

**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Curso de Engenharia de Energia**

**PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE A PARTIR DA  
CAMA DE FRANGO COLETADO NO DISTRITO  
FEDERAL POR MEIO DE GASEIFICAÇÃO**

**Autora: Karina Gavião Junqueira  
Orientadora: Grace Ferreira Ghesti**

**Brasília, DF  
2014**



**KARINA GAVIÃO JUNQUEIRA**

**PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE A PARTIR DA CAMA DE FRANGO  
COLETADO NO DISTRITO FEDERAL POR MEIO GASEIFICAÇÃO**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof. Dra. Grace Ferreira Ghesti

**Brasília, DF  
2014**

**CIP – Catalogação Internacional da Publicação**

Junqueira, Karina Gavião.

Produção de Gás de Síntese a Partir da Cama de Frango Coletado no Distrito Federal Por Meio de Gaseificação/Karina Gavião Junqueira.  
Brasília: UnB, 2014. 39 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília  
Faculdade do Gama, Brasília, 2014. Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>  
Grace Ferreira Ghesti.

1. Biomassa 2. Cama de aviário. 3. Geração descentralizada  
I. Ghesti, Grace Ferreira. II. Doutora.

CDU Classificação



**PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE A PARTIR DA CAMA DE FRANGO  
COLETADO NO DISTRITO FEDERAL POR MEIO DE GASEIFICAÇÃO**

**Karina Gavião Junqueira**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 25/06/14 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. Dra.: Grace Ferreira Ghesti, UnB/ IQ**  
Orientadora

---

**Prof. Dra.: Juliana Petrocchi Rodrigues, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof. Dra.: Thais Maia Araújo, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

Brasília, DF  
2014

Dedico este trabalho ao Engenheiro Geraldo  
Junqueira, o meu grande exemplo de vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e pela oportunidade de executar esse estudo. A meus pais, Mariza e Geraldo, por tanto carinho, dedicação e por nunca me deixarem desistir. Agradeço a minha irmã Larissa pelo apoio e pelo companheirismo de sempre. A meu noivo Matheus pela compreensão, amor e força em todos os momentos.

A professora Grace pelos ensinamentos durante todo o curso e pelo apoio de sempre. A Munique, a Nádia e ao Yuri pelo grande auxílio nos experimentos e na confecção do trabalho.

Obstáculos e dificuldades fazem parte da vida.  
E a vida é a arte de superá-los.  
DeRose

## RESUMO

O petróleo é uma fonte energética limitada por ser de origem não-renovável. Sendo assim, a busca por alternativas de substituintes de combustíveis fósseis vem aumentando. Uma outra grande preocupação é o aumento de volume de resíduos produzidos por indústrias e atividades agrícolas, a qual traz grandes consequências ambientais, tais como emissão de gases nocivos ao efeito estufa (CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>). O uso de biomassa para gerar energia já é uma opção empregada visto que tem potencial para suprir a necessidade energética local. O presente trabalho tem como objetivo analisar as biomassas de cama de aviário para geração de energia descentralizada. As amostras foram coletadas no Núcleo Rural Rio Preto, Planaltina, Distrito Federal, e foram analisadas a fim de estudar a viabilidade de geração de energia descentralizada. Os resultados observados apresentaram 14,46% de umidade e 11,97% de cinzas, sendo que do total, 40,06 % é carbono, 6,06 Hidrogênio e 4,82 Nitrogênio. Os resíduos representaram 49,06% da massa analisada. .... (COLOQUE UM BREVE RESULTADO DE TEOR DE UMIDADE, VOLÁTEIS, PODER CALORÍFICO, CHN, ...). A cama de aviário, foi submetida a gaseificação em reator updraft, e apresentou os resultados de ~~x%, y%....~~ 16,5% de H<sub>2</sub>, 54,1% de CO, 24,1% de CO<sub>2</sub> e 5,3% de CH<sub>4</sub> e outros gases. Sendo assim, o uso da cama de aviário para produção descentralizada de energia é energeticamente viável e recomenda-se seu uso em ciclos combinados de geração de energia para melhor rendimento processual.

Formatado: Cor da fonte: Vermelho

**Palavras-chave:** Biomassa, Cama de aviário, Geração descentralizada.

## ABSTRACT

**Formatado:** Fonte: (Padrão) Arial, Negrito, Português (Brasil), Kern em 14 pt

**Formatado:** Português (Brasil)

~~Mudar conforme a alteração do resumo. Ou seja, quando o resumo for finalizado, e traduza.~~

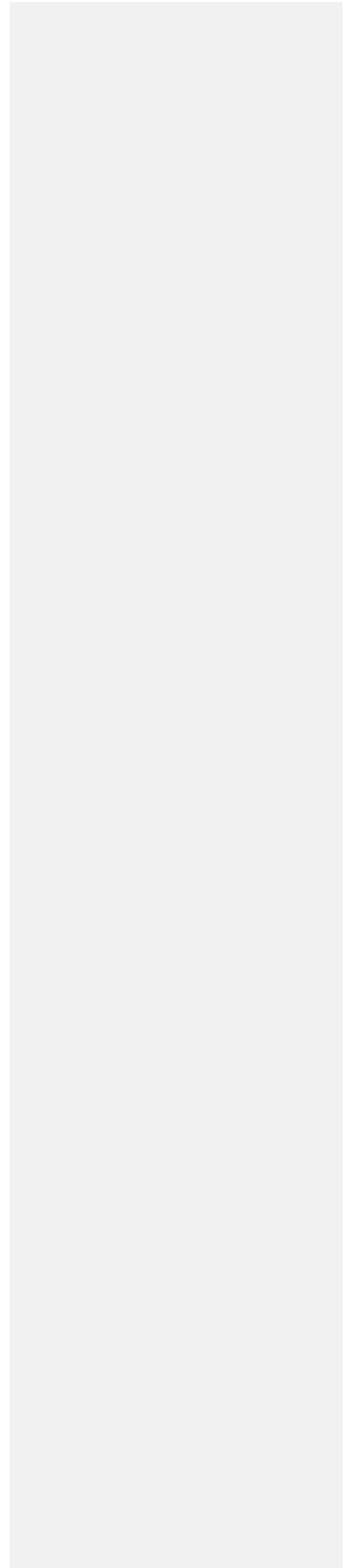
**Formatado:** Cor da fonte: Preto, Português (Brasil)

**Formatado:** Cor da fonte: Preto, Português (Brasil)

The search for alternatives to replace the burning of fossil fuels is increasing, as petroleum is a limited energy source because it is non-renewable sources. Another major concern is the increased volume of waste produced by industries and agricultural activities, which has major environmental consequences, such as the emission of harmful greenhouse gases (CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub>) emissions. The use of biomass for energy is already used option as it has the potential to meet local energy needs. This study aims to analyze the biomass of poultry litter for decentralized power generation. Samples were collected at the Rural Center Rio Preto, Planaltina, Federal District, and were analyzed to study the feasibility of decentralized power generation. The observed results showed 14.46% moisture, 11.97% ash, and the total is 40.06% carbon, 6.06 4.82 Hydrogen and Nitrogen. Waste accounted for 49.06% of the mass analyzed. The poultry litter was subjected to in updraft gasification reactor, and the results showed 16.5% H<sub>2</sub>, 54.1% CO, 24.1% CO<sub>2</sub> and 5.3% CH<sub>4</sub> and other gases. Thus, the use of poultry litter for decentralized energy production is energetically feasible and recommended its use in combined cycle power generation for better procedural efficiency.

~~Furthermore, the waste produced by industries and agricultural activities are increasing and bringing major environmental consequences, such as the emission of harmful greenhouse gases (CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub>) emissions. The use of biomass to generate energy is a maid option, while promising, as it has the potential to meet local energy needs. This study aims to analyze the biomass of manure and pig manure for decentralized power generation. Samples were collected at the Rural Center Rio Preto, Planaltina, Federal District, and will be studied for moisture, ash and volatile, elemental analysis and X-ray fluorescence (XRF / EDX / CHN), TG / DTG / DTA, calorific value and subsequently be submitted to the gasification process. According to the presented results one can evaluate that poultry litter has more advantages to being used in a gasifier compared to swine manure, poultry litter because has a lower water content, and moisture content of less material inorganic (ash) and one of the most important factors, calorific value well above the pig manure.~~

**Keywords:** Biomass. Poultry litter. Decentralized power generation



### LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fontes de Biomassa (Ferraz, 2011).

Figura 2 – Mapa de localização de granjas do Distrito Federal (Google Maps, 2014)

Figura 3 – Esquema do reator

Figura 4 - Curva termogravimétrica e DTG (derivada termogravimétrica) para a cama aviária em ar sintético

Figura 5 - Curva de DTA (análise diferencial de temperatura) para a cama aviária em ar sintético

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>6</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>11</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 BIOMASSA E TRANSFORMAÇÃO .....	15
<b>3. GASEIFICAÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
4.1 OBJETIVOS GERAIS .....	22
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
5.1. MATERIAIS .....	22
5.1.1. Biomassa .....	23
5.1.2. Gaseificador .....	23
5.2. MÉTODOS.....	24
5.2.1. Preparo da biomassa .....	24
5.2.2. Poder calorífico .....	24
5.2.3. Análise imediata.....	25
5.2.3.1. Teor de umidade .....	25
5.2.3.2 Teor de voláteis.....	26
5.2.3.3 Teor de cinzas.....	26
5.2.4. Análise elementar.....	27
5.2.4.1. Determinação de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e outros....	27
5.2.4.2. Análise de fluorescência de raios x .....	27
5.2.4.3. Análise termogravimétrica .....	27
5.2.5. Gaseificação contracorrente .....	28
5.2.6. Análise da composição do gás.....	28
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
6.1. PODER CALORÍFICO SUPERIOR.....	28
6.2. ANÁLISE IMEDIATA.....	29
6.3. ANÁLISE ELEMENTAR.....	30
6.3.1. Determinação de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e outros .....	30
6.3.2. Análise de fluorescência de raios x.....	30
6.3.3. Análise termogravimétrica.....	31
6.4. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO GÁS .....	32
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A redução da queima dos combustíveis fósseis é uma das principais preocupações ambientais frente à questão do aquecimento global, não apenas no Brasil, mas em todo o Mundo, desencadeando o aumento do consumo de fontes energéticas alternativas aos derivados do petróleo. (Moreira & Ichihara & Guilhoto, 2011)

A crise energética e ambiental, as quais estão se aproximando, forçam a utilização de recursos naturais renováveis através de tecnologias limpas. A biomassa é uma opção que apresenta potencial considerável e pode atender a demanda de energia no mundo moderno. Além disso, o uso desse tipo de recurso permite a redução da dependência do petróleo. (Anwar & Gulfranz & Irshad, 2014)

A revolução industrial desencadeou o aumento do consumo mundial de energia, sendo que o século XX foi marcado pelo grande consumo de combustíveis fósseis. O petróleo teve dois momentos críticos na história, o primeiro foi em 1973 no qual a queda no preço do mesmo desencadeou a guerra de Yom Kippur, quando houve a suspensão do fornecimento de energia nos Estados Unidos por parte dos produtores árabes pelo fato dos EUA terem apoiado Israel no conflito. Em 1979 aconteceu o segundo choque, quando a produção de petróleo foi afetada pela revolução iraniana que instalou uma república islâmica no país. Os dois acontecimentos abalaram o fornecimento de petróleo, fragilizando o sistema de geração. Com isso, o incentivo para o uso de tecnologias alternativas foi dado por parte do governo do Brasil. (Sales, 2007)

Estes fatores foram os precursores para criação de mecanismos legais para regulamentar o uso dessas fontes de energia tal como, por exemplo, a Lei 10.438 de 22 de abril de 2002 que cria o Programa de Incentivo a Fontes Alternativas - PROINFA. (Cadernos NAE, 2005).

O Programa de incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) é um programa voltado para o uso de energias renováveis. Foi instituído pela Lei 10.438/2002, de 26 de abril de 2002, e até 2011, implantou 119 empreendimentos dentre os quais 41 são usinas eólicas, 59 pequenas centrais hidrelétricas e 19 térmicas a biomassa. A capacidade total instalada é de 2.649,87 MW, sendo 963,99 MW das eólicas, 1.152,54 MW em pequenas centrais hidrelétricas e 533,34 MW em biomassa. Essa capacidade é suficiente para

Formatado: Normal, Espaço Depois de: 0 pt

abastecer 4,5 milhões de brasileiros. A implantação do programa propiciou a diversificação da matriz energética brasileira, além do avanço industrial, outra grande vantagem do programa é a redução dos gases do efeito estufa em aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de CO2 equivalente por ano. (ELETROBRÁS, 2014). Segundo (Sales, 2007), o PROINFA é um instrumento que garante maior confiabilidade e segurança ao abastecimento.

A biomassa é utilizada como fonte de energia há muitos anos, tanto como fonte de calor ou como fonte primária de geração de energia mecânica ou elétrica. (SOARES, 2006).

Segundo o Plano Nacional de Agroenergia (2006), o consumo de energia, entre 2000 e 2030, deve crescer 1,7% ao ano. Com isso, se mantido o uso de combustíveis fósseis, responsável por 80% de toda a energia consumida no mundo, aconteceriam grandes desastres ambientais, sociais e econômicos.

Comparando a situação do Brasil com o restante do mundo, o país apresenta uma situação privilegiada. De acordo com o Balanço Energético Nacional - BEN, MME (2013), em 2012, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica e de etanol, sendo 42,4% de energia renovável.

Existem no Brasil 481 usinas movidas a biomassa, somando uma potência total de 11.559.012,70 kW. (ANEEL, 2014) Portanto, a biomassa é uma fonte de energia difundida no país e com potencial de crescimento.

~~Reduza um pouco o texto acima e comente mais sobre a a parte de baixo. Tem que ser metade falando sobre a parte do petróleo e metade sobre a parte de biomassa~~

O Cerrado é a savana mais rica do mundo em biodiversidade, com 12 mil espécies identificadas, dispersas em 37 ambientes, formando um complexo vegetacional de múltiplas paisagens, que ocupa cerca de 36% do território brasileiro. Nesse contexto, o cerrado brasileiro possui um grande potencial energético em virtude de sua enorme diversidade em recursos naturais. Além disso, as principais atividades econômicas no cerrado estão ligadas ao setor agropecuário, que gera insumos que são reaproveitados na forma de adubo, ração para animais ou mesmo na geração de energia. Baseando-se nos dados sobre a pecuária e agroindústria obtidos no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia Estatística) e no Ministério da Agricultura foi

Formatado: Normal, Recuo: Primeira linha: 0 cm, Espaço Depois de: 0 pt

Formatado: Normal, Espaço Depois de: 0 pt

Formatado: Normal, Recuo: Primeira linha: 0 cm, Espaço Depois de: 0 pt

verificado que a região centro-oeste possui grande potencial de produção de bovinos, suínos e aves como galos, frangas, frangos e pintos.

A utilização de biomassa para

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 BIOMASSA E TRANSFORMAÇÃO**

Biomassa é qualquer matéria obtida através da fotossíntese e seus derivados, e pode ser considerada uma forma indireta (fonte secundária) de energia originária do sol pelo fato de resultar da conversão de energia solar em energia química. Considera-se biomassa: resíduos florestais e agrícolas, resíduos de animais, matéria orgânica proveniente de indústrias, lixo doméstico, entre outros. (NOGUEIRA & LORA, 2003).

Para Neitzke (2010), a biomassa pode ser classificada segundo a Figura 1. Ou seja, pode ser classificado como vegetais não lenhosos, vegetais lenhosos, resíduos orgânicos e biofluidos. Diante dessas categoriais, é possível afirmar que o Brasil é um país privilegiado por possuir condições climáticas que favorecem os diversos tipos de biomassa, podendo utilizá-las de diferentes maneiras para produzir energia.

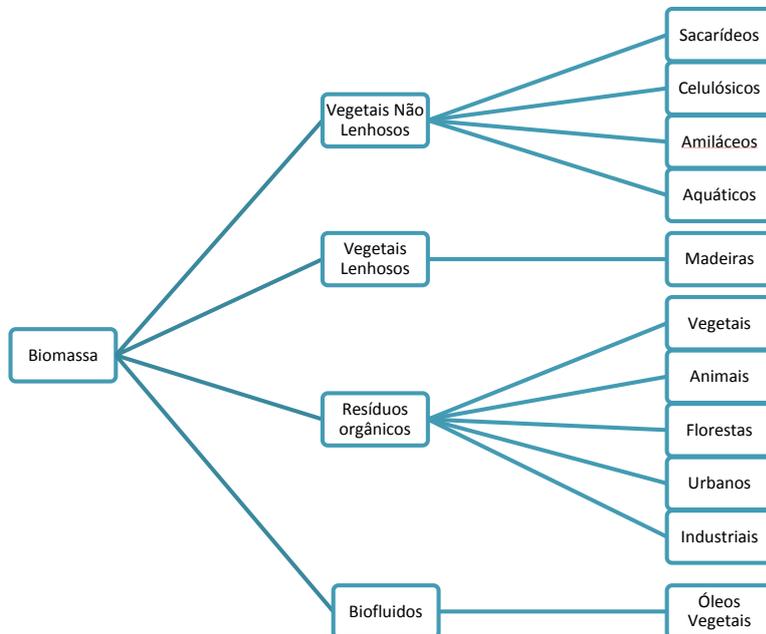


Figura 1 - Fontes de Biomassa (Ferraz, 2011).

A utilização de biomassa é extremamente importante para a geração de energia limpa, pois é uma fonte abundante e versátil. A produção de energias por meio de resíduos de animais tem crescido principalmente nos Estados Unidos, Europa e Canadá. (Nunes & Matias & Catalão, 2014)

Atualmente, a biomassa residual é empregada em seu uso direto pela combustão da matéria orgânica em fornos e caldeiras para a geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração. (Viveros & Hidalgo & Vera, 2013)

Segundo Sales (2007), antes de utilizar a biomassa como matéria prima para produção de energia, é preciso analisá-la em três pontos de vista: ecológico, tecnológico e econômico. O ecológico abrange todas as medidas para preservação ambiental e as tecnologias de conversão de biomassa são potencialmente menos poluentes quando comparadas com outras formas de geração de energia, pois utilizam os resíduos, preservando as reservas naturais. Sob o ponto de vista econômico pode-se afirmar que existem duas questões importantes: o primeiro está

relacionado a qual é a melhor forma de utilização da biomassa (geração de energia ou matéria prima industrial ou alimento), e o segundo aspecto engloba os custos de produção agrícola, colheita e transporte. Sob o ponto de vista tecnológico, há a questão operacional da conversão da biomassa em combustível, relacionando a viabilidade econômica de cada processo.

Segundo Sales (2007), o tipo de processo para converter biomassa em energia depende das características da matéria-prima a ser empregada. Os principais fatores são: o tipo e a qualidade da biomassa, a forma da energia requerida, os padrões ambientais, o uso final, aspectos econômicos e as especificações de utilização. Já os processos são classificados em físicos, termoquímicos e biológicos. Para os processos físicos, tem-se a densificação e a secagem, a redução granulométrica e a prensagem mecânica. A conversão termoquímica pode ser dividida em combustão, gaseificação, pirólise e liquefação. A conversão biológica é decomposta em digestão e fermentação. A partir da digestão tem-se a produção de biogás e da fermentação tem-se a produção de etanol.

Dentre os processos termoquímicos, a combustão é a queima de biomassa na presença de ar. Ele serve para converter a energia química em energia mecânica ou elétrica. A combustão é muito empregada em caldeiras, turbinas e fornalhas. Os gases provenientes desse processo são produzidos em temperaturas entre 800°C e 1000°C. Usualmente, esse tipo de conversão é utilizado em matérias-primas com teor de umidade menor que 50 %. (Mckendry, 2002).

Outro processo termoquímico, a gaseificação é a conversão térmica da biomassa em gás combustível através da oxidação parcial à alta temperatura, geralmente entre 800-1100°C. O gás produzido no gaseificador pode ser queimado diretamente ou usado como combustível em motores. (Sales, 2007)

Pirólise é a conversão de biomassa em frações de sólidos, líquidos e gases através do aquecimento da biomassa com a escassa presença de oxigênio em uma temperatura média de 500°C. (Sales, 2007)

A digestão anaeróbia transforma matéria orgânica em gás constituído principalmente por CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Comparado a outros combustíveis, o biogás apresenta vantagem de poder ser produzido pelo processo biológico de toda fração da biomassa. Ou seja, trabalha-se com biomassa de composição variável e heterogênea. Além disso, é operacionalmente mais simples quando comparada a processos de obtenção de outros combustíveis. Esse processo também dispensa a

secagem e o pré-tratamento químico da matéria prima, ocasionando menos resíduos e menor gasto energético. (Sales, 2007)

A composição da biomassa tem total influência no produto final em todos os processos. Os principais fatores são: composição química elementar que corresponde a porcentagem em massa dos principais componentes que constituem a biomassa em relação à base seca. Os elementos são: carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N) e cinzas. (Sales, 2007)

## 2.1 PRODUÇÃO PECUÁRIA

A produção de animais passou por modificações nas últimas décadas, deixando de ser um modelo de confinamento extensivo para um intensivo. Esse sistema visa principalmente a redução de custos de produção e o aumento da eficiência do processo. Com essa mudança, os problemas ambientais também se intensificaram, necessitando de uma alternativa que permita minimizar os problemas e, além disso, agregar valor às unidades de produção. (Kunz & Oliveira, 2006)

Nas décadas de 1970 e 1980 foram criadas políticas governamentais para estimular o uso do biogás pelos produtores, focando na redução da dependência das pequenas propriedades rurais na utilização de energia térmica para uso da própria unidade, bem como a redução da poluição causada pelos criatórios. (Oliveira, 2005) Depois de 30 anos, os biodigestores reaparecem como alternativa ao produtor, graças à disponibilidade de novos materiais para a construção e a maior dependência de energia das propriedades em função do aumento da escala de produção, da matriz energética e do aumento dos custos da energia tradicional. (Oliveira, 2005)

Segundo dados do Ministério da agricultura (2014), o Brasil é o terceiro maior país produtor de frango para corte no mundo, atingindo 142 países. As regiões que mais produzem são Paraná e Rio Grande do Sul. A região Centro-oeste está aumentando sua criação de granjas devido à grande produção de grãos, principalmente soja, que são empregados como ração para as granjas. (MAPA, 2014)

A produção de aves no Centro-Oeste do Brasil é composta por grandes produtores com produção superior a 45.000 frangos/lote, sendo este um número maior que as outras regiões produtoras do país. (Souza & Zili & De Zen, 2006)

Essa posição de grande exportador foi adquirida através de investimentos em qualidade e preço. Esses fatores incluem alimentação balanceada, melhoramento genético e produção integrada. A parceria entre a indústria e os avicultores também contribuiu para o processo, adequando o produto aos padrões internacionais.

O mercado interno brasileiro é o maior destino da produção, equivalendo a 75 % da produção. O consumo brasileiro de carnes aumentou nos últimos anos sendo que a carne de aves atingiu 43,9 kg per capita por ano. (MME, 2014)

Segundo o Ministério da Agricultura (2014), até 2020, a expectativa é que a produção nacional de carnes suprirá 44,5% do mercado mundial. Já a carne de frango terá 48,1% das exportações mundiais e a participação da carne suína será de 14,2%.

A cama de aviário é constituída de material para absorver a umidade do criatório. Os materiais mais frequentemente utilizados são: maravalha, casca de arroz, sabugo de milho, capins e serragens. Já o esterco suíno é composto pelos dejetos e água adicionada para facilitar o transporte dos mesmos até o tanque de armazenamento. (Palhares, 2008)

As granjas de produção de frango para corte seguem alguns padrões de manejo tais como aquecimento, bebedouros e campânulas. A cama de aviário deve ser uniformemente distribuída com uma profundidade de 8 a 10 centímetros, para então ser compactada. Os animais permanecem durante o período de crescimento sobre a cama, portanto seus dejetos, secreções e restos de ração são incorporados à mesma. (EMBRAPA, 2014)

Segundo Florin & Maddocks (2006), a maneira de descobrir qual a melhor forma de tratar os resíduos é levar em conta os fatores tais como: custo, quantidade de resíduo gerado e impacto ambiental. Levando em conta esses aspectos, a utilização de resíduos não tratados é a opção mais econômica. De acordo com os recursos disponíveis, o uso de cama de aviário é mais viável devido à temperatura que consegue atingir durante a queima, podendo ser usado na produção de eletricidade e de calor. Os fatores de heterogeneidade dos resíduos como: tipo e idade das aves e as diversidades geográficas interferem no resultado final. Os autores propõem o aproveitamento das cinzas de combustão como fertilizantes agrícolas ou até mesmo a combinação com outros resíduos para aumentar a viabilidade econômica.

Segundo dados da AVISITE (2011), os Estados Unidos é o país que mais investe em tecnologias para o uso da biomassa para a geração de energia elétrica. (AVISITE, 2011). Com isso, grandes empresas, nacionais e estrangeiras, estão instalando plantas de geração de energia que utilizam a cama de frango como biomassa nas fazendas americanas. Existem também no Reino Unido, empresas que contam com plantas conversoras de cama de aviário e de peru.

No Brasil, estudos econômicos e financeiros mostram a viabilidade de utilização da cama de aviário em diversos processos. Ferrarez (2009) afirma que, o uso do biogás em substituição ao gás GLP para o aquecimento de água e geração de energia para o atendimento elétrico do aviário e da residência dos funcionários do aviário na Zona da Mata em Minas Gerais, é uma solução economicamente viável. Santos (2001) verificou as vantagens técnicas e econômicas na substituição do gás GLP pelo biogás na geração de energia térmica através de campânulas. Neitzke (2010) apresentou o processo de gaseificação para a destinação da cama de aviário como uma tecnologia viável técnica e economicamente considerando aspectos sanitários e ambientais. A proposição de Sordi, Souza e Oliveira (2005) viabiliza o uso da cama de aviário como combustível para geradores de vapor.

Em 2006 o governo do estado do Paraná criou o Programa Paranaense de Bioenergia – PR BIOENERGIA- estimulando a utilização de biomassa pela população para geração de energia, oferecendo ao produtor um sistema integrado e sustentado de produção permitindo o melhor aproveitamento da propriedade.

### **3. GASEIFICAÇÃO**

A gaseificação da biomassa não é um processo recente. Esta tecnologia de conversão de biomassa em gás combustível se originou nas últimas décadas do século XVIII, sendo aprimorada ao longo dos anos principalmente com o objetivo de reduzir a produção de alcatrão e cinzas. (NEITZKE, 2010)

O interesse pela gaseificação tem crescido e o uso dessa tecnologia como fonte de gás combustível é justificado por causas econômicas, sociais e ambientais. Muitos países em desenvolvimento apresentam o uso intensivo de motores de combustão interna para aplicações estacionárias nas áreas rurais. (Neitzke, 2010)

A gaseificação é o processo que envolve a oxidação parcial controlada de um combustível, nesse caso a biomassa. O agente de gaseificação pode ser oxigênio,

dióxido de carbono, vapor ou uma mistura deles. O gás resultante é formado por componentes que ainda podem sofrer combustão, devido ao processo de oxidação térmica com oxigênio utilizado abaixo da necessidade estequiométrica para a combustão completa sofrida pelo carbono presente na biomassa. A constituição do gás varia de acordo com os parâmetros do combustível, tais como tamanho das partículas, temperatura e pressão. (Viana, 2014)

De acordo com Viana (2014), a gaseificação ocorre em reatores denominados gaseificadores (Anexo I), gerando um gás combustível de baixo poder calorífico para ser utilizado de várias maneiras para gerar energia. Dentre as opções de energia estão: a gaseificação Integrada com ciclo combinado, a gaseificação a motores de combustão interna alternativos e gaseificação a turbina a gás.

No interior de um reator de gaseificação, ocorrem quatro etapas: secagem, pirólise, combustão (oxidação) e redução. Na secagem, a temperatura é 200°C, pois é realizada somente a retirada da umidade da biomassa. Na zona de pirólise, a temperatura fica entre 280°C e 450°, acontecendo reações exotérmicas que decompõem os polímeros de biomassa do combustível e geram como produtos alcatrões e ácidos leves. Na zona de combustão, a temperatura varia entre 800°C e 1200°C, isso é resultado da reação exotérmica que ocorre entre o carbono do e o oxigênio inserido no reator. Em seguida, o gás passa para a zona de redução onde acontece a formação dos componentes combustíveis do gás. (Viana, 2014)

Uma das formas de se utilizar a biomassa é nos processos de gaseificação, no qual a matéria é queimada e produz um gás, chamado de gás de síntese, que aproveitado pode ser utilizado em turbinas (PALHARES, 2008) para gerar energia, ou em motores.

A construção de pequenas usinas de gaseificação de biomassa é uma maneira competitiva para produção de energia em regiões descentralizadas, permitindo um bom aproveitamento da biomassa e reduzindo os impactos ambientais do criatório. (Bocci & Sisinni & Moneti & Vecchione & Di Carlo & Villarini, 2014)

Desde meados da década de 90, muitas alternativas de plantas de sistemas combinados para a geração de energia foram apresentados. Destaca-se a planta de Varnamo na Suécia que operou por milhares de horas entre 1995 e 2000. (Hussuani, Leal & Macedo, 2005)

A utilização de gaseificadores acoplados a outros sistemas de geração de energia também são uma boa alternativa. De acordo com Velásquez (2006), é promissor o uso de turbina a gás combinada com gaseificador no segmento de papel e celulose. Segundo a autora, este segmento é um dos mais energointensivos e um dos principais responsáveis pelo uso de biomassa no setor industrial.

As diferentes combinações de equipamentos dependem muito das características da biomassa e do processo de produção. As montagens mais usuais são de dois tipos: sistemas de pequena escala apresentam gaseificadores de leito fixo associados a motores de combustão interna, já os de grande escala utilizam reator de leito fluidizado combinado com turbina a gás. (Williams & Larson, 1996)

A gaseificação é um processo econômico e de baixo impacto ambiental, portanto a sua utilização é bastante vantajosa para ser utilizada pelas propriedades descentralizadas.

#### **4. OBJETIVOS**

##### **4.1 OBJETIVOS GERAIS**

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o potencial energético de geração de energia a partir do gás produzido por um sistema de gaseificação contracorrente (*updraft*) utilizando cama de aviário como combustível.

##### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos propõe-se a caracterização da cama de frango em termos de poder calorífico superior, composição imediata (teor de voláteis, teor de cinzas e teor de umidade) e composição elementar (carbono, hidrogênio, oxigênio e os demais elementos da tabela periódica). Além disso, tem-se como objetivo específico a caracterização do gás produzido na gaseificação de acordo com a presença de H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e outros gases.

#### **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **5.1. MATERIAIS**

### 5.1.1. Biomassa

As amostras de cama de aviário foram coletadas na fazenda filial da Sadia 272 localizada no Núcleo Rural Rio Preto – Planaltina – Distrito Federal, situado na área demarcada na figura 7.

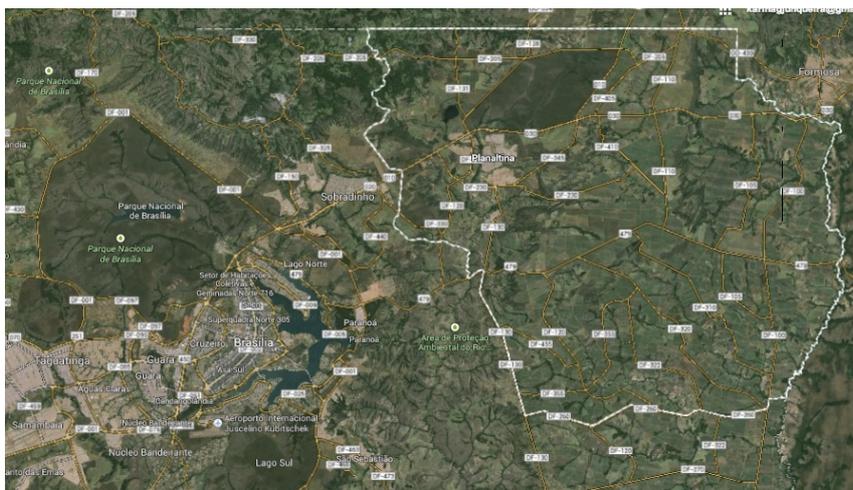


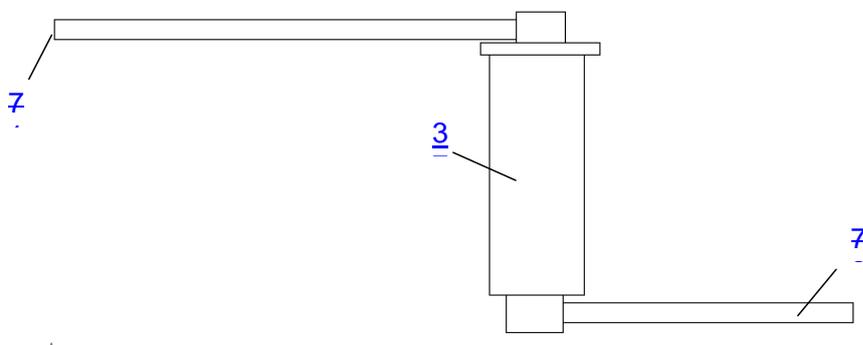
Figura 2 - Mapa de localização de granjas do Distrito Federal (Google Maps, 2014)

### 5.1.2. Gaseificador

Foi utilizado um gaseificador contracorrente (updraft) com as seguintes dimensões:

- Altura do leito: 45 centímetros
- Diâmetro do leito: 14 centímetros
- Capacidade aproximada: 7 litros

A Figura 8 mostra o equipamento utilizado para a gaseificação. Na saída de gás do equipamento, foram colocados dois erlenmeyers contendo isopropanol em baixa temperatura para que os compostos condensáveis da gaseificação fossem separados do gás de síntese produzido. O ponto de coleta dos gases fica logo na sequência dos erlenmeyers.



**Figura 3: Esquema do reator.** (1) Saída de gás; (2) Entrada de ar; (3) Leito.

## 5.2. MÉTODOS

### 5.2.1. Preparo da biomassa

As amostras foram maceradas a fim de obter uma melhor homogeneização e, foram passadas em uma peneira para análise granulométrica (Bertel – 8" x 2" Inox 304 – Mesh 42) para que fiquem de acordo com a Norma NBR 6923, que estabelece que para ensaios de análise imediata, os resíduos possuam granulometria menor que 60 mesh.

### 5.2.2. Poder calorífico

A determinação do poder calorífico foi executada, em triplicata, na bomba calorimétrica Parr – Adiabatic Calorimeter, no qual foram colocadas três amostras de cama de aviário com pesos aproximados de 1 grama em um ambiente fechado adicionado de gás oxigênio (O<sub>2</sub>), fornecido pela White Martins, 90% de pureza. Este foi mergulhado em uma massa de ar com temperatura monitorada. Uma faísca foi produzida para queimar a biomassa. A variação de temperatura foi utilizada para encontrar o poder calorífico de cada biomassa. A equação para o poder calorífico (H) está abaixo.

$$H = \frac{Cx\Delta T - e}{m} \quad (2)$$

Código de campo alterado

onde  $C$  é a capacidade calorífica do calorímetro,  $\Delta T$  é a variação de temperatura,  $e$  é a correção para o calor de combustão do fio de cobre e  $m$  é a massa da amostra.

A capacidade calorífica ( $C$ ) foi determinada por meio da calibração do calorímetro usando-se uma amostra padrão de ácido benzóico, o qual tem calor de combustão conhecido. Foram confeccionadas três pastilhas de aproximadamente 1g do ácido e estas foram colocadas, uma de cada vez, no suporte juntamente com 10 cm de fio de platina. Depois a bomba calorimétrica foi fechada e gás oxigênio introduzido e a bomba colocada no calorímetro com 2 litros de água destilada. Uma faísca para a combustão total da amostra foi adicionada e o aumento da temperatura foi verificado.

### **5.2.3. Análise imediata**

As análises imediatas foram feitas de acordo com a Norma NBR 8112/86 com adaptações. O primeiro passo foi a calcinação dos cadinhos e de suas tampas, que foram lavados em água corrente e com bucha sem uso de sabão para não deixar resíduos na cerâmica. Os cadinhos foram secos com papel absorvente para então serem colocados na estufa em uma temperatura de 105 graus Celsius, permanecendo por 20 minutos. Enquanto isso, a Mufla (EDG, model 3P-S) foi ligada na temperatura de 1000 graus Celsius para realizar a calcinação. Os cadinhos e as tampas permaneceram na Mufla por 2 horas e então ficaram prontos para uso, aguardando o início das análises dentro do dessecador.

#### **5.2.3.1. Teor de umidade**

As caracterizações físicas, como teor de umidade, foram definidas através do uso do forno Mufla (EDG, model 3P-S). Colocou-se na mufla três amostras da biomassa a 105 °C até que a massa permanecesse constante. Depois as amostras permaneceram no dessecador por 20 minutos para então serem pesadas. A diferença nas massas iniciais e finais determinam a quantidade de umidade que estavam presentes na amostra.

Precisão: Os resultados obtidos em triplicata na determinação dos teores de umidade não devem diferir, um do outro, em valores relativos mais que 5%.

### 5.2.3.2 Teor de voláteis

O teor de voláteis foi determinado medindo se a quantidade de biomassa que volatiliza durante o aquecimento na mesma mufla utilizada para o teor de umidade. As amostras analisadas ficaram previamente secas na estufa por 24 horas. A mufla foi ligada à 900 graus Celsius e as três amostras foram pesadas nos cadinhos calcinados anteriormente. A massa de biomassa em cada cadinho foi de aproximadamente 1,00029 gramas, de acordo com a norma. Após a mufla atingir a temperatura de 900 graus Celsius, cada cadinho foi colocado de uma vez na porta da mufla aberta durante 3 minutos e depois dentro da mufla fechada por 7 minutos totalizando 10 minutos para cada um. Os cadinhos foram retirados da mufla e colocados no dessecador para que esfriassem. Depois de 40 minutos foram pesados para determinar a massa final. A equação (1) para o teor de voláteis é a seguinte:

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

- MV = teor de materiais voláteis em porcentagem
- $M_2$  massa inicial do cadinho + massa da amostra em gramas
- $M_3$  massa final do cadinho mais massa da amostra em gramas
- $M_1$  massa da amostra em gramas

Precisão: os resultados obtidos em triplicata na determinação dos teores de materiais voláteis não devem diferir um do outro em valores relativos mais que 2%.

### 5.2.3.3 Teor de cinzas

Já o teor de cinzas resultou da combustão dos componentes orgânicos e da oxidação dos inorgânicos na mesma mufla a temperatura de 700 °C durante 5 horas. As biomassas foram colocadas em cadinhos calcinados e previamente pesados. As biomassas pesaram até 1,0029g, de acordo com a norma. Depois de passadas as 5 horas, os cadinhos foram retirados da Mufla e permaneceram no dessecador por 40 minutos para esfriarem e depois foram pesados para determinação da massa final.

O teor de cinzas foi calculado de acordo com a equação (2) abaixo:

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde

- CZ = teor de cinzas em porcentagem
- $m_0$  = massa do cadinho em gramas
- $m_1$  = massa do cadinho mais resíduo em gramas
- m = massa da amostra em gramas

Precisão: Os resultados obtidos em triplicata na determinação dos teores de cinzas não devem diferir um do outro em valores relativos mais que 10%.

#### 5.2.4. Análise elementar

5.2.4.1. Determinação de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e outros

A determinação de C e H por análise elementar foi realizada no equipamento Perkin Elmer Series 2400 II CHNS Análise Elementar.

5.2.4.2. Análise de fluorescência de raios x

Foi realizada a análise de fluorescência de Raios-X (FRX/EDX) para a determinação dos demais elementos a partir do 2º período da Tabela periódica. As medições foram obtidas usando uma energia dispersiva de Raios-X (EDX) equipamento (modelo 720, Shimadzu) com um tubo de ródio fonte de Raios-X. Os espectros de fluorescência de raio-x (FRX) serão coletados sob condições de vácuo usando 2 canais (Ti-U e Na-Sc), fixado em 50 e 15 kV, respectivamente.

5.2.4.3. Análise termogravimétrica

Para a análise termogravimétrica, as curvas de Termogravimetria (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Análise térmica diferencial (DTA) foram obtidas

em um 2960 Simultaneous DSC-TGA (TA Instruments) usando ar sintético (99,999 %) como gás de purga ( $100 \text{ mL min}^{-1}$ ). As análises foram realizadas da temperatura ambiente ( $\sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) até  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  a uma razão de  $10 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ .

### 5.2.5. Gaseificação contracorrente

Para a realização do processo de gaseificação *updraft* foram utilizados 1,0 kg de biomassa para cada experimento, realizado em triplicata, sendo que 0,300 kg foram usados para ignição do gaseificador. Determinou-se a vazão de ar para então adicionar 1,0 kg de biomassa. O reator foi fechado e verificou-se a produção de gás através dos erlenmeyers localizados na saída do equipamento. A retirada do gás para análise deu-se 15 minutos após o início da gaseificação.

### 5.2.6. Análise da composição do gás

A análise dos gases foi realizada no equipamento Shimadzu CG-17, com coluna Carboxen 1010 Plot, argônio como gás de arraste e detector de condutividade térmica (TCD). A pressão utilizada foi de 15 kPa, sendo o injetor de  $200^\circ \text{C}$ , splitless. A vazão total foi de  $30 \text{ ml/min}$  e a vazão na coluna de  $2,47 \text{ ml/min}$ . Com coluna Carboxen 1010 Plot, 30 m por 0,53 mm,  $45^\circ\text{C}$  isotérmico por 60 min. Detector de TCD a  $230^\circ$ , 60 mA e polaridade negativa. O gás de arraste utilizado foi o Argônio com pureza de 98%.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. PODER CALORÍFICO SUPERIOR

O valor médio encontrado para a biomassa de cama de aviário foi de  $13,26 \text{ kJ/kg}$  com erro associado de 2,5%. Quando comparado com o poder calorífico de outras biomassas, tais como as da tabela 1, a cama de aviário tem poder calorífico mais baixo por ser um resíduo, porém é um valor considerável para se usar no gaseificador.

Tabela 1 – Poder calorífico superior (Protásio, 2011)

Biomassa	Poder Calorífico Superior (kJ/kg)
----------	-----------------------------------

Maravalha de eucalipto	19,14
Bagaço de cana de açúcar	18,89
Colheita do milho	18,90
Casca de arroz	16,18
Maravalha de pinus	20,36

## 6.2. ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata é o processo feito na caracterização de uma biomassa, pelo teor de umidade, porcentagem de voláteis, e teor de cinzas. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análises imediatas para a cama de aviário

Cadinho	(%) Umidade	(%) Voláteis	(%) Teor de cinzas
Cama de Aviário	14,46±1,8	70,67±0,9	11,97±4,2

Comparando os resultados obtidos com outras biomassas (Tabela 3), é possível observar o teor de cinzas está bem próximo, porém o teor de voláteis é bem mais baixo e o teor de cinzas se assemelha ao da casca de arroz. O teor de cinzas interfere negativamente no poder calorífico superior, portanto alto valor de cinzas abaixa o poder calorífico da biomassa.

Segundo Farinhaque (1991), o teor de umidade não deve exceder 25% pois umidades altas reduzem o valor do calor de combustão e a temperatura. O teor de umidade é um fator muito importante na utilização de biomassa como combustível, pois apresenta relação inversa com o poder calorífico.

Tabela 3 – Análise imediata de outras biomassas (Miranda, 2011)

Cadinho	(%) Umidade	(%) Voláteis	(%) Teor de cinzas
Casca de arroz	5,96	68,79	16,71
Bagaço de cana de açúcar	2,33	86,77	1,0
Fibra de coco verde	9,27	76,59	3,07
Jequitibá rosa	5,4	83,95	0,55

### 6.3. ANÁLISE ELEMENTAR

#### 6.3.1. Determinação de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e outros

As análises elementar das amostras, da biomassa e de suas cinzas geraram os seguintes dados apresentados na tabela 4. A maior quantidade de carbono e oxigênio era esperada, por se tratar de uma matéria orgânica.

Tabela 4 – Análise elementar da cama de aviário

Substância	Cama de Aviário %	Cinzas %
C	39,6	0,38
H	6,06	0,00
O	38,42	88,94
N	4,82	0,22
K <sub>2</sub> O	4,97	4,97
SiO <sub>2</sub>	3,87	3,87
CaO	0,497	0,497
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,394	0,394
SO <sub>3</sub>	0,015	0,015
MnO	0,008	0,008
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,71	0,71

#### 6.3.2. Análise de fluorescência de raios x

Os elementos foram determinados por espectrometria de fluorescência de raios-X (EDX/FRX). Foram quantificados cálcio e ferro, dentre diversos metais. A quantidade significativa destes elementos se justifica pelo uso de antibióticos no trato dos animais com o objetivo de manter o ambiente sem doenças. Uma amostra de cama aviária com suas respectivas cinzas (após a queima a 850°C) foram analisados. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

A diminuição da porcentagem de alguns elementos ou até mesmo o desaparecimento deve-se ao fato de que abaixo de 710°C ocorre a ebulição dos óxidos.

Tabela 5 – Análise de fluorescência de raios X

Substância	Cama de Aviário %	Cinzas %
<b>Ca</b>	42,828	43,062
<b>Fe</b>	4,803	3,117
<b>Si</b>	1,090	1,808
<b>P</b>	4,424	9,575
<b>K</b>	31,571	22,808
<b>Al</b>	0,657	0,487
<b>S</b>	2,562	2,428
<b>Mg</b>	1,525	4,400
<b>Zn</b>	1,030	0,758
<b>Mn</b>	1,181	1,070
<b>Cu</b>	0,225	0,121
<b>Sr</b>	0,239	0,199
<b>Cl</b>	7,536	9,973
<b>Sc</b>	0,329	0

### 6.3.3. Análise termogravimétrica

Para a cama aviária, Figura 4, a perda de massa foi de 80,96% e ocorreu em temperaturas menores que 920°C em ar sintético. Nesta gama de temperaturas, além da liberação de CO<sub>2</sub> ocorreram outros fenômenos, como a perda de matéria orgânica e umidade remanescente. Primeiro, a liberação de água e compostos voláteis ocorre até 193°C, o que corresponde a uma perda de 20,13%. Na análise tradicional de umidade, o valor encontrado foi de 14,46%. Em seguida, duas perdas sucessivas de massa ocorrem entre 193-527 ° C, associada à quantidade de matéria orgânica, a qual corresponde a uma perda de 55,10% e outra de 553 a 731°C, que corresponde a perda de 3,93%. A primeira perda se refere a oligopolímeros presentes na biomassa, enquanto a segunda perda, se refere a polímeros de massa molecular maior e de arranjo mais cristalino. De 731 a 910°C, há uma perda de 2,4% relacionada à perda de carbono fixo ligado a compostos inorgânicos que compõem as cinzas. A partir desta temperatura não há mais perda de massa. Estes valores estão de acordo com as análises realizadas de teor de voláteis, o que corresponde a 11,97%.

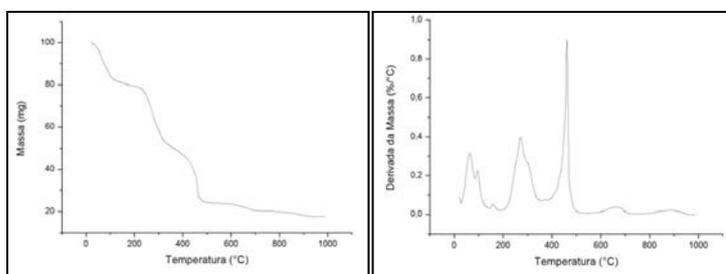


Figura 4 - Curva termogravimétrica e DTG (derivada termogravimétrica) para a cama aviária em ar sintético

Um pico endotérmico pode ser encontrado em 71,38 °C (compostos orgânicos de baixo peso molecular e água). Logo em seguida, dois picos exotérmicos foram observados em 294°C e 455,92°C relacionados à combustão da matéria orgânica, conforme Figura 5.

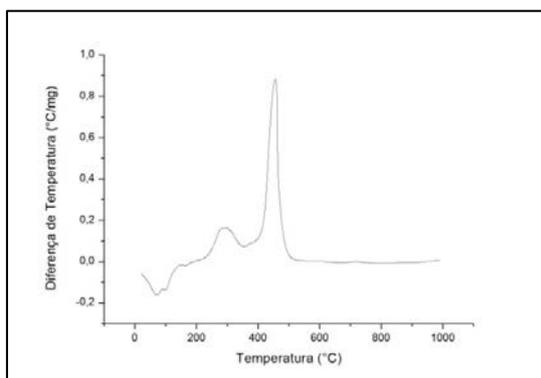


Figura 5 - Curva de DTA (análise diferencial de temperatura) para a cama aviária em ar sintético

#### 6.4. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DO GÁS

As análises cromatográficas realizadas da amostra de gás proveniente da gaseificação de cama de aviário geraram os dados da tabela 6.

Tabela 6 – Cromatografia – 1% de erro

Biomassa	(%) H <sub>2</sub>	(%) CO	(%) CO <sub>2</sub>	(%) CH <sub>4</sub> e outros gases
Cama de Aviário	16,5	54,1	24,1	5,3

Os dados encontrados estão dentro do esperado de acordo com a literatura. Segundo a revisão de MCKENDRY (2002), as concentrações típicas do gás de gaseificadores de leito fixo alimentados com biomassa são 40% - 50% para N<sub>2</sub>, 15% - 20% para H<sub>2</sub>, 25% - 50% para CO, 10% - 20% CO<sub>2</sub> e 3% - 5% para CH<sub>4</sub>. Pela metodologia empregada, N<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> são contabilizados em outros gases. Portanto a biomassa de cama de aviário é uma opção viável para geração de energia descentralizada. A utilização de vários tipos de madeiras para gaseificação está bem difundida, porém como a cama apresentou valores aceitáveis para um gás proveniente de gaseificação de biomassa, é possível a sua utilização no centro oeste, visto que é uma região com atividade pecuária crescente.

O tipo de gaseificador escolhido é o que apresenta maior simplicidade e adaptou-se bem ao planejado. A grande quantidade de alcatrão já era esperada e, portanto foi montado um sistema para condensá-lo, sendo que este não atrapalhou a análise dos gases gerados. Além disso, como os dados obtidos estão de acordo com a literatura, verifica-se que a eficiência do reator é aceitável.

## **7. CONCLUSÃO**

A cama de frango é um problema ambiental no distrito federal, portanto a sua utilização para geração de energia descentralizada é favorável tanto para amenizar os danos ao meio ambiente quanto como uma alternativa à utilização de fontes não renováveis.

A coleta e o transporte da cama de aviário se dá de forma fácil pelo fato de ser uma massa seca, além de ser uma biomassa com valores consideráveis de teor de umidade, cinzas e voláteis. O parâmetro mais significativos na geração de energia

em pequenas escalas é o poder calorífico. A biomassa em questão apresentou índices razoáveis e, portanto existe viabilidade técnica no uso da cama de aviário para gaseificação.

Devido a sua heterogeneidade, recomenda-se a cama de aviário para a geração de energia através de gaseificação em reator contracorrente para melhor aproveitamento. Além disso, é necessário o uso de gaseificador secundário com dolomita para amenizar a produção de alcatrão e, por último a injeção do gás gerado em motor de combustão interna para a produção de energia descentralizada.

## REFERÊNCIAS

- Cadernos NAE (2005)** – “Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República- nº4,” Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica.
- ELETOBRAS (2014)** – [www.eletobras.com](http://www.eletobras.com)
- Lora, E. E. S. Addad, J., (2006)**, “*Geração Distribuída: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais*”. Interciência, Rio de Janeiro.
- Nogueira, L. A. H.; Lora, (2003)** “*Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações*.” 2ª edição. Viveros
- Mckendry, P. (2002)**, “*Energy production from biomass (part 3): gasification technologies*.” Bioresource Technology.
- MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia, (2014)**, [www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/pdf/dppt.pdf](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/dppt.pdf)

**MME – Ministério de Minas e Energia, (2013)**, “*Balanço Energético Nacional 2013*”, Secretaria de Energia, Ministério de Minas e Energia. <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>

**Gómez, E.O.; Lora, E.E.S.; Cortez, L.A.B. (2011)** *Biomassa Para Energia*. Capítulo I: Biomassa no Brasil e no Mundo. Editora Unicamp, 2ª reimpressão, 2011.

**Ensinas (2011)**, et.al. *Conversão de Resíduos em Energia: III Escola de Combustão*. Rede Nacional de Combustão. Salvador, Bahia, 4-8 Julho, 2011.

**Calle et.al. (2008)** *Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira*. Editora da Unicamp, 1ª reimpressão, Campinas- SP, 2008.

**Samuel Martin et.al. (2010)** *Tensão Térmica e Taxa de Reação em um Reator para Gaseificação de Biomassa do Tipo Concorrente*. Revista Ceres Viçosa, v.57, n.2, p. 168-174, mar/abr, 2010.

**CENBIO (2002)**. *Estado da Arte da Gaseificação*. Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte. Centro Nacional de Referência em Biomassa, p. 1-108, Setembro, 2002.

**K. Zhang et.al. (2013)** *Lignocellulosic Biomass Gasification Technology in China*. Renewable Energy 49, p. 175-184, 2013.

**Sanchez, et.al. (2002)** *Apostila sobre Gaseificação*. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Conteúdo do 7º Capítulo, Julho, 2002.

**Qin et.al.(2012)** *High-Temperature Entrained Flow Gasification of Biomass*. Fuel Magazine, n.93, p.589-600, 2012.

**Viana (2014), N. A.** *Tecnologias de Aproveitamento da Biomassa para a Geração de Energia*. Instituto de Química – Universidade de Brasília, 2014.

**N.H. Florin, A.R. Maddocks, S. Wood, A.T. Harris (2006)**. Laboratory for Sustainable Technology, School of Chemical and Biomolecular Engineering, University of Sydney, NSW 2006, Australia

**Bocci E., Sisinni M., Moneti M., Vecchione L., Di Carlo A., Villarini M. (2013)** *State of art of small scale biomass gasification power systems: a review of the different typologies*. 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013

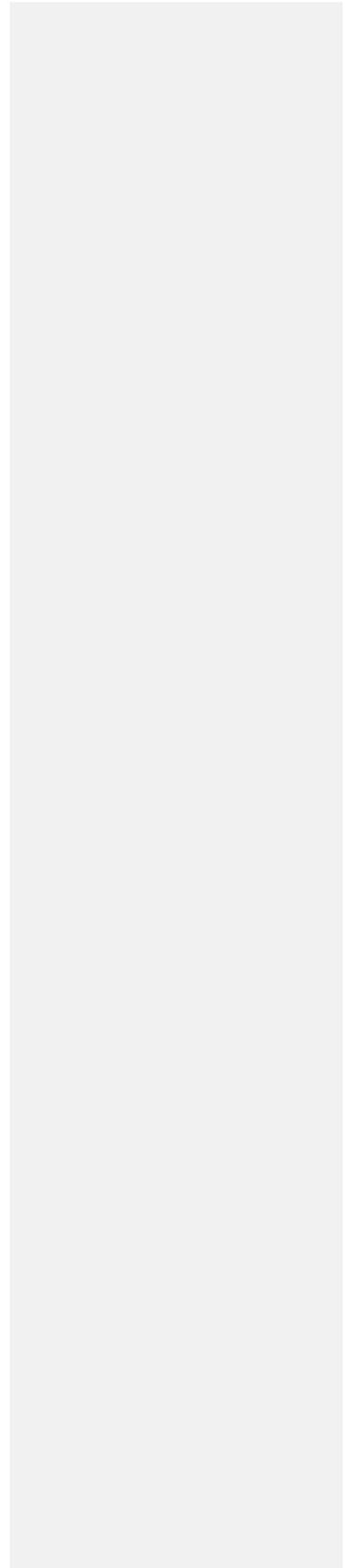
**Zahid Anwar, Muhammad Gulfray , Muhammad Irshad (2014)**. Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: A brief review. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2014.

**L.J.R. Nunes, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalão 2014)**. Mixed biomass pellets for thermal energy production: A review of combustion models, 2014.

**EMBRAPA(2014)**<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ave/ProducaoFrangodeCorte/Preservacao.html> (Acesso em maio de 2014)

**Henrard, A.A, Meza L., Borges, J. A., Rosa, G.M., Andrade M. R., Ogradowski, R. & Costa, J. A., V.** Produção de biogás a partir de biomassa microalgal. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Química e Alimentos, Laboratório de Engenharia Bioquímica, 2008.

**ANEXOS**



	Pág.
Anexo I	Tipos de reatores para gaseificação
	36

## 1. TIPOS DE REATORES

### 1.1 GASEIFICADORES DE LEITO FIXO

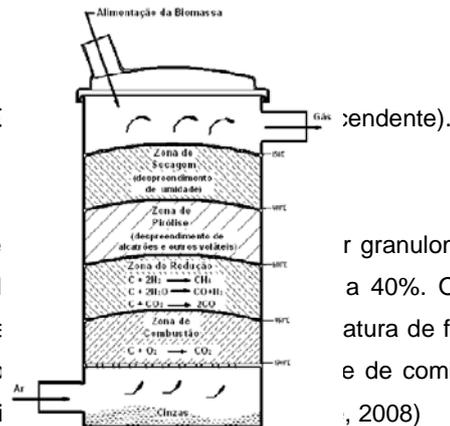
É o tipo mais comum, pois podem ser utilizados em pequena escala. Segundo CENBIO (2002), dos projetos de gaseificadores existentes no mundo 77,5% são do tipo de leito fixo, 20% são do tipo fluidizado e 2,5% de outros tipos. Esse tipo de reator pode ser de dois tipos: contracorrentes e cocorrentes.

### 1.1.1 Gaseificadores Contracorrentes (*updraft*)

É o tipo mais antigo e o mais simples já construído. No gaseificador de fluxo ascendente (Figura 1) o combustível é inserido na parte superior e se movimentando pela ação da gravidade conforme é consumido. O ar entra pela parte inferior, portanto o fluxo de gases é ascendente, e o do combustível é descendente. É o tipo ideal para biomassas úmidas, possui eficiência térmica alta, porém produz grande quantidade de alcatrão. Esse problema é resolvido quando o gás é utilizado logo após a queima em uma caldeira. A temperatura de saída dos gases é de aproximadamente 400°C.

Figura 1 - C

Para utilizar esse gás com granulometria entre 10 - 100 mm e o teor de umidade coletado nesse reator é menor que 40%. O teor de cinzas é menor que 10%. Esse reator produz gases com temperatura de fusão das cinzas e de combustíveis, desde 1000°C. Esse reator produz gases com temperatura de fusão das cinzas e de combustíveis, desde 1000°C.



Para utilizar esse gás com granulometria entre 10 - 100 mm e o teor de umidade coletado nesse reator é menor que 40%. O teor de cinzas é menor que 10%. Esse reator produz gases com temperatura de fusão das cinzas e de combustíveis, desde 1000°C. Esse reator produz gases com temperatura de fusão das cinzas e de combustíveis, desde 1000°C.

### 1.1.2 Gaseificadores Cocorrentes (*downdraft*)

Esse tipo de gaseificador (Figura 2) foi muito utilizado em automóveis na época da segunda guerra mundial. De acordo com Calle (2008), são projetados e

construídos com o intuito de reduzir a produção de alcatrão e particulados. Esses resíduos são direcionados a zona de combustão, onde, são craqueados e convertidos. Esse reator apresenta quantidades significativas de cinzas e fuligem, pois a saída do gás ocorre diretamente da zona de redução. O teor de cinzas é menor que 6%. O combustível deve possuir granulometria de 10-100 mm e que o teor de umidade seja menor ou igual a 25%. A temperatura de saída dos gases do reator é de aproximadamente 700°C, pois não ocorre a troca de calor com as zonas de pirólise e secagem.

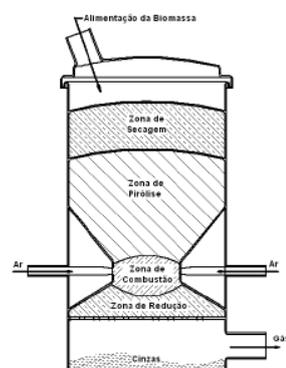


Figura 2 - Gaseificador cocorrente (descendente)  
Fonte: Ensinas, 2011

## 1.2 GASEIFICADORES DE FLUXO CRUZADO

Nesse tipo de gaseificador, representado na Figura 3, a entrada de ar fica na mesma altura da retirada de gás da câmara de gaseificação. Devido a grande quantidade de ar injetada em relação aos outros reatores, em torno da entrada de ar se forma uma área de combustão extremamente quente. A zona de secagem e pirólise apresenta-se na parte superior do gaseificador. O gás combustível produzido apresenta características intermediárias comparadas com o contracorrente e cocorrente. (Zhang, 2013)

Esses reatores apresentam peso reduzido e sua construção é simples, além disso, tem rápida resposta a variação de carga. Porém, são muito sensíveis às características da biomassa utilizada, sendo assim é mais indicado para carvão vegetal limpo e seco. Produzem um gás com alto teor de fuligem e de cinzas.

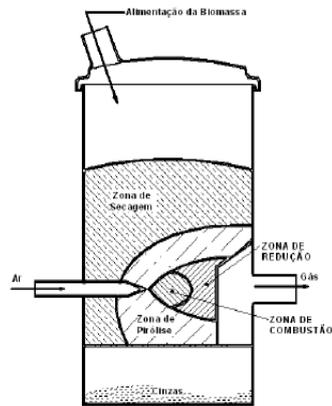


Figura 3 – Gaseificador de Fluxo Cruzado  
Fonte: Ensinas, 2011.

### 1.3 GASEIFICADORES DE LEITO FLUIDIZADO

Os gaseificadores de leito fluidizado (Figura 4) podem ser classificados em leito fluidizado circulante ou borbulhante. Nos de leito fluidizado circulante as partículas arrastadas de combustível pelos gases, retornam ao leito por meio de um ciclone, mantendo-se em circulação. Nos borbulhantes as partículas do combustível arrastadas pelo processo não retornam para o leito, sendo a alimentação de biomassa feita pela mesma zona.

Nesse reator há uma melhor condição de transferência de calor e temperatura uniforme na câmara de reações. Isso se deve ao ambiente reacional possibilitado pelo fluxo do agente de gaseificação e das partículas inertes. O teor de alcatrão é alto pois esse não se gaseifica, além da temperatura de operação ser baixa. Os teores de material particulado ficam entre 30-35 g/Nm<sup>3</sup>. Podem operar com biomassa que tenha umidade elevada (até 65%), e a granulometria exigida é de 5 a 10 mm. O teor de cinzas é menor que 20% e a temperatura de saída dos gases fica entre 500-900°C. (Viana, 2014)

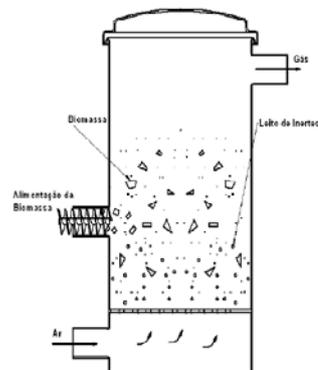


Figura 4 - Diagrama esquemático do gaseificador de leito Fluidizado. (Ensinas, 2011).

Esses gaseificadores foram adotados pela indústria petroquímica e química para o processo do craqueamento catalítico de hidrocarbonetos pesados, secagem e outras aplicações. Apresentam uma alta eficiência energética, pois as taxas de produção e de trocas de calor são elevadas.

#### 1.4 GASEIFICADORES LEITO ARRASTADO (*ENTRAINED FLOW*)

Esse tipo de reator foi desenvolvido para funcionar com carvão mineral, pois exige partículas de menores dimensões e com baixo teor de umidade. Funcionam a uma elevada temperatura, pois a adição de oxigênio na zona de combustão é geralmente 20% a mais que nos outros tipos de gaseificadores. Ele produz um gás de síntese de elevada qualidade (baixo teor de alcatrão e de metano) e, possui uma alta conversão do carbono. A cinza oriunda do processo é geralmente removida como matéria fundida como consequência da alta temperatura (geralmente 1.300°C a 1.400°C). É necessário um sistema de resfriamento dos gases antes da limpeza devido a produção de fuligem no gás. (Viana, 2014)