dejetos animais, os quais servirão simultaneamente como substrato e também inóculo da biodigestão.

O gás produzido a partir da degradação da biomassa pode ser transformado em energia. Para isto é necessário o emprego de equipamentos que realizem esta conversão, gerando assim eletricidade para o funcionamento de aparelhos residenciais e industriais. Por se tratar de uma energia obtida a partir de recursos renováveis, neste estudo, resíduos sólidos agroindustriais, a mesma se torna um produto de caráter sustentável e com baixos custos de produção.

Palavras-chave: Biodigestão Anaeróbia. Biogás. Resíduos Sólidos. Energia Limpa.

1. INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia proporcionou a criação e, conseqüente, aperfeiçoamento de máquinas essenciais ao homem no seu cotidiano, assim como a invenção de instrumentos e ou equipamentos que levaram ao avanço das ciências. A partir destes pontos citados a tecnologia e suas descobertas são vistas como uma ferramenta indispensável ao desenvolvimento e perfeito funcionamento da sociedade. Com esse avanço a demanda por energia, nas suas diversas formas, ficou cada vez maior (JANNUZZI, 2014).

Uma das invenções que pode ser classificada como uma tecnologia foi a invenção da energia, principalmente a elétrica, a qual é responsável, de uma forma geral, por mover o mundo. Atualmente, o funcionamento de quase tudo se baseia na utilização da energia elétrica. Infelizmente grande parte da energia elétrica ainda empregada é proveniente de um recurso natural não renovável, a água (JANNUZZI, 2014; COLATTO e LANGER, 2011).

Gilberto De Martino Jannuzzi, professor da Unicamp, em uma entrevista ao Jornal do Brasil destaca que a crescente demanda de energia no Brasil pode tomar proporções insustentáveis, que nenhuma nova usina seria capaz de suprir (JANNUZZI, 2014).

A fim de evitar grandes transtornos e até mesmo crises ambientais, como o problema citado anteriormente, é pensado então na produção de energias limpas, em outras palavras energias de fontes renováveis, dentre elas a bioenergia (COLATTO e LANGER, 2011).

“Dentre as fontes de energias limpas disponíveis no planeta, a bioenergia a partir de resíduos sólidos agrícolas, com a utilização de biodigestores, tem se mostrado como uma alternativa viável” (COLATTO e LANGER, 2011). Dentro desta classificação de resíduos podem ser englobados dejetos de animais (bovinos, suínos, equinos e aviários), assim como resíduos vegetais de plantações de culturas diversas (COLATTO e LANGER, 2011; GIULIETTI et. al., 2005).

A bioenergia proveniente da decomposição dos resíduos sólidos agroindustriais e dejetos animais é denominada biogás. Para obtenção desta energia limpa é necessário o emprego de biodigestores (GIULIETTI et. al., 2005).

No biodigestor os resíduos orgânicos são transformados por intermédio da digestão anaeróbica resultando em gás combustível com teores de metano e dióxido de carbono, além de outros gases, possibilitando a geração de energia (COLATTO e LANGER, 2011). A composição total do biogás gerado pode variar conforme o substrato utilizado no processo, no entanto sempre haverá a presença majoritária de metano e dióxido de carbono (COSTA e BOCCHI, 2012).

“O uso de biodigestores na degradação de biomassa ajuda no controle das emissões de gases do efeito estufa, e contribui para a destinação correta dos dejetos de animais, diminuição de esterqueiras e principalmente na geração de energia de forma correta e consciente” (COLATTO e LANGER, 2011).

A denominação de biomassa se dá a quaisquer materiais passíveis de serem decompostos por vias biológicas, ou seja, pela ação de diferentes tipos de microrganismos. A biomassa decomposta sob as ações de bactérias metanogênicas (produtoras de metano) produzem biogás em maior ou menor quantidade, em virtude de fatores como temperatura, presença ou não de oxigênio, nível de umidade, quantidade de bactérias devido ao volume e ao tipo de biomassa, entre outros (GIULIETTI et. al., 2005).

A fim de se reunir em um único projeto a solução de dois grandes problemas ambientais, foi pensado em realizar a produção de biogás a partir de resíduos sólidos agroindustriais. Desta forma, será obtida uma fonte alternativa de bioenergia e haverá destinação correta dos resíduos de indústrias agropecuárias, o que inclui principalmente dejetos animais, os quais servirão simultaneamente como substrato e também inóculo da biodigestão.

Indo de encontro com o que foi abordado, o Brasil apresenta uma das floras mais ricas do mundo com mais de 56.000 espécies de plantas o que totaliza em 19% da flora mundial. Esta diversidade favorece o uso de biomassa vegetal para a produção de energia. A partir de simples análises do quadro de culturas desenvolvidas no país, percebeu-se que duas plantações são destaque na economia do país, a cultura de cana-de-açúcar e do café, devido a sua grande produção (MALÍZIA e HOLLAND, 2001; COSTA e BOCCHI, 2012).

O aumento expressivo da plantação de canaviais no Brasil teve início quando se percebeu a necessidade de novas fontes de energia para suprir a crise do petróleo. A

produção de álcool como combustível é uma das diversas possibilidades na qual a cultura da cana-de-açúcar pode ser empregada, tendo ainda a produção de açúcar, energia, cachaça, caldo de cana, rapadura, além de outros subprodutos que podem ser utilizados como fertilizantes devido ao alto nível de nutrientes e de produção de biogás (MALÍZIA e HOLLAND, 2001).

O bagaço da cana-de-açúcar pode ser utilizado na composição do cimento a fim de melhorar sua resistência, formando assim o produto conhecido como fibrocimento. Além disto, as fibras de bagaço também são utilizadas no mercado de cosméticos para produção de sabonetes em barra esfoliantes e loção hidratante. No entanto, uma das grandes aplicações do bagaço é na produção de etanol de 2º geração. Apesar deste leque de aplicabilidade para o bagaço da cana ainda existe parte destes resíduos que não tem destino ambientalmente correto, pois o mesmo é gerado exorbitantemente (MALÍZIA; HOLLAND, 2001).

Segundo Costa e Bocchi o bagaço de cana é o resíduo agroindustrial obtido em maior quantidade no Brasil. Estima-se que a cada ano sejam produzidos de 5 a 12 milhões de toneladas desse material, correspondendo a cerca de 30% do total da cana moída (MALÍZIA; HOLLAND, 2001).

Como citado anteriormente outra plantação de destaque no país é o café. O Brasil é o maior produtor mundial e está em segundo lugar no ranking dos mercados consumidores, mas tem projeção de se tornar em breve o maior consumidor mundial. O processamento destes grãos tem gerado grandes volumes de resíduos, os quais também podem ser utilizados como fonte de energia, diminuindo custos e reduzindo a poluição ambiental. Surge então a possibilidade de tornar um subproduto de baixo uso comercial em um produto de valor agregado. Hoje, este tipo de resíduo tem uma aplicação pouco rentável. A principal utilização se limita à forragem do solo das plantações de café, como meio de manter a umidade da terra e evitar o crescimento de capim. A segunda aplicação ocorre nas granjas, no pátio onde ficam as galinhas, com a função de absorver fezes e urina dos animais, a fim de evitar a proliferação de doenças (Inovação Tecnológica, 2011).

Estima-se que, no Brasil, apenas 6% do fruto fresco seja utilizado na preparação do café como uma bebida e que os 94% restantes compreendem em água e subprodutos do processo produtivo. Durante o cultivo do café estima-se que são geradas aproximadamente dois milhões de toneladas de cascas de grãos por ano, no Brasil (Terra, 2008).

Além dos resíduos sólidos agroindustriais, os dejetos de animais podem também ser empregados para produção de biogás. A geração destes resíduos tem apresentado valores elevados atualmente, o que gera preocupações relacionadas ao destino dos mesmos, uma vez que o descarte incorreto pode levar a sérios problemas ambientais. Na última década, o Brasil vem se destacando como importante exportador e produtor mundial de carne (PIRES, 2012). O aumento da produção de carne tem sido acompanhado pela intensificação do sistema de produção. Os produtos residuais do confinamento consistem em esterco e urina. Um bovino adulto, por exemplo, pode gerar entre 24 e 30 kg de dejetos por dia. A manutenção incorreta desses dejetos pode poluir águas superficiais e subterrâneas, contaminar o solo, devido ao alto teor de matéria orgânica e acarretar em maior emissão de gases com alto potencial sobre efeito estufa (UTEMBERGUE; AFONSO; PEREIRA, 2012).

Desta forma, a elevada quantidade de todos os resíduos citados facilita a obtenção da biomassa (substrato/inóculo) necessária para a realização da decomposição da matéria orgânica e consequente formação do biogás. O processo de biodigestão anaeróbia é dependente da ação das bactérias, ocorrendo em três fases: hidrólise ou redução do tamanho das moléculas, produção de ácidos orgânicos e a produção de metano (principal componente do biogás). Como os dejetos animais saem dos intestinos carregados de bactérias anaeróbias, estes se tornam indispensáveis a produção de biogás (QUADROS; VALLADARES; REGIS, 2007).

Além das análises qualitativa e quantitativa da produção de biogás, é importante também aferir as demandas química e bioquímica de oxigênio, DQO e DBO respectivamente, as quais informarão se o resultado do processo estará sendo positivo ou não, i.e., a eficiência do processo de biodigestão. Estes dados podem ser obtidos simplesmente pelo teste de DQO, uma vez que este método oferece uma resposta mais rápida. Para este tipo de bioprocessos as taxas de DQO e DBO podem ser consideradas iguais, pois toda a reação presente acontece por vias bioquímicas (BERNI, 2011).

O gás produzido a partir da degradação da biomassa pode ser transformado em energia. Para isto é necessário o emprego de equipamentos que realizem esta conversão, gerando assim eletricidade para o funcionamento de aparelhos residenciais e industriais. Por se tratar de uma energia obtida a partir de recursos renováveis, neste estudo, resíduos sólidos agroindustriais, a mesma se torna um produto de caráter sustentável e com baixos custos de produção (BERNI, 2011).

2. OBJETIVOS

Objetivo geral

Produção de biogás a partir de dejetos bovinos combinados em um mesmo reator com bagaço de cana e/ou casca de café.

Objetivos específicos

1. Construir biodigestores de baixo custo e que apresente produção considerável de biogás;
2. Avaliar melhor a combinação de resíduo agroindustrial e dejetos animal para produção de biogás;
3. Verificar redução de matéria orgânica do efluente ao combinar dejetos com resíduos agroindustriais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Histórico do uso de biogás

O biogás, fogo fátuo ou gás dos pântanos, como ficou conhecido na época, foi descoberto em 1667 por Shirley. Este observou a presença do gás produzido naturalmente em lugares alagados como pântanos, oceanos e por fontes antropogênicas, como plantações de arroz alagadas, entre outros. Porém foi o pesquisador italiano Alessandro Volta que descobriu, em 1776, que o gás metano estava incorporado ao chamado "gás dos pântanos" (ZILOTTI, 2012).

Em 1884 Louis Pastes apresentou um trabalho de seu aluno na Academia das Ciências, considerando que o biogás produzido gerava calor e iluminação, explicado pelo alto poder calorífico apresentado pelo gás. O aluno Ulysse Gayon estudou a fermentação anaeróbia de uma mistura de dejetos e água, em uma temperatura de 35 °C, obtendo 100 litros de gás por m³ de matéria (ZILOTTI, 2012).

Somente no início do século XX, ocorreu o desenvolvimento dos primeiros digestores para produção de biogás derivados de esterco animal, propostos na Índia e na China, porém existem dados sobre um experimento com uso direto do biogás em uma cidade da Índia, Bombaim do ano de 1859 (ZILOTTI, 2012; ARRUDA, 2014).

A utilização de biogás como fonte de energia só se consolidou por volta de 1960, a fim de suprir o crescimento da demanda mundial de energia, uma vez que o combustível mais utilizado, que é o petróleo, advém de fontes não renováveis. A partir de então, muitos estudos foram realizados com esta finalidade, buscando saídas sustentáveis, como a diminuição da emissão de gases que provocam impactos globais. Muitos destes estudos foram feitos com biomassa, por apresentar baixo custo, grande potencial de geração de energia e garantindo a sustentabilidade da produção (FIGUEIREDO, 2007; LANDIM e AZEVEDO, 2006).

A energia de biomassa é aquela derivada de matéria orgânica como grãos (milho, café), árvores e plantas aquáticas, também podem ser obtida de resíduos agrícolas, florestais e animais, incluindo restos de colheitas e estrumes (HINRICHS e KLEINBACH, 2011).

O biogás pode ser produzido a partir da digestão anaeróbica da biomassa, ou seja, as bactérias convertem matéria orgânica em gás metano e dióxido de carbono na

ausência de oxigênio. O biogás pode ser utilizado para geração de energia elétrica, para aquecimento, cozimento, refrigeradores a gás (HINRICHS e KLEINBACH, 2011).

Na década de 70 iniciou-se, no Brasil, uma crise no âmbito elétrico que acontecia em paralelo com a implantação de novas políticas sustentáveis, o que fez o país sentir uma necessidade de buscar por fontes de energia renovável e baratas. A Figura 1 e Figura 2 ilustram as fontes de energia utilizadas no Brasil nos anos de 2010 e 2011, respectivamente (FIGUEIREDO, 2007; BEN, 2008).

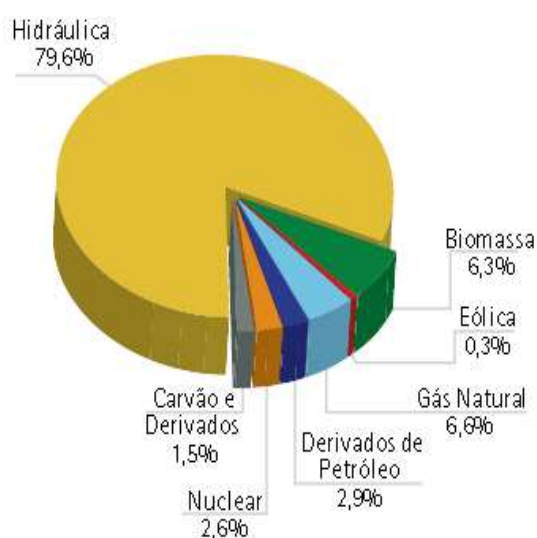


Figura 1. Consumo de energia no Brasil em 2010. Fonte: BEN, 2012.

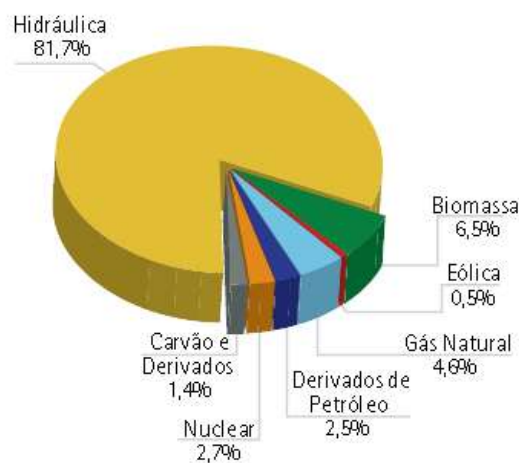


Figura 2. Consumo de energia no Brasil em 2011. Fonte: BEN, 2012.

Como pode ser visto o principal consumo energético brasileiro é de fonte hidráulica 79,6% e bem abaixo deste índice vem à biomassa com 6,3% no ano de 2010. Em 2011, o cenário continua muito parecido com um pequeno acréscimo de energia gerada a partir de biomassa passando para 6,5% da energia do país.

No ano de 2013, o índice de biomassa usada como fonte de energia continua crescente, passando a 7,6%, enquanto a fonte hidráulica apresenta uma redução de 11,1% comparada ao ano de 2011 (BEN, 2008).

Segundo o IBGE (2008), dos resíduos sólidos gerados diariamente, 27,7% são depositados em aterros sanitários, 22,5% em aterros controlados e 50,8% em lixões a céu aberto. O que revela que grande parte dos resíduos sólidos gerados não são explorados para a produção de energia, uma vez que aterros e lixões são uma fonte de biogás.

Dejetos de animais

A criação de animais para o abate vem aumentando cada vez mais, consequentemente, tem-se o aumento de urina, fezes, restos de animais, matéria orgânica e patógenos que são liberados de forma incorreta no meio ambiente. A partir desta mistura, que também pode ser chamada de dejetos, é produzido o biogás que quando lançado na atmosfera provoca danos na camada de ozônio e com isso o efeito estufa, além de contaminar o lençol freático quando infiltram no solo (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

Porém, é importante destacar que tais rejeitos podem ser utilizados como biomassa para produção de energia, tornando-os uma fonte de energia renovável e limpa, além de reduzirem a poluição no meio ambiente (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

Vários fatores podem afetar na produção do principal componente do biogás proveniente de esterco (gás metano), indubitavelmente o principal interferente é a qualidade dos sólidos voláteis contidos nos dejetos. Sendo assim, a produção de metano depende das características químicas, ou seja, a composição dos compostos orgânicos (carboidratos, lipídios e proteínas) contidos nas fezes, urina e palhas entre outros que fazem parte do resíduo total (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

As características do estrume também podem ser influenciadas pela diferença entre as espécies (tamanho, atividade), fatores ambientais (temperatura, umidade) e alimentação (digestibilidade, conteúdo de proteínas e fibras). Desta forma, devem ser avaliados os parâmetros físicos, químicos e bioquímicos dos resíduos de animais, pois são importantes no potencial de produção de biogás (GASPAR, 2003; SILVA e FRANCISCO, 2010).

O biodigestor é uma ferramenta muito conveniente usada para o tratamento dos rejeitos de animais na produção de biogás, pois possibilitam o tratamento da matéria e retornam parte da energia que seria liberada, na forma de gás para queima. Este processo diminui os custos da produção (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

Dejeto Bovino

Os dejetos bovinos são muito utilizados como fonte de adubação de forragens, sobretudo, a simples liberação desse material no solo de plantio, possibilita a

continuidade do ciclo biológico dos patógenos presentes no esterco, possibilitando a contaminação do local. Além disso, essa disponibilização no solo tem outros fatores que afetam o meio ambiente, como efeito estufa, danos na camada de ozônio e contaminação do lençol freático (GASPAR, 2003).

Desta forma, a realização de práticas de manejo que visem minimizar estes efeitos é de fundamental importância na produção, pois, além de evitarem tais efeitos, conseguem produzir energia para o sistema (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

Em média, o esterco produzido por duas vacas diariamente, gera cerca de 8m³ de biogás por dia, sendo esta energia capaz de gerar cinco horas de iluminação e ou uma hora de cozimento (GASPAR, 2003).

Resíduos agroindustriais

Nos últimos anos vem ocorrendo um aumento expressivo no número de agronegócios espalhados pelo mundo, especialmente no Brasil. Os grandes volumes de resíduos gerados por estas indústrias e a crescente preocupação com o meio ambiente tem mobilizado vários setores em busca de soluções (PELIZER et. al., 2007).

O resíduo agroindustrial necessita de destino adequado, pois não deve ser acumulado indefinidamente no local em que foi produzido ou descartado aleatoriamente. A disposição dos agroresíduos no meio ambiente, seja por emissões de matéria e de energia lançados na atmosfera, nas águas ou no solo deve ocorrer após os mesmos sofrerem tratamento e serem enquadrados nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Além de criar potenciais problemas ambientais, os resíduos representam perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição (PELIZER et. al., 2007).

A geração destes resíduos está associada ao desperdício no uso de insumos, às perdas entre a produção e o consumo, e aos materiais que, gerados ao longo da cadeia agroindustrial, não possuem valor econômico evidente. Em média, estima-se que, de 20% a 30% da safra de grãos, de frutas e de hortaliças colhidas no Brasil sejam desperdiçados no caminho entre a lavoura e o consumidor (ROSA et. al., 2007).

Bagaço de cana de açúcar

A cana de açúcar foi introduzida no Brasil no período colonial e se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira, fazendo do país o maior produtor mundial da cana, destinada, principalmente, para produção de açúcar e álcool. O setor sucroalcooleiro nacional é referência para os demais países produtores, produzindo anualmente 47,34 milhões de toneladas de açúcar e 58,8 bilhões de litros de etanol (Ministério da Agricultura, 2014).

No ano de 1973, iniciou a crise do petróleo que proporcionou a busca por fontes renováveis de energias, assim surgiu o Proálcool, visando diminuir a dependência de importação de combustíveis derivados de petróleo que oneravam a balança comercial do Brasil (THEODORO, 2011). O número de usinas cresceu e a produção passou a aumentar significadamente no país, com 8,443 milhões de hectares de plantação na safra 2011/2012.

Os biocombustíveis, principalmente o etanol, são fontes energéticas que apresentam melhores atributos ambientais, sociais, econômicos e estratégicos frente aos derivados de petróleo. Entretanto a maior parte da cana-de-açúcar é destinada à produção de açúcar, com 46,9% para a produção de açúcar, 43% para o álcool e 10,1% para a cachaça (Ministério da agricultura, 2010).

Os processos de produção de álcool e açúcar são semelhantes e pode ser realizados simultaneamente. A unidade industrial pode ser dividida nas seções de recepção/preparo/moagem, tratamento do caldo, fábrica de açúcar, destilaria de etanol, utilidades, disposição de efluentes e estocagem dos produtos. A Figura 3 mostra um diagrama de blocos do processamento da cana (REVISTA NOVA CANA.COM, 2014). Após a extração do caldo, o bagaço, constituído de fibra (46%), água (50%) e sólidos dissolvidos (4%), é transportado por esteiras rolantes para as caldeiras, sendo o excedente enviado ao pátio de estocagem. A quantidade de bagaço produzido varia entre 240kg e 280kg por tonelada de cana moída, ganhando destaque como o resíduo agroindustrial obtido em maior quantidade no Brasil. O bagaço estocado possui certa de 50% de umidade e pode ser usado como combustível nas caldeiras a vapor, gerando toda energia necessária ao processamento de cana, mas ainda sobra uma fração de cerca de 10% de bagaço residual (REVISTA NOVA CANA.COM, 2014). Considerando as características do bagaço como combustível, tem-se que a energia útil contida no vapor gerado é de 1.147 kcal/kg de bagaço (BRITO, 2011).

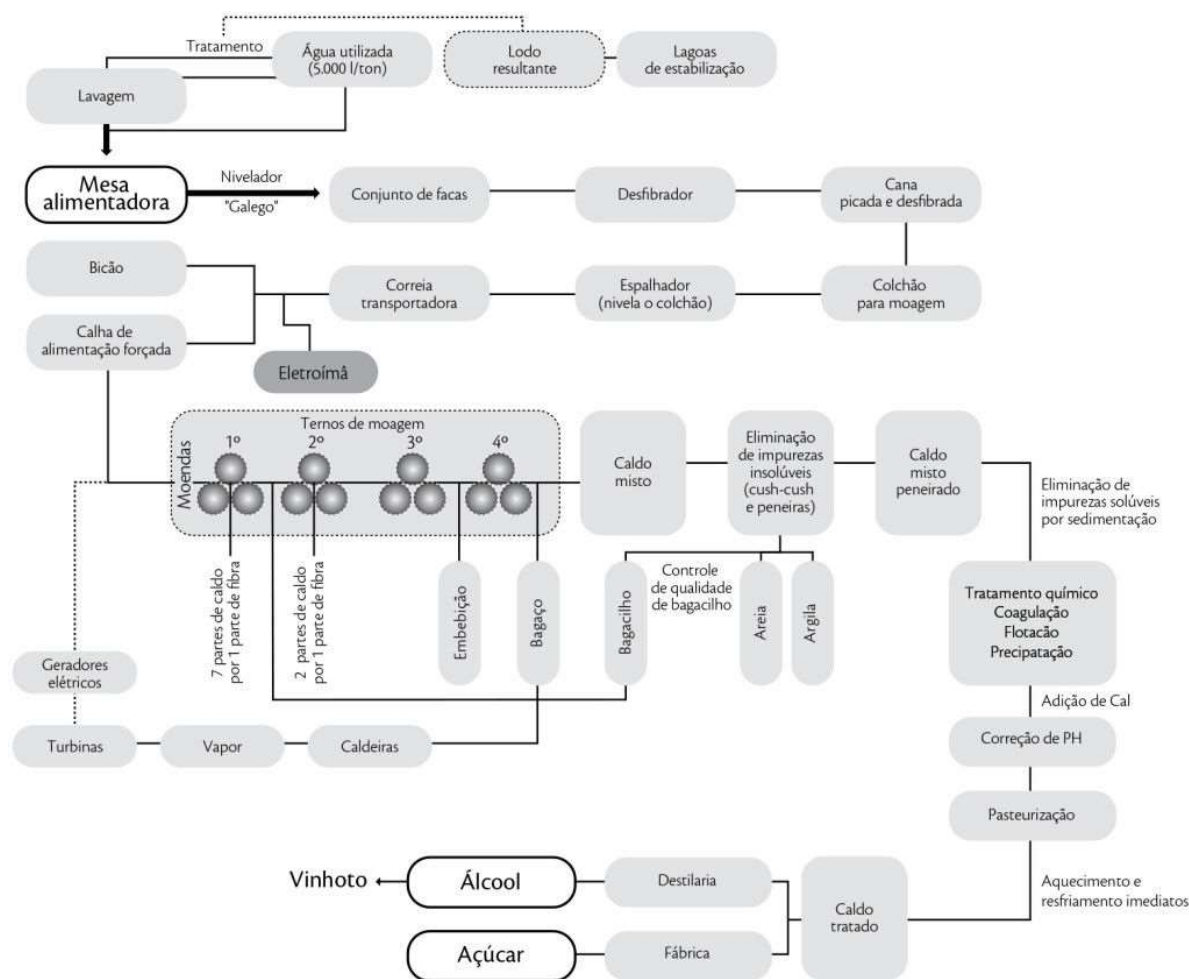


Figura 3. Processamento de cana para produção simultânea de álcool e açúcar.
Fonte: NOVA CANA, 2014.

A composição química média do bagaço é de 46% de fibras, 50% de umidade, 2% de brix (sólidos solúveis em água) e 2% de minerais. A constituição das fibras pode variar com celulose (26,6 a 54,3%), hemiceluloses (14,3 a 24,4%) e lignina (22,7 a 29,7%), e com um percentual de cinzas inferior a 5% (BRITO, 2011).

A presença de lignina e hemicelulose é considerada um problema para o aproveitamento desse bagaço de cana como substrato para outros processos mais complexos. Porém é tradicionalmente utilizado para a alimentação animal e fabricação de papel, sem muito valor (REVISTA NOVA CANA.COM, 2014).

Outras pesquisas de aplicação do bagaço estão sendo realizadas e um engenheiro ambiental descobriu que o resíduo do bagaço da cana pode retirar corantes de águas contaminadas, resultantes de processos industriais. A descoberta foi concluída em 2013 e está em processo de patente. O pó do bagaço da cana retira até 80% do corante da

água contaminada (ROSSI, 2014). Com isso, aparecem novos caminhos para a utilização do bagaço no tratamento de efluentes líquidos.

Como forma de otimizar o aproveitamento energético do bagaço de cana, pode ainda ser considerado o processo de biodigestão anaeróbia, que possibilita a produção de biogás a partir de biomassa em geral. As concentrações remanescentes de açúcar e outras substâncias orgânicas solúveis presentes no bagaço potencializam o processo de biodigestão, bem como o baixo teor de cinzas do bagaço, que é um fator positivo para o seu processamento por biodigestão por culturas de microrganismos (REVISTA NOVA CANA.COM, 2014).

Casca de café

O café é uma planta originária do continente africano, das regiões altas da Etiópia, onde ocorre espontaneamente como planta de sub-bosque. Este produto foi difundido de diferentes formas no globo e seguindo sua marcha de expansão pelo mundo, o café chegou à América, atualmente o maior consumidor e importador mundial de café (Terra, 2008).

No Brasil, o café foi introduzido inicialmente no Pará em 1727, com sementes trazidas da Guiana Francesa, o desenvolvimento da cultura confunde-se com a própria história do País devido a sua grande importância econômica e social (Terra, 2008).

O relatório “*Brazilian Coffee: Tradition and Quality*”, elaborado pelo Ministério das Relações Exteriores, indica que o café brasileiro é cultivado em 16 estados (em aproximadamente 2000 municípios) produzindo uma média anual de 38 milhões de sacas de café verde de 60kg, com uma expressão de 31% da produção global. Estes dados posicionam o Brasil como o maior produtor e exportador de café do mundo. Entretanto, a demanda de café tem sido crescente nos últimos anos (Terra, 2008).

A Figura 4 exibe o diagrama de processamento utilizado por diferentes indústrias cafeeiras.

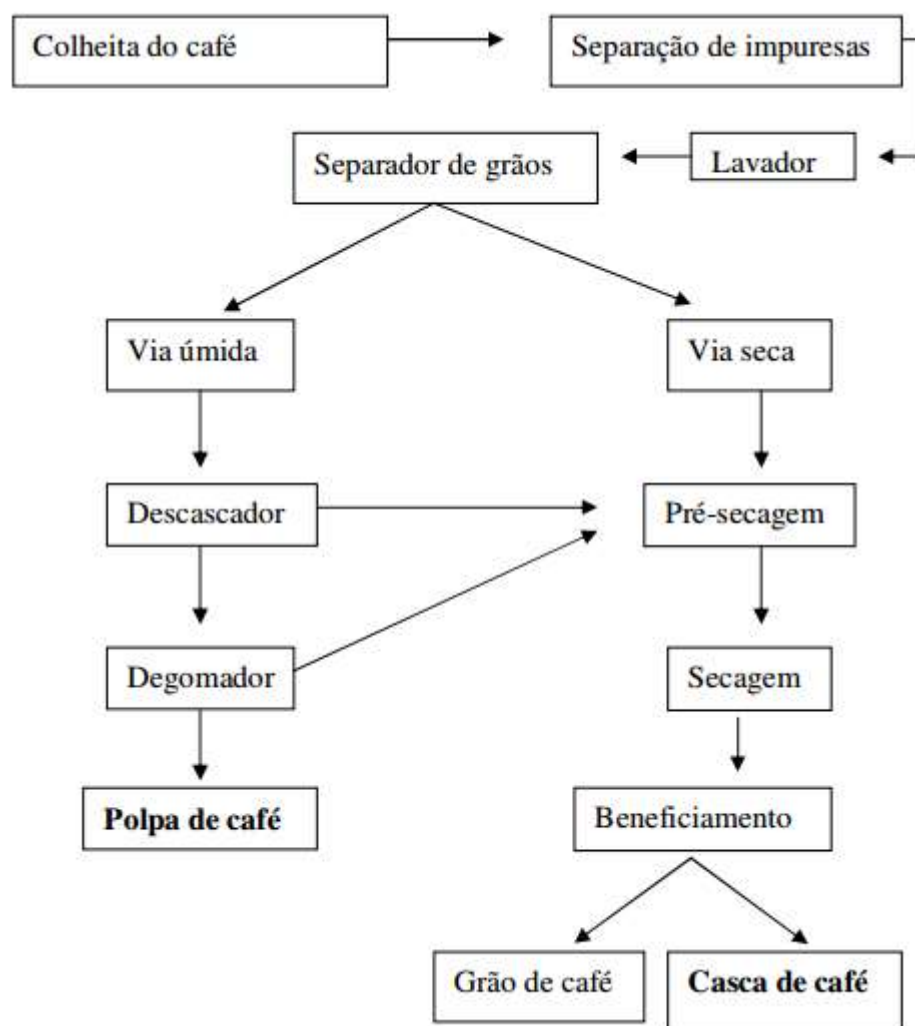


Figura 4. Produção de café via úmida e via seca (TAVARES, 2003).

No Brasil, o preparo de café majoritariamente é realizado por via seca, que consiste na secagem do café em terreiros ou pré-secadores e secadores mecânicos sem tratamento prévio, sendo beneficiado e obtida a casca de café, cujo rendimento pode atingir 50% do peso total da colheita (ROCHA et. al., 2006).

A casca de café caracteriza-se por ser um alimento fibroso, com teores de proteína bruta semelhante aos do milho e aos da polpa de citros. Os resíduos do processamento deste tipo de grão têm gerado grandes volumes que podem viabilizar sua utilização como fonte de energia (TAVARES, 2003).

Biodigestores

Os biodigestores são equipamentos constituídos de uma câmara, na qual ocorre a fermentação anaeróbia da matéria orgânica, de uma campânula para armazenamento do biogás gerado e de uma saída para o material digerido, o qual também é conhecido como lodo e após a etapa de tratamento pode ser utilizado como biofertilizante (INOUE, 2008).

Os biodigestores proporcionam a degradação de dejetos de forma que o mesmo seja tratado, promovendo assim um descarte correto e ao mesmo tempo possibilitando a geração do biogás e do lodo. O gás produzido geralmente é empregado como fonte de energia térmica, substituindo o GLP (gás liquefeito do petróleo), mas também pode ser empregado para produção de energia elétrica após processo de transformação. A captura do gás metano, principal constituinte do biogás, gera créditos de carbono, os quais apresentam valor de mercado entre os países mais poluidores do planeta, que precisam adquiri-los para contrapesar a sujeira que produzem (GONÇALVES et. al., 2009).

Os biodigestores podem ser classificados quanto ao tipo de abastecimento da biomassa, desta forma o processo de biodigestão pode ser classificado em contínuo ou em batelada. O processo contínuo é aquele em que ocorre o abastecimento diário de biomassa, com descarga proporcional à entrada de substrato. No processo em batelada ou intermitente a matéria orgânica é inserida até ocupar a capacidade máxima de armazenamento de biomassa do biodigestor, retendo-a até completa digestão e ao final da degradação retiram-se os restos da digestão e faz-se nova recarga (GASPAR, 2003).

Muitos biodigestores foram desenvolvidos de acordo com a aplicação, ou seja, com o tipo de resíduos a ser degradado, e com o nível tecnológico disponível. Desta forma pode-se dizer que os biodigestores indiano e chinês empregam baixo nível tecnológico e são aplicados principalmente ao tratamento de resíduos animais (esterco). A câmara de biodigestão de ambos é construída abaixo do solo para diminuir as variações de temperatura (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Em relação aos biodigestores que possuem abastecimento de biomassa contínuo os modelos chinês e indiano se destacam. O modelo indiano é o mais empregado no país. Este biodigestor possui um gasômetro móvel na parte superior e uma parede divisória na câmara de fermentação. O gás é produzido sobre pressão constante. O modelo chinês é construído em alvenaria e requer cuidados especiais durante a construção para evitar vazamentos, principalmente do biogás. Ele não tem uma

campânula móvel e por isto a produção do gás ocorre a uma temperatura variável. Geralmente estes biodigestores não possuem controle de temperatura, pH e agitação. Além disto, apresentam tempo de residência elevado, entre 30 e 45 dias, portanto tendem a possuir grandes volumes (GASPAR, 2003; CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

O resíduo a ser inserido no biodigestor passa por uma diluição, normalmente durante o abastecimento, a fim de se obter uma taxa de 6% a 8% de sólidos totais. Após esta etapa obtém-se o efluente a ser tratado (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Sendo assim, o uso de biodigestores nos sistemas de produção animal é visto como uma ferramenta de fácil construção, baixo custo e que promove o tratamento dos resíduos, retornando assim parte da energia que seria perdida através da queima do gás armazenado (JÚNIOR; ORRICO; JÚNIOR, 2011).

Biodigestores de resíduos sólidos

Para o tratamento de efluentes com altos teores de sólidos, até 25%, podem-se empregar biodigestores que operam em batelada. Geralmente este tipo de biorreator é interessante para o tratamento de restos de culturas e/ou zootécnicas, as quais não apresentam obtenção de resíduos diária (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Em uma instalação para tratamento de resíduos agroindustriais, o biodigestor é apenas uma parte da instalação. Além do biodigestor os processos de recuperação de sólidos antes do biodigestor, assim como o controle de acidez, entre outros parâmetros, são essenciais para garantir a eficiência do processo de biodigestão. Normalmente, após o biodigestor se faz a recuperação do lodo com retorno parcial para a câmara de biodigestão. Dependendo das características do resíduo é necessária uma etapa de redução da carga orgânica remanescente. Além disto, às vezes, torna-se necessária a sedimentação e a clarificação do efluente, os quais serão aplicados dependendo da forma de disposição das águas (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Biodigestão anaeróbia

O processo de oxidação da matéria orgânica em ambientes anaeróbicos ocorre de forma natural, de ocorrência espontânea, onde há a transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, como metano, dióxido de carbono,

água, dentre outros, através da ação combinada de diferentes microrganismos (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Diferente da decomposição da matéria orgânica por via aeróbia o acceptor final de elétrons não é o oxigênio, mas sim nitratos, sulfatos e dióxido de carbono (formação de biogás). A formação de biogás em maior quantidade permite explorar essa técnica para tratamento de efluentes e cogeração de energia. O biogás é composto principalmente por metano e este pode ser usado como biocombustível (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009; BRITO, 2011).

A biodigestão anaeróbia envolve três processos que ocorrem sequencialmente dependentes das bactérias acidogênicas, acetogênicas e metanogênicas. A Figura 5 representa a formação de metano a partir de biomassa (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).



Figura 5. Processo esquemático de biodigestão anaeróbia a partir de matéria orgânica.

O processo inicia pela ação das bactérias fermentativas acidogênicas que hidrolisam e fermentam compostos orgânicos mais complexos como os lipídeos, proteínas, carboidratos, e também mais simples como ácidos orgânicos, hidrogênio e dióxido de carbono. As bactérias sintotróficas acetogênicas atuam sobre compostos orgânicos intermediários como propionato e butirato. Por fim, as metanogênicas convertem acetato e hidrogênio em metano e dióxido de carbono (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Na etapa da acidogênese, os compostos mais complexos são inicialmente hidrolisados em compostos mais simples para que possam ser fermentados pelas bactérias acidogênicas, já que para isso os substratos precisam atravessar a parede celular do microrganismo. As bactérias fermentativas são as primeiras a atuar sobre esses compostos mais simples, principalmente ácidos orgânicos, beneficiando energeticamente, até o esgotamento do substrato. Os microrganismos mais comuns nessa ação são dos gêneros *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, entre outros. Os produtos gerados pela atividade das bactérias acidogênicas são substratos para as bactérias acetogênicas e para aqueas metanogênicas (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

As bactérias acetogênicas atuam na segunda etapa da biodigestão, oxidando compostos intermediários em substratos (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono) para as metanogênicas. A alta produção de acetato acarreta numa queda significativa do pH, entretanto não compromete no processo em condições ideais da biodigestão. Os gêneros mais conhecidos dessas bactérias são *Syntrophobacter* e *Syntrophomonas* (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

A etapa final cabe à ação das bactérias metanogênicas, classificadas dentro do domínio *Archea*, que utilizam um limitado número de substratos. Esses microrganismos são habitantes comuns de pântanos, solos profundos e trato gastrointestinal de animais. O papel principal das metanogênicas nos ambientes anaeróbicos é a remoção de hidrogênio e produtos da fermentação. A oxidação de ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono resultam em dióxido de carbono e o produto de maior interesse nesse processo, o metano (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Os fatores que influenciam no processo anaeróbio são temperatura, pH, nutrientes no meio, toxicidade causada pelos compostos produzidos, tempo de retenção e impermeabilidade ao ar (SALOMON, 2007).

O processo de biodigestão anaeróbia é uma tecnologia já estabelecida e de menor custo operacional, podendo ser aplicada em biodigestores de pequenas e grandes escalas, com os mais diversos substratos orgânicos (BRITO, 2011).

O tratamento de efluentes por digestão anaeróbia apresenta vantagens como destruir organismos patogênicos e parasitas, produção de baixa biomassa determina por menor volume de dejetos e menor custo, capacidade de estabilizar grandes volumes de dejetos orgânicos diluídos a baixo custo, além de ser possível a utilização de metano como uma fonte de energia (BRITO, 2011).

Para que um processo de biodigestão anaeróbica apresente bons rendimentos os nutrientes como fosforo, nitrogênio e fosfatos devem estar presentes no meio, o pH deve estar entre 6,5 e 7,5 e a temperatura de 25°C a 35°C (SALOMON, 2007).

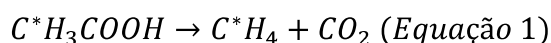
O biogás

O biogás é um gás incolor, relativamente inodoro, inflamável, estável e não tóxico, que se dá através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, pela ação de alguns microrganismos. Sua composição varia de acordo com o material orgânico submetido à digestão e do tipo de tratamento anaeróbio ocorrido (Tabela 1), sendo composto principalmente por metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂). A presença de gás sulfídrico (H₂S) e/ou amônia (NH₃) também é comum no biogás, porém com teor mais reduzido (SALOMON, 2007; BRITO, 2011). No processo de biodigestão domestica a média é de 70% a 80% de CH₄ e de 20% e 30% de CO₂ (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

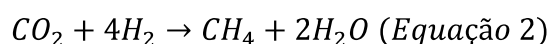
Tabela 1. Percentual de gases no biogás em função do substrato orgânico de origem.

Componente	Resíduos domésticos	Lodo de plantas de tratamento de água residuais	Resíduos agrícolas	Resíduos industriais agro-alimentícios
CH ₄ (%vol)	50-60	60-75	60-75	68
CO ₂ (%vol)	34-38	1-33	19-33	26
N ₂ (%vol)	0-5	0-1	0-1	-
O ₂ (%vol)	0-1	<0,5	<0,5	-
H ₂ O (%vol)	6 (a 40°C)	6 (a 40°C)	6 (a 40°C)	6 (a 40°C)

O produto de principal interesse do biogás é o metano. Existem dois mecanismos básicos para formação do metano, pela decomposição de ácido acético e pela redução de gás carbônico. A decomposição por ácido acético ocorre na ausência de hidrogênio, onde o grupo metil do ácido acético é reduzido a metano, enquanto o grupo carboxílico é oxidado a gás carbônico (Equação 1), as bactérias metanogênicas acetoclásticas são as envolvidas do processo (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).



Quando o hidrogênio se encontra disponível no meio o metano é formado a partir da redução de gás carbônico, pela atuação das bactérias metonogênicas hidrogenotróficas. O dióxido de carbono atua como um aceptor de átomos de hidrogênio (Equação 2), removido dos compostos orgânicos pelas enzimas (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).



O metano produzido no processo de biodigestão anaeróbica é rapidamente separado da fase líquida, pois é baixo solúvel em água, já o dióxido de carbono é parcialmente solúvel na água e outra parte é destinada à fração gasosa do reator (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

O poder calorífico do biogás pode oscilar, geralmente, entre 22.500 a 25.000 kJ/m³, devido à variação do teor de metano, considerando-se ainda o poder calorífico do metano puro como cerca de 35.800 kJ/m³. Quanto mais purificado for o biogás, ou seja, maior concentração de metano, maior o seu poder calorífico. A Tabela 2 compara o Poder Calorífico Inferior (PCI) de alguns diferentes gases (SALOMON, 2007).

Tabela 2. PCIs de diferentes gases.

Gás	PCI (kJ/m³)
Metano	35.558
Propano	92.109
Butano	117.230
Gás Natural	31.819
Biometano	23.027

O uso do biogás como combustível depende da sua eficiência, a presença de água e dióxido de carbono prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente, pois estas substâncias absorvem parte de energia gerada. Além disso, há também o gás

sulfídrico (H_2S) que é um composto altamente corrosivo, na maioria dos casos presente no biogás entre 0,3 a 2% (SALOMON, 2007).

Há várias técnicas aplicadas para remoção do H_2S , CO_2 , e a umidade presente no biogás. As práticas mais utilizadas para remoção de umidade são feitas com glicóis ou com sílica gel. Para remoção do CO_2 há uma maior diversidade de técnicas aplicadas, dentre elas a absorção física e química, adsorção em uma superfície continua, separação por membranas, separação criogênica e separação a partir de conversão química (reações químicas) (BRITO, 2011).

O ácido sulfídrico (H_2S) presente no biogás deve ser removido, pois pode causar corrosão no compressor, nos tanques de armazenamento e nos motores em geral. Trata-se de um composto corrosivo e tóxico, podendo causar danos ao ambiente, pois durante a combustão é convertido em dióxido de enxofre. Além disso, tem capacidade de afetar o processo de digestão anaeróbia por inibição. As técnicas mais aplicadas para remoção desse gás sulfídrico são por processo seco de oxidação e processos de oxidação na fase líquida (BRITO, 2011).

Com o acelerado desenvolvimento econômico e a crescente elevação do preço dos combustíveis convencionais, as pesquisas e investimentos na produção de energia a partir de biogás vêm crescendo nos últimos anos (BRITO, 2011).

O biogás pode ser utilizado como combustível em substituição ao gás natural e/ou gás liquefeito de petróleo (GLP), e também fonte de geração de energia elétrica através de geradores elétricos acoplados a motores de explosão adaptados ao consumo de gás. As vantagens do biogás como combustível são: produção quando necessário e facilidade de armazenado. Quando purificado pode ser distribuído através da infraestrutura de gás natural e utilizado nas mesmas aplicações desse gás. No setor de transporte o biogás também pode substituir os combustíveis fósseis (SALOMON, 2007).

Crédito de carbono

O biogás pode ser utilizado como créditos de carbono em algumas aplicações industriais para geração de energia, dentre elas motor de combustão interna alternativo, caldeiras, motores Stirling e tecnologias mais avançadas (BRITO, 2011).

Os motores de combustão interna podem operar com diferentes tipos de combustíveis líquidos e gasosos. Nessas máquinas térmicas a energia química do

combustível se transforma em trabalho mecânico, produtos da combustão da mistura ar-combustível são o fluido do trabalho, e a câmara de combustão é processo de combustão que estão integrados ao funcionamento geral de motor. Os motores desse tipo mais conhecidos são motores de ignição por centelha ou Otto e de ignição por compressão ou Diesel (BRITO, 2011).

As caldeiras faz parte das aplicações do biogás, devendo ser modificadas para operarem apenas com a combustão direta do gás. A adaptação desses equipamentos para uso do biogás acarreta em pequenas modificações, adequando-se apenas às características do novo combustível (BRITO, 2011).

O motor Stirling consiste de um motor alternativo a pistão movido por uma fonte externa de calor, em um sistema fechado, onde a expansão de um gás de trabalho é aproveitada para obter potência mecânica. O gás de trabalho utilizado pode ser nitrogênio, hidrogênio, hélio ou ar livre de oxigênio (BRITO, 2011).

O uso do biogás em tecnologias avançadas ainda está em fase de estudo, mas as principais aplicações são em microturbinas a gás e células de energia microbiana (BRITO, 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Montagem dos biodigestores anaeróbios

Os biodigestores foram construídos com recipientes de vidros de 3L cada, com vedação e tubulação de PVC. À tubulação foi acoplada uma câmara de ar para armazenamento do biogás produzido. Os biodigestores foram acoplados de 2 em 2 vidros, sendo nomeado o biodigestor 1 de B1.1 e B1.2, o biodigestor 2 de B2.1 e B2.2 e assim por diante.

Preparação do inóculo e substrato

Dejetos bovinos foram misturados a bagaço de cana e casca de café em variadas concentrações, completados com meio de cultura até formar porções de 2,0 L em cada biodigestor. O meio de cultura foi preparado com caldo nutriente (13g/L), composto por 1g/L de extrato de carne, 2g/L de extrato de levedura, 5g/L de peptona e 5g/L de cloreto de sódio. Os biodigestores foram manuseados em batelada. A Tabela 3 apresenta as proporções de cada biodigestor.

Tabela 3. Concentrações de substratos para a montagem dos biodigestores.

Biodigestor	Dejeto bovino (g)	Bagaço de cana (g)	Casca de café(g)
B1.1	200	-	-
B1.2	200	-	-
B2.1	200	100	-
B2.2	200	100	-
B3.1	200	-	100
B3.2	200	-	100
B4.1	200	50	50
B4.2	200	50	50

Após 2 dias, verificou-se o pH dos biodigestores e vedou-os completamente. Em seguida incubaram-se todos os biodigestores a 30°C. Periodicamente realizou-se análise qualitativa da produção do gás formado.

Análise da quantidade de biogás e do seu poder calorífico

A produção de biogás foi observada visualmente pelo preenchimento da câmara de ar. O poder calorífico do gás gerado em cada biodigestor foi analisado adicionando

10mL de álcool em 4 tubos de ensaio e em seguida inserindo um termômetro em cada tubo. Com a queima do biogás gerado em cada biodigestor o líquido iria ferver e os dados seriam analisados, entretanto não houve produção de metano e deste modo não teve queima de gás.

5. RESULTADOS

Os valores de pH foram avaliados inicialmente e no final de 47 dias de biodigestão, como apresentam as Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Valores de pH no início do experimento.

Biodigestor	pH inicial
B1.1	6,27
B1.2	6,28
B2.1	5,16
B2.2	5,04
B3.1	5,02
B3.2	4,84
B4.1	4,4
B4.2	4,87

A Figura 6 explora melhor a diferença de valores entre o início e o final do experimento.

Tabela 5. Valores de pH ao final do experimento.

Biodigestor	pH final
B1.1	5,01
B1.2	5,08
B2.1	4,97
B2.2	4,98
B3.1	5,13
B3.2	5,02
B4.1	4,96
B4.2	4,96

A quantidade de biogás foi avaliada visualmente, onde os biodigestores acoplados B1 e B2 apresentaram maior rendimento, seguido do B4. Entretanto, já o biodigestor acoplado B3 não apresentou produção significativa de gás.

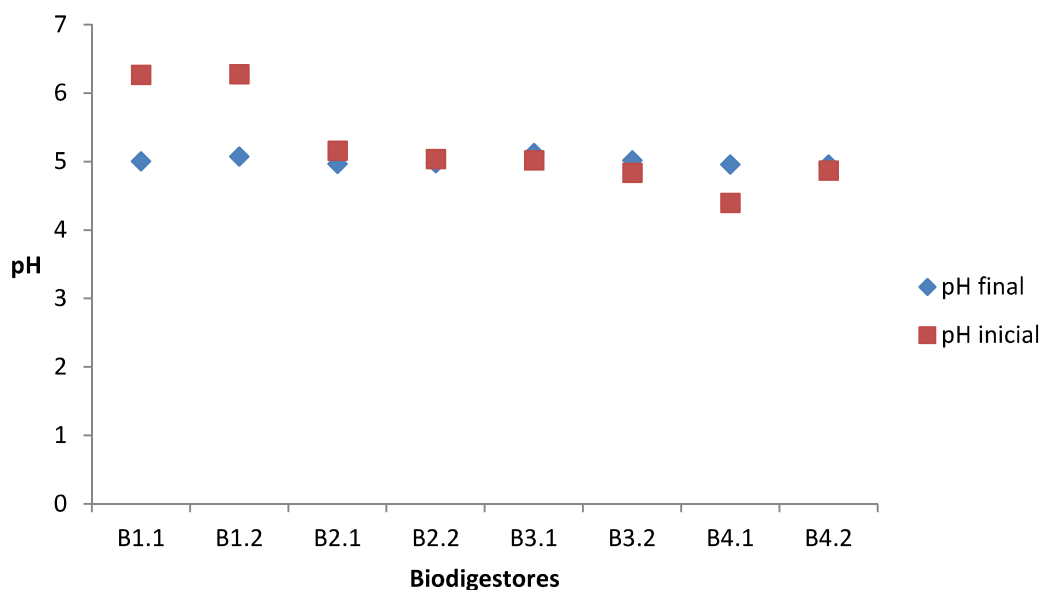


Figura 6. Comparação dos valores de pH inicial e pH final dos biodigestores.

A Tabela 6 descreve os dias que foram observados o preenchimento completo da câmara de gás. As câmaras que continham gás foram esvaziadas a fim de analisar o poder calorífico do biogás produzido. Entretanto, o gás produzido não entrou em combustão, diante disto pode se afirmar que não havia metano em quantidade viável para observar a sua queima.

Tabela 6. Esvaziamento completo da câmara de biogás.

Dia de avaliação	B1	B2	B3	B4
29/05	sim	sim	não	Não
03/06	sim	sim	não	Não
04/06	sim	não	não	Não
06/06	sim	sim	não	Não
10/06	sim	não	não	Não
11/06	sim	não	não	Não
16/06	sim	não	não	Não

A temperatura na caixa de experimento foi ajustada para 30°C, entretanto no fim do experimento observou um aquecimento de 43°C.

6. DISCUSSÃO

De acordo com a literatura, a introdução de leito fixo de bagaço de cana de açúcar aumenta a capacidade de remoção de contaminantes orgânicos do efluente, bem como potencializa a produção de gás. Já a casca de café produz um efeito tóxico aos microrganismos inibindo o processo. O que não foi corroborado neste trabalho.

A queda do pH do efluente no biodigestor de controle (B1.1 e B1.2) foi correlacionado com a produção de gás não-inflamável, possivelmente CO₂, indicando que houve aumento de ácidos orgânicos no meio líquido caracterizando o pH baixo. Entretanto o biodigestor que continha bagaço de cana apresentou pequena queda de pH devido a alta concentração de substrato na fase líquida, necessitando de um maior tempo de retenção para que o substrato seja degradado e consequentemente, torne limitante para o crescimento microbiano metanogênico. Para prevalecer a metanogênese em um reator é necessário que este já tenha apresentado de 30 a 35% de DQO removida.

O pH inicial foi medido após 2 dias de inoculação, onde possivelmente o pH se apresentou baixo pela rápida formação de ácidos voláteis, em detrimento a degradação da matéria orgânica no período inicial do experimento. As bactérias metogênicas são sensíveis ao baixo pH, uma vez que o dióxido de carbono prevalece no meio, o pH diminui, sendo implausível observar a queima do metano, pelo fato de não ter sido produzido. Não é possível afirmar que houve um azedamento do reator e que a fase de metanogênese não foi iniciada, pois temos suposições pela inatividade das metanogênicas, que podem ser explicadas devido ao baixo tempo de retenção do experimento, a elevada temperatura encontrada ao final do processo, ou o surgimento de substâncias inibitórias causadas pelos leitos fixos, acarretando assim na inibição do equilíbrio entre as fermentações ácidas e metanogênica.

O parâmetro cinético das reações microbiológicas é diretamente afetado pela temperatura. Em temperaturas elevadas o sistema passa a ser incapaz de manter concentrações elevadas de microrganismos.

Os processos anaeróbios tendem a apresentar uma assimilação às cargas tóxicas quando o tempo de retenção é maior. Como a casca de café foi colocada inicialmente no processo a sensibilidade dos microrganismos foi evidente. Na literatura é descrito que para reatores anaeróbios operados 30°C é aconselhável que o tempo de retenção celular seja da ordem de 50 dias ou mais. Podendo compreender que este experimento não apresentou um tempo de retenção suficiente para apresentar eficiência do processo.

Devido a não atividade das bactérias metanogênicas há um acúmulo de hidrogênio (H_2) no meio, o que desvia a rota metabólica da acetogênese para a formação de compostos mais reduzidos do que o acetato, como os ácidos propiônico, butírico e outros, que funcionam como reservatório de elétrons. Esses compostos tendem a abaixar o pH do meio e os ácidos voláteis e o H_2S são tóxicos em valores de pH baixos, pois aparecem predominantemente nas formas não ionizadas, penetram nas células e dissociam-se no citoplasma aumentando a concentração de íons de hidrogênio. O excesso de hidrogênio consome energia em forma de ATP e as bactérias passam a não ser mais disponíveis ao crescimento e ao metabolismo, pois estão aliadas a este processo de produção de hidrogênio.

7. CONCLUSÃO

A partir dos resultados observados nas medições de pH e avaliação do gás foram verificadas as falhas ocorridas no experimento utilizando casca de café como leito fixo para biodigestão. Entretanto de acordo com a literatura, o uso de bagaço de cana para esse tipo de tratamento apresenta grande potencial para produção de biogás, embora não tenha sido comprovado nesse experimento. A fim de aumentar o rendimento do biodigestor com bagaço de cana de açúcar, em experimentos futuros, deve-se aumentar o tempo de retenção da biodigestão, bem como neutralizar o pH para que inicie o processo em condições estáveis.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, R. dos S. **Viabilidade da transformação do biogás em energia elétrica: biogás gerado na estação de tratamento de efluentes da indústria bio springer.** Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade São Francisco. Janeiro de 2014.

BEN - **Balanço Energético Nacional.** Disponível em <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 09 de out de 2014.

BERNI, J. V. **Fermentação Anaeróbica de Dejetos Bovinos em Biodigestor Canadense: Análise de Macro e Micronutrientes de Biofertilizante.** Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, p. 1-60, 2011.

BRITO, F. L. S. **Biodigestão anaeróbia em duplo estágio do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção de biogás.** Editora UFMG. Belo Horizonte, 2011.

COLATTO, L.; LANGER, M. **Biodigestor: resíduo sólido pecuário para produção de energia.** Unoesc & Ciência: ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. D. **Biomassa para energia.** São Paulo: Editora Unicamp, 2009.

COSTA, W. L. S. da; BOCCHI, M. L. de M. **Aplicações do bagaço da cana de açúcar utilizadas na atualidade.** Jaboticabal, p. 1-13.

FIGUEIREDO, N. J. V. de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso.** Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2007.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de toledo-PR.** 2003. 119 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P. de; WANDERLEY, M. das G. L.; BERG, C. V. D. **Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil**. Megadiversidade, v. 1, n. 3, nov. 2005.

GONÇALVES, H. F. E.; LIMA, R. dos S.; WEISS, V. A. B.; MENEZES, V. da S. **O biodigestor como princípio de sustentabilidade de uma propriedade rural**. Disponível em < http://www.catolica-to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2009-1/1-periodo/O_biodigestor_como_principio_de_sustentabilidade_de_uma_propriedade_rural.pdf>. Acesso em 9 nov 2014.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; Reis L. B dos. **Energia e meio ambiente**. 4ªed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **“Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000”**. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 07 de out de 2014.

INOUE, K. R. A. **Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira**. 2008. 92 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

Inovação Tecnológica. **Casca do café também é fonte de energia**. [13/04/2011]. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=casca-cafe-fonte-energia-biomassa&id=010115110413#.VIm7mcmP7m4>>. Acesso: 14 set. 2014.

JANNUZZI, G. de M. Demanda por energia no Brasil é insustentável. [23/02/2014]. Rio de Janeiro: Jornal do Brasil. Entrevista concedida a Pamela Mascarenhas.

JÚNIOR, M. A. P. O.; ORRICO, A. C. A.; JÚNIOR, J. de L. **Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido.** Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.2, p.399-410, mar./abr. 2011.

LANDIM, A. L. P. F.; AZEVEDO, L. P. de. **O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável.** Trabalho submetido ao corpo docente do MBE/Coppe. Agosto de 2006.

MALÍZIA, N.; HOLLANDA, J. B. de. **Geração com resíduos de cana.** *Fórum da Cogeração*, Piracicaba, fev. 2001. Disponível em: <http://www.inee.org.br/downloads/forum/cogeraac_cana.pdf>. Acesso: 10 set. 2014.

Ministério da Agricultura. **Cana de açúcar.** Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acessado em 08 de julho, 2014.

Ministério da agricultura. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil.** Conab, 2010.

PELIZER, L. K.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. de O. **Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental.** J. Technol. Manag. Innov.. Volume 2. Guarulhos, 2007.

PIRES, L.; MAYANA, P.; FABIANA CASTRO, F.; CAPPARELLI, A. P. **Produção de Energia com Café.** Sebrae, Belo Horizonte, n. 06, p. 1-4, set. 2012.

QUADROS, D. G. de; VALLADARES, R.; REGIS, U. **Aproveitamento dos Dejetos de Caprinos e Ovinos na Geração de Energia Renovável e Preservação do Meio Ambiente.** PROVICAPRI, Bahia, p. 1-8. 2007.

REVISTA NOVA CANA.COM. **Como é feito o processamento da cana-de-açúcar nas usinas.** Disponível em: <<http://www.novacana.com/usina/como-e-feito-processamento-cana-de-acucar/>>. Acessado em 08 de setembro, 2014.

REVISTA NOVA CANA.COM. **Digestibilidade do bagaço de cana**. Disponível em <<http://www.novacana.com/n/coluna/gazzoni/digestibilidade-bagaco-cana-260214/>>.

Acessado em 08 de setembro, 2014.

ROCHA, F. C.; *et al.* **Casca de café em dietas para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição de leite**. R. Bras. Zootec., v.35, n.5, p.2163-2171, 2006.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S.T.; LEITÃO, R.C. **Valorização de resíduos da agroindústria**. II SIGERA: Foz do Iguaçu, 2011.

ROSSI, M. **Bagaço de cana para purificar água poluída**. Disponível em <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2013/04/estudo-aponta-que-bagaco-da-cana-pode-ajudar-purificar-agua-poluida.html>>. Acessado em 08 de julho, 2014.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. Itajubá, MG, 2007.

SILVA, N. P. da; FRANCISCO, A. C. de. **Geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos: um estudo de caso em uma propriedade rural na região oeste do estado do Paraná**. Nucleus, v.7, n.2, out. 2010.

TAVARES, A. A. C. **Avaliação da casca de café como alimento para vacas leiteiras holandês – zebu**. UFLA: Lavras, 2003.

Terra. **Casca de café substitui carvão vegetal**. [20/074/2008]. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/ciencia/noticias/0,,OI3014906-EI8278,00-Casca+de+cafe+substitui+carvao+vegetal.html>>. Acesso: 14 abr. 2014.

THEODORO, A. D. **Expansão da cana-de-açúcar no Brasil: ocupação da cobertura vegetal do Cerrado**. Araçatuba, SP: Fatec, 2011.

UTEMBERGUE, B. L.; AFONSO, E. R.; PEREIRA, A. S. C. **Manejo de Dejetos em Confinamento de Bovinos de Corte.** III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal, Pirassununga, p. 1-4, ago. 2013.

ZILOTTI, H. A. R.; **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica cascavel.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Fevereiro de 2012.