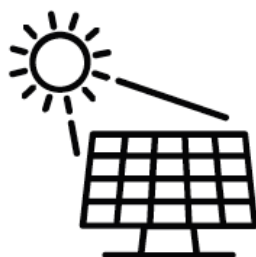




**III Congresso  
Ibero-Americano de Empreendedorismo,  
Energia, Ambiente e Tecnologia:  
Livro de atas**

*12 a 14 de julho de 2017*



**Título:** III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia: Livro de atas

**Editores:** Américo Vicente Leite  
Ana Isabel Pereira  
Ângela Paula Ferreira  
Artur Jorge Gonçalves  
João Paulo Almeida  
José Luis Calvo Rolle  
Manuel Joaquim Feliciano  
Orlando Manuel Soares  
Ronney Arismel Boloy

**Edição:** Instituto Politécnico de Bragança – 2017  
Campus de Santa Apolónia  
5300-253 Bragança  
Portugal

**Execução:** Orlando Manuel Soares

**ISBN:** 978-972-745-230-9

**URI:** <http://hdl.handle.net/10198/14339>

**Email:** [cieemat2017@ipb.pt](mailto:cieemat2017@ipb.pt)

**Apoios e Patrocínios:**



**Media Partner:**



50715 Estado da Arte sobre as Inovações na Cadeia de Processamento da Mandioca para Produção de Farinha Seca .....	215
50748 Análise das Condições de Saúde e Segurança do Trabalho de uma Empresa de Mineração Localizada no Centro-Oeste Mineiro .....	221
50750 Numerical Analysis of a Hyperelastic Material Under Pure Shear.....	227
50969 Aplicação do PDMS ao Estudo Biomecânico de Aneurismas Cerebrais: Revisão .....	231
50766 Controle de Temperatura: Comparativo entre a Viabilidade da Utilização de Condicionadores de Ar e Climatizadores Evaporativos .....	239
48954 Impacto das Políticas de Responsabilidade Social e Ambiental na Decisão de Compra do Consumidor.....	245
51108 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Alegria – Medianeira – PR.....	251
50824 Tratamento e Valorização Energética de Efluente Agroindustrial em Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) .....	257
51148 Avaliação da Complexidade e Compacidade em Bairros Contrastantes da Cidade de Bragança .....	263
51167 Análise do Efeito de Ilha de Calor Urbano na Cidade de Bragança .....	269
51189 Estudo do Potencial de Aplicação de Um Sensor de Baixo Custo para Medição de Metano em Áreas Urbanas: Ensaios Preliminares.....	275
50783 Contributos para a Caracterização Energética de Edifícios Habitacionais do Concelho de Bragança .....	281
50663 Jerarquización de Objetivos de Gestión para el Parque Natural de Montesinho (Portugal) .....	287
50731 Monitorização Remota de Ecossistemas de Elevado Valor Natural: O Caso da Quercus Pyrenaica Willd. no Parque Natural de Montesinho .....	293
50652 Grapevine Bioclimatic Indices in Relation to Climate Change: a Case Study in the Portuguese Douro Demarcated Region.....	297
50710 Pegada de Carbono da Produção de Carne Bovina no Nordeste de Portugal: Comparação entre Dois Sistemas Produtivos.....	303
50578 Anaerobic Digestion of Fourth Range Fruit and Vegetable Products .....	309
50944 Solos e Risco de Erosão nas Áreas Ardidas no Último Quarto de Século no Distrito de Bragança .....	315
48962 Recuperación de nutrientes para producción de fertilizantes mediante sistemas bioelectroquímicos .....	321

# Estado da Arte sobre as inovações na cadeia de processamento da mandioca para produção de farinha seca

Yasmim Aparecida de Oliveira Chaves

Escola Superior de Tecnologia e Gestão - ESTiG  
 Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal  
 Grupo de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e  
 Tecnologia (GEEMAT), CEFET/RJ – Campus A. dos Reis,  
 Angra dos Reis, Brasil/ yasmim.chaves@hotmail.com

Ronney Arismel Mancebo Boloy

Grupo de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e  
 Tecnologia (GEEMAT), CEFET/RJ – Campus A. dos Reis,  
 Angra dos Reis, Brasil/ ronney.boloy@cefet-rj.br

Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

Escola Superior de Tecnologia e Gestão - ESTiG  
 Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal  
 osoares@ipb.pt

## Resumo

A mandioca é uma cultura tropical que tem grande importância na segurança alimentar e supre exigências nutricionais, por isso seu plantio está crescendo a cada ano. A produção mundial de mandioca é de cerca de 276,7 milhões de toneladas por ano, sendo a Nigéria o maior produtor mundial com 19,5% de produção, seguida da Tailândia com 10,9% e da Indonésia com 8,6% de produção. O Brasil está em 4º lugar com 7,7% da produção mundial. O principal produto produzido a partir de mandioca é a farinha seca, atingindo níveis acima de 90%. Como um subproduto deste processo, temos um efluente industrial chamado "manipueira", que é liberado durante o processo de prensagem. Esse efluente é muito tóxico e poluente quando não tratado, apresentando também alto potencial em gás metano e, portanto, podendo ser usado como recurso energético para a produção de biocombustíveis. O biogás é um biocombustível produzido a partir de uma mistura gasosa de principalmente de dióxido de carbono com gás metano. Sua produção pode ocorrer naturalmente através da ação de bactérias em materiais orgânicos ou artificialmente. Esta revisão tem como objetivo coletar e apresentar uma visão geral da produção atual de Biogás através da fermentação anaeróbica manipueira, utilizando-a como fonte de energia na alimentação de um sistema de cogeração composto por uma turbina a gás e recuperador de calor, cujo objetivo é gerar energia elétrica e térmica. A cogeração de energia é um processo que aproveita o calor rejeitado na combustão de combustíveis, tornando o sistema mais eficiente.

**Palavras-chave:** energia, mandioca, manipueira, biogás, cogeração de energia.

## I. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta de fácil cultivo, devido a seu baixo custo de produção, ampla adaptação a diferentes condições climáticas e solo e tolerância ao ataque de pragas. Originária da América do Sul, é um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento. [1]

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO [2], a cultura da mandioca é encontrada em mais de 100 países, registrando crescimento médio de 13,9% nos últimos 5 anos e atingindo

275 milhões de toneladas no ano de 2013, como apresentado na tabela a seguir:

TABELA 1 – PARTICIPAÇÃO DOS PRINCIPAIS PAÍSES NA PRODUÇÃO MUNDIAL DE MANDIOCA EM RAIZ NOS ANOS DE 1970 A 2013.

Países	1970	2010	2011	2012	2013	Δ% 2013/1970
<b>África</b>	40,5	134,4	141,2	146,4	157,7	289,4
Nigéria	10,2	42,5	46,2	51,0	53,0	419,6
Congo	10,3	15,0	15,0	12,0	12,5	21,4
Gana	1,5	13,5	14,2	14,5	16,0	967,0
Outros	18,5	63,4	65,8	68,9	76,2	312,0
<b>Ásia</b>	23,1	75,0	80,5	89,0	88,3	282,3
Tailândia	3,2	22,0	21,9	29,8	30,2	843,8
Indonésia	10,7	24,0	24,1	24,2	23,9	123,4
Outros	9,2	29,0	34,5	35,0	34,2	271,7
<b>América do Sul</b>	35,5	31,9	31,8	28,9	28,8	18,9
Brasil	30,0	25,0	25,4	23,0	21,5	283,0
Outros	5,5	6,9	6,4	5,9	7,3	32,7
<b>TOTAL</b>	99,1	241,3	253,5	264,3	274,8	177,3

\*Valores em milhões de toneladas.

Fonte: [2] FAO (2015), [3] SEAB/DERAL (2015/16)

Durante o período de 2015/16, a produção mundial de mandioca atingiu cerca de 276,7 milhões de toneladas, sendo a Nigéria o maior produtor mundial com 19,5% da produção, seguida pela Tailândia com 10,9% e Indonésia com 8,6%. O Brasil encontra-se em 4º lugar com 7,7% da produção mundial. [1][2]

Nos países Africanos, a mandioca é consumida principalmente *in natura*, muitas vezes cozida, pois a industrialização ainda é incipiente. Por outro lado, em países como o Brasil, o processamento da mandioca ocorre com grande parte da produção, sendo destinada principalmente para fabricação de farinha seca e a extração do amido. [4]

Os resíduos gerados desse processamento, podem ser sólidos, tais como casca ou farelo, ou líquidos, como a

manipueira. A manipueira é a água residual oriunda do processo de prensagem da mandioca para produção de farinha seca, apresentando elevado teor de material orgânico e necessitando assim, de tratamento para que possa ser lançada no ambiente externo sem causar danos. [4]

A poluição gerada por esse efluente está diretamente ligada à sua elevada carga de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), que pode ser entendido como a quantidade de oxigênio molecular necessária à estabilização da matéria orgânica carbonada decomposta aerobicamente por meio biológico, e também por apresentar em sua composição uma substância de efeito tóxico, o ácido cianídrico, que acaba por diferenciar esse resíduo dos demais resíduos agroindustriais. [4][3]

Segundo Fioretto [5], a cada 3 quilos de massa ralada e prensada é gerado 1 litro de manipueira e 1 tonelada/dia do resíduo causa uma poluição equivalente a uma população de 230 a 300 habitantes/dia.

Atualmente, a opção mais utilizada para o correto tratamento da manipueira são os sistemas de lagoas, que por apresentam desvantagens como a emissão de gases para a atmosfera, risco de sobrecarga de lagoas e falta de monitoramento do processo, acabam por se tornar inviáveis. [6]

Como solução alternativa para este problema, temos que o tratamento anaeróbico de efluentes agroindustriais tem aumentado nos últimos tempos, apresentando pontos positivos se comparado aos sistemas mais comumente utilizados, tais como o menor consumo de energia, a necessidade de menor área para implantação do sistema e a potencialidade de uso do biogás gerado como biocombustível. [4]

Tendo em vista estas informações, objetivou-se estudar neste presente trabalho, a produção de biogás através da fermentação anaeróbica da Manipueira, utilizando-o como fonte de energia na alimentação de um sistema de cogeração composto por uma microturbina a gás e um recuperador de calor, que tem como finalidade gerar energia elétrica e térmica, como mostrado no esquema a seguir:

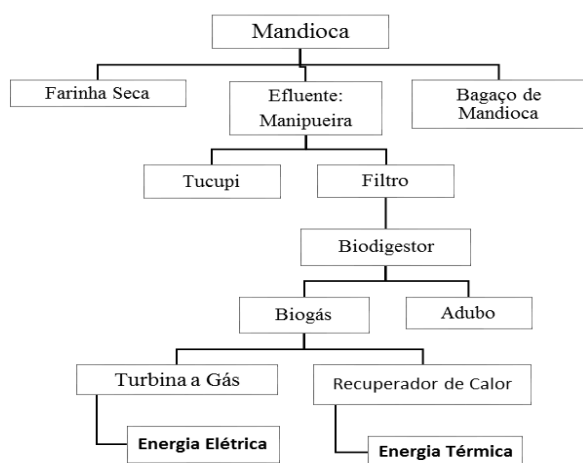


Fig. 1. Planta de inovação tecnológica para produção de energia elétrica e térmica a partir da biodigestão da manipueira gerada durante o processamento da mandioca.

A cogeração consiste no aproveitamento local do calor residual, originado de processos termodinâmicos de geração de energia elétrica que, de outra forma, seria desperdiçado. Ou seja, é a produção simultânea de energia térmica e energia mecânica a partir de um único combustível. [7]

## II. A CULTURA DA MANDIOCA

A mandioca é uma raiz de origem brasileira, sendo considerada uma das culturas mais difundidas no país. Seu cultivo e utilização são datados desde a época da colonização, quando os primeiros portugueses já encontraram o povo indígena cultivando e utilizando a mandioca no preparo de alimentos e bebidas. [8]

Atualmente, a mandioca é cultivada em diversos países, sendo a maioria deles localizados em uma extensa faixa do globo terrestre que é compreendida entre as latitudes de 30° Norte e 30° Sul. [4]

Vários fatores contribuíram para a disseminação e a propagação da cultura da mandioca, tais como: a facilidade de cultivo, não exigência de solos muito férteis e técnicas sofisticadas de plantio, diversidade genética, grande resistência a pragas, capacidade de regeneração e de adaptação ecológica, reprodução vegetativa, elevada tolerância a períodos de estiagem e possibilidade de cultivo associado a outras culturas. [4][8]

Devido a suas raízes, ricas em amido, e a possibilidade de processamento com fim em diversos subprodutos, a mandioca ganhou grande importância econômica, podendo ser utilizada na fabricação de produtos alimentícios (humano e animal) e para uso industrial. [4]

## III. AGROINDÚSTRIA DA MANDIOCA

A industrialização das raízes de mandioca se tornou uma boa alternativa para se agregar valor a esta cultura, diminuindo as perdas pós-colheita, proporcionando maior retorno financeiro aos produtores e gerando empregos. [8]

Agroindústria é a indústria que beneficia matéria-prima oriunda da agricultura, sendo, portanto, responsável pelo processamento da mandioca com fins industriais. [5]

Como exemplo de produto gerado deste processamento temos a farinha de mandioca, que pode ser encontrada em três tipos: farinha seca, farinha d'água e farinha mista. [4] [8]

A farinha seca, também conhecida como farinha de mesa, é a mais comercializada, e conseqüentemente, consumida nos dias de hoje, rica em Ferro, Cálcio e Potássio, é considerada o subproduto do processamento da mandioca

mais importante, superando índices de produção e consumo do amido, por exemplo.

A cada 25 milhões de toneladas de mandioca produzidas por ano, cerca de 2 milhões apenas são destinadas para a produção de amido, sendo a maior parte restante, cerca de 60%, destinada para a produção de farinha seca. [4]

#### IV. O PROCESSAMENTO DA MANDIOCA PARA PRODUÇÃO DE FARINHA SECA

O processo de obtenção da farinha seca, se inicia com a correta recepção da mandioca na indústria, seguida pela lavagem e descascamento das raízes, para então iniciar a etapa de ralação. Como resultado deste processo, a mandioca é reduzida a uma massa não muito fina e úmida que é acondicionada em tanques limpos. [8]

Em sequência, temos o processo de prensagem, que pode ser realizado em prensa manual ou hidráulica e tem por objetivo retirar o excesso de água da massa ralada antes da torração, diminuindo a ocorrência de fermentações indesejáveis e economizando tempo e combustível na operação seguinte. [9][10]

Durante este processo, é possível eliminar cerca de 20% a 30% da água da massa, gerando um efluente industrial conhecido como Manipueira. [9][11]

Devido ação da prensa, a massa fica compacta e coesa, necessitando ser esfarelada. A massa esfarelada passa por uma peneira vibratória de malha fina, que retém fibras, pedaços de casca e de raízes de mandioca que escaparam da ação do ralador. O material retido na peneira é conhecido como crueira e normalmente destinado à composição de ração animal. [8][9]

Por fim, temos o processo de torração. Este processo é extremamente delicado e influencia diretamente na qualidade do produto final. Nele, a massa perde umidade até se apresentar convenientemente seca, quando é retirada para um depósito, onde esfria. O teor de umidade final das farinhas deve ser sempre inferior a 14%, para garantir a conservação do produto. [8][11]

Depois de esfriada, a farinha passa por mais um processo de peneiragem, seguido de uma classificação, onde é subdividida de acordo com o tamanho do seu grão. Estando pronta, enfim, para ser embalada e comercializada. [10]

#### V. MANIPUEIRA

A manipueira é uma água de cor amarelada ou branca sendo composta pela mistura do suco celular com águas de lavagem das raízes da mandioca, que é gerada no momento da prensagem da massa ralada para a confecção da farinha seca, podendo representar cerca de 50% ou mais do peso da matéria-prima processada. [4] [13]

Em alguns estados da região Norte e Nordeste brasileira, a manipueira é utilizada na fabricação de temperos, como o Tucupi, que junto com a mandioca fazem parte da culinária tradicional destas localidades.

Segundo Damasceno [14], a manipueira se caracteriza por sua carga orgânica e presença de cianeto (CN), resultante da hidrólise de glicocídeos cianogênicos presentes na mandioca, que durante o processamento são carregados para o líquido residuário.

Sua composição pode variar, dependendo de condições do meio de cultivo, tais como clima, temperatura, umidade do ar, tipo de solo e precipitação pluvial, e também de acordo com o tipo de processamento utilizado. [15][16] Porém, de forma geral podemos dizer que a composição química da manipueira é descrita na tabela a seguir:

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DA MANIPUEIRA.

Componentes	Manipueira
Nitrogênio	3,42
Fósforo	0,70
Potássio	3,09
Cálcio	0,19
Magnésio	0,60
Sódio	0,46
Cianeto Livre	0,0425
DBO	14-34
Ph	4-5

\*Valores em kg/m<sup>3</sup>

Fonte: [12] Ponte, J. Júlio, [17] Ferreira, Waldemar de A., [18] de Souza, Diniz Mauto.

Segundo Barana [19], a manipueira apresenta um potencial poluidor 25 vezes maior que o esgoto doméstico.

#### A. Processos de tratamento da Manipueira

As lagoas de estabilização aeróbica são hoje o principal processo de tratamento da manipueira gerada nas casas de farinha, chegando a índices superiores a 95%. [20][21]

Durante este processo, a manipueira permanece depositada em tanques, chamados lagoas, a fim de ser tratada por agentes naturais, tais como foto-decomposição, precipitação e atividade microbiana local, sem haver qualquer tratamento adicional no sentido de otimização para aproveitamento deste efluente como subproduto. Os resíduos tendem a alcançar lençóis freáticos, contaminando aquíferos e ainda produzindo odor desagradável e problemas com insetos e vetores. [22][23]

Por ser uma solução de elevado custo e nenhum ganho financeiro, o tratamento da manipueira não se torna viável para as pequenas e médias empresas de processamento da mandioca, que acabam por lançar este efluente diretamente no ambiente. Este despejo indevido no solo e no curso dos rios, caracteriza a manipueira como o resíduo que mais causa agressão nas regiões próxima as fábricas de farinha. [4][24]

Aliado a estes fatos, temos que o tratamento de efluentes industriais a partir da digestão anaeróbica tem aumentado nos últimos anos, se mostrando uma alternativa segura e viável economicamente. [4][11]

#### VI. DIGESTÃO ANAERÓBICA

A digestão anaeróbica é um processo fermentativo a qual são submetidos diversos tipos de resíduos, sejam eles urbanos, rurais ou industriais, com a finalidade de realizar a remoção de matéria orgânica poluente e dos microrganismos patogênicos presentes. [25]

Comparado com o método convencional de tratamento aeróbico e do ponto de vista da implementação de tecnologias sustentáveis, o processo anaeróbico resolve o problema dos efluentes de uma maneira mais abrangente, pois requer pouco espaço para a sua implementação e apresenta menores custos para maiores cargas volumétricas de efluentes tratados. Além de produzir energia útil na forma de biogás e biofertilizantes estáveis, mais ricos em nutrientes assimiláveis e com melhores qualidades sanitárias em relação ao material original. [25-27]

##### A. Processo de digestão anaeróbica

O processo de digestão anaeróbica ocorre de maneira natural e sem a presença de oxigênio, podendo ser dividido basicamente em duas etapas: acidogênese e metanogênese. [4][27]

Inicialmente, a matéria orgânica complexa é transformada em compostos simples, pela ação de enzimas extracelulares, das bactérias acidogênicas que transformam os demais ácidos voláteis em ácidos acéticos. Depois disso, os produtos resultantes das etapas anteriores são transformados, principalmente, em CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> pela ação de bactérias metanogênicas. [25][28]

Segundo Arieta e Cantera [29], a matéria orgânica presente na manipueira é transformada, durante um processo de digestão anaeróbica, cerca de 70 a 80% em biogás, 20 a 25% em material orgânico que continua em dissolução, transformando-se, posteriormente, em adubo e entre 1 a 5% em novos microorganismos.

##### B. Biodigestor anaeróbico

Biodigestores cosistem basicamente, de uma câmara de formato variado onde se processa a fermentação anaeróbica da matéria orgânica, de uma redoma, ou campânula, para armazenamento do biogás produzido e de uma saída para o material digerido. Sua principal função é a manutenção das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana. [4] [30]

Os biodigestores anaeróbicos podem ser de fase única ou fase dupla, contínuos ou de batelada, se adequando a sua aplicação e uso. Segundo Santos [31], o biodigestor correto para o aproveitamento do biogás gerado a partir da manipueira é o de fase dupla.

#### VII. BIOGÁS

Segundo Lamo [32], biogás é definido como uma mistura de gases obtida em biodigestores anaeróbicos, que resultam da conversão da biomassa em energia secundária, pelo processo de biodigestão anaeróbica de resíduos agroindustriais e domésticos.

A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), embora apresente traços de nitrogênio (N), hidrogênio (H) e gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S). [4][33-35]

Seu poder calorífico está diretamente relacionado com a quantidade de metano existente em sua composição, atingindo em média uma correspondência de 6 kWh/m<sup>3</sup>, o que equivale a meio litro de óleo diesel. [34]

Na tabela 3 são apresentadas outras equivalências entre o biogás produzido a partir da manipueira e combustíveis energéticos utilizados mais comumente.

TABELA 3 – EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE O BIOGÁS PRODUZIDO A PARTIR DA MANIPUEIRA E OUTROS COMBUSTÍVEIS.

Combustível	Equivalência com o Biogás
Gasolina	0,8 L/m <sup>3</sup>
Óleo diesel	0,7 L/m <sup>3</sup>
Alcool	1,3 L/m <sup>3</sup>
Madeira	2,7 kg/m <sup>3</sup>
Carvão mineral	1,4 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Inoua, Keles [4]; Santos, Armínio [31].

##### A. Tecnologias de conversão do biogás

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica pode ativar um gerador para converter em energia elétrica. [33]

As turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo “Ciclo Otto” são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética. Embora os motores, de modo geral, possuam maior eficiência de conversão elétrica, as turbinas a gás podem apresentar um aumento de sua eficiência global de conversão, quando operadas em sistemas de cogeração. [33][36]

#### VIII. COGERAÇÃO

A cogeração pode ser definida como um arranjo inteligente do processo de conversão de um combustível em energia mecânica que, através de processos de aproveitamento do calor residual eleva a eficiência global do beneficiamento dos combustíveis, gerando não uma, mas duas formas de energia. As formas de energia mais produzidas por sistemas de

cogeração são a energia térmica e a energia mecânica, sendo esta habitualmente convertida em energia elétrica através de um gerador ou alternador. [37]

A produção combinada de calor e de eletricidade é utilizada em diversas unidades industriais a nível mundial, nos mais variados setores e em diversas atividades, sendo necessário apenas encontrar uma aplicação útil para o calor gerado. [33][37]

A implementação de processos de cogeração passou a ser estimulada através da produção de legislação e regulamentação, da criação de incentivos econômicos e de apoio financeiro à investigação sobre este assunto em diversas partes do mundo, principalmente na União Europeia. [34][37]

Segundo a Educogen - Associação Europeia para promoção da cogeração [38], o aproveitamento útil da energia primária gerada através do biogás é de cerca de 85%, sendo 30% de energia elétrica e 55% de energia térmica, registrando-se cerca de 15% de perdas ou de ineficiência do processo. Mostrando assim que, a eficiência média de um sistema de cogeração é superior às eficiências associadas à produção de energia elétrica numa central (36%) e à produção de calor numa caldeira (80%), que juntas atingem um valor médio de apenas 58%.

A planta estudada neste presente trabalho pretende gerar energia elétrica e térmica a partir de um processo de cogeração, utilizando uma microturbina a gás acoplada a um gerador e um recuperador de calor, como exemplificado na figura a seguir:

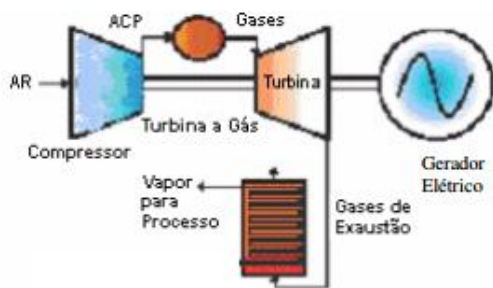


Fig. 2. Sistema de cogeração, ciclo Brayton.  
Fonte: Pecora, Vanessa [39]

#### A. Microturbina a gás

As microturbinas a gás são pequenas turbinas de combustão que operam na faixa de 20 a 250 kW, com elevadas velocidades de rotação e com diversos tipos de combustíveis, como o gás natural, biogás e o GLP (gás liquefeito de petróleo) por exemplo. [39]

Seu funcionamento inicia quando o ar é aspirado e forçado para o interior da turbina a alta velocidade e pressão, sendo misturado ao combustível e queimado na câmara de

combustão. Este processo de queima é controlado para se obter a máxima eficiência e baixos níveis de emissão. Os gases produzidos na queima sofrem expansão nas palhetas da turbina, produzindo trabalho. O trabalho produzido origina uma potência mecânica, que é usada para acionar o gerador, fornecendo eletricidade. [37-39]

A energia elétrica gerada neste processo pode ser utilizada pelo próprio sistema, diminuindo o consumo de eletricidade e otimizando o uso dos recursos naturais, visto que em alguns países como o Brasil, a matriz energética é altamente dependente de recursos hídricos, por exemplo. [39]

Vale citar também que, dependendo do volume de biogás gerado, a energia elétrica produzida pode levar a autossuficiência e ainda, gerar excedentes que podem ser comercializados, permitindo um alto retorno financeiro perante o investimento. [39]

#### B. Recuperador de Calor

Com o objetivo de aumentar o rendimento global da turbina, é usual integrar no sistema um recuperador de calor, que permite aproveitar o calor disponível nos gases de escape da saída da turbina para gerar energia térmica. [37] [39]

A energia térmica gerada pode ser aproveitada durante o próprio processo industrial, sendo aplicada a fase de torração durante o processamento da mandioca para fabricação de farinha seca, economizando assim matéria-prima (lenha, no caso de pequenas e médias empresas e carvão mineral nas grandes empresas) e a energia que seria disposta para o processo.

### IX. CONCLUSÃO

Como principal conclusão, observa-se que as tecnologias de digestão anaeróbica e de aproveitamento do biogás se mostram eficazes no tratamento e valorização da manureira, diminuindo impacto ambiental causado pelo descarte indevido deste efluente e possibilitando ainda a produção de energia elétrica e térmica.

A produção de energia a partir deste efluente gera ganhos não só ambientais, como econômicos para a indústria que pode aproveitar a energia elétrica e térmica durante o seu processo. Tem-se também que há necessidade de estudos posteriores para quantificar a redução do consumo de eletricidade, verificando se há a viabilidade de tornar o processo autossustentável.

Segundo a tecnologia de cogeração, nota-se que a mesma se mostra energeticamente eficiente, além de ser uma opção de geração descentralizada de energia para os setores industrial e comercial.

Assim, espera-se que no futuro, efluentes industriais com alto potencial energético como o estudado, ao invés de serem tratados ou descartados, desempenhem um papel relevante na produção de energia mundial, visando cada vez mais a sustentabilidade.

Como sugestão, indica-se que o presente trabalho seja um incentivo para implementação desta tecnologia, integrando o uso sustentável dos recursos naturais renováveis com o uso racional e eficiente de energia.

#### REFERÊNCIAS

- [1] EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, “EMBRAPA: Mandioca e fruticultura”, Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.
- [2] Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO, “A mandioca tem um grande potencial para ser a cultura do século XXI”. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/mtgpsXXI.asp>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.
- [3] SEAB – Secretária de Estado de Agricultura e Abastecimento, DERAL – Departamento de Economia Rural, “Análise da conjuntura agropecuária: Mandioca - safra 2015/16”, Disponível em <<http://www.agricultura.pr.gov.br/>>. Acesso em: 5 de abril de 2017.
- [4] Inoue, Keles R. A., “Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na biodigestão da manipueira”, 2008, 92 f. Tese: (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2008.
- [5] Fioretto, R. A., “Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca”. São Paulo, Fundação Cargill, V. 4, 320 f. cap. 4, 2001.
- [6] Kuczman, Osvaldo. “Tratamento anaeróbio de efluente de fecularia em reator horizontal de uma fase”. Revista Raízes e Amidos Tropicais, v. 3, n. 1, p. 609-613, 2007.
- [7] Coldebella, Anderson. “Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite”. In: 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.
- [8] EMBRAPA, “Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: processamento da mandioca”. 1ed, SEBRAE, Brasília, Brasil, pp 14-38, 2013.
- [9] Bezerra, Valéria Saldanha, “Farinha de Mandioca Seca e Mista”, 1 ed, EMBRAPA, Brasília, Brasil, pp 13-50, 2006.
- [10] Cereda M. P. “Caracterização dos substratos da Industrialização da mandioca”. Série cultura de tuberosa amiláceas Latino Americana, Vol.4, São Paulo, Brasil, Fundação Gargil, Cap. 1, pp.15-37, 2003.
- [11] Santos, Milane B.; Miranda, Renato M. B.; Paula, Luiz Guilherme A.; Toledo, Aristides R. C. e Cezar, Vicente R. S., “Avaliação da produção de biogás e redução de DBO5 através do tratamento de manipueira em reator UASB.”, 8 f. In: CONNEPI – Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, Alagoas, Brasil, 2010.
- [12] Da Ponte, José Júlio. “Cartilha da manipueira: uso do composto como insumo agrícola”. Banco do Nordeste do Brasil, 3 ed., pp 1-66, 2006.
- [13] SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas, “Como usar corretamente a Manipueira?”, 2014. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/>>. Acesso em: 8 de março de 2017.
- [14] Damasceno, S., Cereda, M. P. e Pastore, G. M., “Desenvolvimento de *Geotrichum fragrans* na manipueira.”, Energia na Agricultura, Botucatu, Brasil, v. 14, n. 2, pp 7-14, 1999.
- [15] Wosiacki, G. e Cereda, M. P., “Valorização dos resíduos do processamento da mandioca.” Ciências Exatas da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, v. 1, Cap. 1, pp 27-43, 2002.
- [16] Barana, A. C., “Avaliação do tratamento da manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica.”, 2000, 95f. Tese (Doutorado em Energias da Agricultura): Faculdade de Ciências Agrônomas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil, 2000.
- [17] Ferreira, Waldemar de A.; Botelho, Sônia Maria; Cardoso, Eloiza Maria R. e Poltronieri, Marli C., “Manipueira: um adubo orgânico potencial.”, EMBRAPA, Belém, Brasil, 1 ed, pp 10-15, 2002.
- [18] de Souza Diniz, Mauto; Farias, M. A. A.; Trindade, A. V. e da Silva Ledo, C. A. “Efeito da manipueira na adubação da mandioca.” Revista Raízes e Amidos Tropicais, pp 416-421, 2009.
- [19] Barana, A. C., “Despoluição da manipueira e uso em fertilização do solo.” In: I Simpósio Nacional sobre a Manipueira. Vitória da Conquista-Bahia, Brasil, 2008.
- [20] Alves, E. R. de A. e Vedovoto, G. L. “A indústria do amido de mandioca.” Embrapa, Brasília, Brasil, 2003.
- [21] Campos, A. T.; Daga, J. U.; Rodrigues, E. E. U.; Franzener, G. U.; Suguiy, M. M. e Sypperck, V. L. “Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização.”, 2006.
- [22] Magalhães, A. G. “Desenvolvimento e produção do milho e alterações químicas em diferentes solos com aplicação de manipueira.”, 2013, 102 f, Tese: (Pós-graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil, 2013.
- [23] Camili, Eloneida Aparecida. “Tratamento da manipueira por processo de flotação sem uso de agentes químicos.” 2007. 78 f. Tese: (Mestrado em Ciências Agrônomicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- [24] Botelho, Sônia Maria; Poltronieri, Marli Costa e Rodrigues, João Elias Lopes Fernandes. “Manipueira: um adubo orgânico para a agricultura familiar.” Revista Raízes e Amidos Tropicais, pp 1111-1116, 2009.
- [25] de Souza, Marcos Eduardo. “Fatores que influenciam a digestão anaeróbia.” Revista DAE, São Paulo, Brasil, pp 88-94, 1984.
- [26] Berni, Mauro Donizeti e Bajay, Sergio Valdir. “Geração de energia e a digestão anaeróbica no tratamento de efluentes: estudo-de-caso na indústria de papel”. In: 3. Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, São Paulo, Brasil, 2000.
- [27] Nogueira, N. A. H., “Biodigestão, a alternativa energética.”, Nobel, São Paulo, Brasil, pp 93, 1992.
- [28] Chemicharo, C. A. L., “Reatores anaeróbicos: princípios de tratamento biológico de águas residuárias”, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFGM), Belo Horizonte, Brasil, 246f, 1997.
- [29] Arrieta, J.; Cantera, E., “Recuperación biológica y reaprovechamiento de aguas de proceso”, El Papel, n. 79, pp.56-61, 1999.
- [30] Granato, Eder Fonzar. “Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça.” 124 f, 2003.
- [31] Santos, Armínio. “Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microregião sudoeste da Bahia-Brasil.” In: Problemas sociales y regionales em América Latina: estudio de casos. Barcelona: Universitat de Barcelona, pp 11-25, 2005.
- [32] Lamo, Paulo. “Sistema produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais”, METHAX/BIOPAQ – CODISTIL, Piracicaba, Brasil, 1991.
- [33] Coelho, S. T.; Velázquez, S. M. S. G.; Martins, O. S. e Abreu, F. C. D. “A conversão da fonte renovável biogás em energia.”, 2006, In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Brasil, 2006.
- [34] Granato, Eder Fonzar. “Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça.”, 124 f, 2003.
- [35] Barbosa, George e Langer, Marcelo. “Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental.” Unoesc e Ciência-ACSA, pp 87-96, 2011.
- [36] Costal, D. F. “Produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos.” Monografia apresentada à disciplina de conclusão de curso para obtenção da graduação em Engenharia Química da Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP), 2001.
- [37] Monte, M. M. D. “Contributo para o estudo da valorização energética de biogás em estações de tratamento de águas residuais”. Tese (Mestrado em Engenharia Sanitária) Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010.
- [38] Educogen - The European Association for the Promotion of Cogeneration, “A guide to cogeneration”, 2001.
- [39] Pecora, Vanessa. “Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP–Estudo de Caso.” São Paulo, 153 f, 2006.