

HENRIQUE WEDDERHOFF HERRMANN



**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA FERMENTAÇÃO
ANAERÓBICA DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MADEIREIRA
E DO BIODIESEL**

**MESTRADO EM
BIOENERGIA**

GUARAPUAVA-PR

2015

HENRIQUE WEDDERHOFF HERRMANN

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA FERMENTAÇÃO ANAERÓBICA DE
RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MADEIREIRA E DO BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em Biocombustíveis, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Paulo Rogério Pinto Rodrigues

Orientador

GUARAPUAVA-PR

2015

HENRIQUE WEDDERHOFF HERRMANN

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA FERMENTAÇÃO ANAERÓBICA DE
RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MADEIREIRA E DO BIODIESEL**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, área de concentração em biocombustíveis, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 02 de abril de 2015.

Prof. Dr. André Lazzarin Gallina – UFFS

Prof^ª. Dr^ª. Gilmara de Oliveira Machado – UNICENTRO

Prof. Dr. Paulo Rogério Pinto Rodrigues

Orientador

GUARAPUAVA-PR

2015

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

À Santíssima Trindade, por ver-me eu incapaz de epilogar tantas ações e bênçãos, agradeço tão somente por tudo.

À minha família, meu irmão Leonardo, minha irmã Cristina, mãe Rita e pai Percival pela paciência, compreensão, carinho, ajuda em todas as etapas da “*life*” e por confiarem mim.

À Gláucia, que me acompanhou em todos os momentos dessa caminhada, com muito carinho, apoio e paciência. Obrigado mesmo amor.

Ao Professor Dr. Paulo Rogério Pinto Rodrigues, pela orientação, pela amizade, e por ter nos incentivado e ensinado tantas coisas durante nossa convivência.

À Professora Dra. Cynthia Beatriz Fürstenberger pela colaboração e por ter disponibilizado o laboratório de microbiologia para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Professor Dr. André Lazarin Gallina por todas as contribuições.

Aos colegas Professor Dr. Everson, Flávia, Douglas Kais, Guilherme Maia, Flávio, Zinho, Japonês, Priscila e Marilei por ajudarem em muitas etapas desse trabalho.

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma com o desenvolvimento desse projeto (são realmente muitos). Valeu pessoal.

À NOVATEC/UNICENTRO pela disponibilidade do espaço físico para realização do trabalho.

À Indústria Ibema Papel Cartão por ceder o resíduo lignocelulósico utilizado no projeto.

À CAPES pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE EQUAÇÕES	iii
LISTA DE SIGLAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1. Energia e Meio Ambiente	4
3.2. Combustíveis Não Renováveis	8
3.2.1 Combustíveis fósseis no Brasil	9
3.2.2 Petróleo	10
3.2.3 Gás Natural	11
3.2.4 Carvão Mineral	12
3.3. Bioenergia e biocombustíveis	13
3.3.1 Experiência Brasileira em bioenergia e biocombustíveis	15
3.3.2 Etanol	16
3.3.3 Biogás	19
3.3.3.1 Metano CH _{4(g)}	20
3.3.3.2 Hidrogênio H _{2(g)}	20
3.3.4 Biodiesel	21
3.4. Resíduos Industriais com Aplicabilidade em Bioenergia	23
3.4.1 Glicerol coproduto do biodiesel	23
3.4.2 Resíduos Lignocelulósicos da Indústria de Papel e Celulose	26
3.5. Fermentação como Ferramenta Biotecnológica	29
3.6. <i>Escherichia coli</i>	30
3.6.1. Aplicações e Aspectos Bioquímicos	32
4. MATERIAIS E MÉTODOS	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6. CONCLUSÕES	37
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXOS	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mudança na temperatura média mundial até o ano de 2100 (IPCC, 2014).	5
Figura 2. Origem das emissões de gases do efeito estufa no mundo para o ano de 2011 (IEA, 2013).	6
Figura 3. Oferta de energia no mundo nos anos de 1971 e 2011 (IEA, 2013).	6
Figura 4. Oferta interna de energia (OIE) para o ano de 2014 (MME, 2014).	7
Figura 5. Abastecimento total de energia primária mundial por combustível para o ano de 2012 (IEA, 2014). *turfa e óleo de xisto foram contabilizados com carvão. **Incluem energia geotérmica, solar, eólica e térmica.	8
Figura 6. Emissão mundial de CO _{2(g)} por combustível no ano de 2012 (IEA, 2014).	9
Figura 7. Projeção da participação das fontes no consumo final de energia em 2022 (MME, 2013).	10
Figura 8. Empregos gerados no mundo por energias renováveis em 2013 (IRENA, 2014).	14
Figura 9. Evolução dos biocombustíveis no Brasil (ANP, 2013; 2014).	15
Figura 10. Emissões de etanol hidratado e emissões evitadas (GAZZONI, 2014).	18
Figura 11. Emissões de etanol anidro e emissões evitadas (GAZZONI, 2014).	18
Figura 12. Capacidade instalada de produção de biodiesel (MME, 2014).	22
Figura 13. Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel (ANP, 2014).	23
Figura 14. Vias metabólicas de microrganismos anaeróbicos para assimilação de glicerol e seus possíveis produtos (Adaptado de RIVALDI et al., 2008; SILVA; MACK; CONTIERO, 2008; LÓPEZ et al., 2009; CHATZIFRAGKOU; PAPANIKOLAOU, 2012; ALBUQUERQUE, 2014).	25
Figura 15. Produção brasileira de papel em 2013, janeiro e fevereiro de 2014.	27
Figura 16. Produção brasileira de celulose em 2013, janeiro e fevereiro de 2014.	27
Figura 17. Microscopia eletrônica de transmissão (MET) de divisão celular de <i>E. coli</i> (WILLEY; SHERWOOD; WOOLVERTON, 2008).	31
Figura 18. Fases da digestão anaeróbica de compostos dos complexos orgânicos por atividade de bactéria (DRAPCHO et. al., 2008).	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Algumas propriedades do etanol (API, 1998).....	17
Tabela 2. Propriedades físicas do CH _{4(g)} (PECORA, 2008).....	20
Tabela 3. Propriedades do H _{2(g)} (ATKINS; JONES, 2007).	21
Tabela 4. Composição do glicerol proveniente de diferentes matérias primas.....	24
Tabela 5. Genes envolvidos em várias funções da <i>E. coli</i>	32

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Cálculo para determinação de UFC.....	36
Equação 2. Cálculo de viabilidade bacteriana.....	44
Equação 3. Cálculo do número total de células vivas/mL.....	44
Equação 4. Cálculo da velocidade específica de crescimento (μ_x).....	44
Equação 5. Cálculo da velocidade máxima de crescimento ($\mu_{\text{máx}}$).....	44
Equação 6. Cálculo da velocidade específica de consumo de substrato (μ_s).....	45
Equação 7. Cálculo da velocidade específica de formação do produto ($\mu_{\text{máx}}$).....	45
Equação 8. Cálculo da previsão de formação de $\text{CH}_{4(g)}$ para as condições de estudo.....	59
Equação 9. Cálculo da previsão de formação de $\text{H}_{2(g)}$ para as condições de estudo.....	62

LISTA DE SIGLAS

1,2 PDO - 1,2-propanodiol
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADH - Acetaldeído / Álcool Desidrogenase
ADL – Valores Abaixo do Limite de Detecção
ADP - Difosfato de Adenosina
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP - Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM - American Society for Testing and Materials
ATCC - American Type Culture Collection
ATP - Adenosina Trifosfato
BEN - Balanço Energético Nacional
BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel
CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento.
CNUMC - Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.
CRC - Caminhos Representativos de Concentração
DAHQ - Dihidroxiacetona Quinase
DNA - Ácido Desoxirribonucleico
EDS - Energia Dispersiva
EIA - Grupo Internacional Independente de Estatística e Análise
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
FHL - Formato de Hidrogênio Liase
gliDH - Glicerol Desidrogenase
IEA - International Energy Agency
IPC – Indústrias de papel e celulose
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
IR - Espectroscopia na Região do Infravermelho
LAG - Fase de adaptação
LOG – Fase exponencial
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MET – Micrografia Eletrônica de Transmissão
MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura
MME - Ministério de Minas e Energia
NAD(P)H - Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato Hidreto
NAD+ - Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo
NADH - Forma reduzida de Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo
NBR - Norma Brasileira (aprovada pela ABNT)
OIE – Oferta Interna de Energia
ONU - Organização das Nações Unidas
PCI - Poder Calorífico Inferior
PCS - Poder Calorífico Superior
PCU - Poder Calorífico Útil
PHL - Piruvato Formato Liase
PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
UFC - Unidades Formadoras de Colônia
WEC - World Energy Council

RESUMO

HERRMANN, Henrique Wedderhoff. **Produção de biogás a partir da fermentação anaeróbica de resíduos da indústria madeireira e do biodiesel**. 2015. Dissertação. Mestrado em Bioenergia – Universidade Estadual do Centro Oeste, UNICENTRO. Guarapuava -PR. 2015.

O principal coproduto da geração do biodiesel é a glicerina bruta, a qual contém impurezas que inviabilizam seu uso comercial direto, o que gera problemas econômicos e ambientais. Esta glicerina pode ser transformada biologicamente por microorganismos a partir da fermentação anaeróbica, em que liberam como resultado de seu metabolismo gases como o hidrogênio $H_{2(g)}$ e o metano $CH_{4(g)}$, principal composto do biogás. As indústrias de papel e celulose (IPC) produzem uma série de resíduos após o processamento químico, físico ou mecânico da madeira, os quais apresentam diversos açúcares, e, assim como a glicerina bruta, podem ser assimilados por microorganismos em fermentação, gerando produtos semelhantes e de alto valor agregado. O objetivo deste trabalho é produzir biogás para uso energético, a partir da fermentação anaeróbica da glicerina bruta e de resíduos de biomassa das IPC pela bactéria *Escherichia coli*. Verificou-se a viabilidade do microorganismo pela técnica de plaqueamento e diluição em série, e o número total de células por mL foi estimado por contagem em câmara de Neubauer. Para caracterização do glicerol realizaram-se análises físico-químicas, como pH, condutividade e densidade. O resíduo de IPC foi caracterizado por composição elementar, Espectroscopia na Região do Infravermelho (IR), Microscopia eletrônica de Varredura (MEV), teor de umidade, análise imediata e poder calorífico. Foram realizadas análises estatísticas dos resultados e analisados os aspectos cinéticos do processo fermentativo. Para a fermentação anaeróbica prepararam-se amostras a partir de um planejamento experimental multivariado 2^2 com ponto central para cada meio estudado. Após 72 h de fermentação, registrou-se por um detector de gases a produção de $CH_{4(g)}$ e $H_{2(g)}$. As melhores condições para produção de $CH_{4(g)}$ foram nas amostras com 5 mL de *E. coli* e 30% de resíduos da IPC, e para o $H_{2(g)}$, 10 mL de bactéria e 100% de resíduos lignocelulósicos. Foi possível produzir biogás a partir da fermentação anaeróbica da glicerina bruta e de resíduos da IPC pela *E. coli*, caracterizando-se como alternativa energética de aproveitamento desses subprodutos.

Palavras-Chave: Biocombustíveis, *Escherichia coli*, biomassa, metano, hidrogênio.

ABSTRACT

HERRMANN, Henrique Wedderhoff. **Biogas production from the anaerobic fermentation of timber industry and biodiesel waste.** 2015. Dissertação. Mestrado em Bioenergia – Universidade Estadual do Centro Oeste, UNICENTRO. Guarapuava - PR. 2015.

The main byproduct from biodiesel generation is crude glycerin, which contains impurities that preclude the direct commercial use, bringing economic and environmental problems. This glycerin can be biologically transformed by microorganisms through anaerobic fermentation, wherein they release as a result of their metabolism gases such as hydrogen $H_{2(g)}$ and methane $CH_{4(g)}$, the principal biogas component. The paper and pulp industries (PPI) produce a large number of waste after the chemical, physical or mechanical wood processing, which present a several kind of sugars, and, as well as the crude glycerin, it can be assimilated by microorganisms during the fermentation, generating similar products with a high value added. The objective of this research is the production of biogas from crude glycerin and waste of PPI biomass anaerobic fermentation by *Escherichia coli* for energetical use. The microorganism viability was verified by plating and serial dilution technique and the total number of cells per ml was estimated by counting in a Neubauer chamber. Physical and chemical analysis were made for the glycerol characterization, such as pH, conductivity and density. The PPI residue was characterized by elemental composition, Spectroscopy in Infrared Region (IR), Scanning Electron Microscopy (SEM), moisture content, instant analysis and calorific value. Statistical analyses of the results were performed also as the analysis of kinetic aspects of the fermentation process. For the anaerobic fermentation samples were prepared from a multivariate 2^2 experimental design with a central point for each studied medium. After 72 h of fermentation, the $CH_{4(g)}$ and $H_{2(g)}$ production was registered by a gases detector. The best conditions for $CH_{4(g)}$ production were in samples with 5 mL of *E. coli* and 30% of PPI waste, and for $H_{2(g)}$ they were 10 mL of bacteria e 100% of cellulosic waste. It was possible to produce biogas from crude glycerin and PPI waste anaerobic fermentation by *E. coli*, characterizing it as an energetical way to utilize these byproducts.

Key Words: Biofuels, *Escherichia coli*, biomass, methane, hydrogen.

1. INTRODUÇÃO

Uma alternativa que busca mudanças relacionadas à conservação ambiental são os biocombustíveis, que aproveitam os recursos já existentes, produzindo novas tecnologias mais seguras e confiáveis para proteger o meio ambiente (FARIAS; SELMITTO, 2011; MATHIS, 2009). Biocombustíveis são derivados de biomassa, recursos naturais disponíveis no globo terrestre, que contém energia química acumulada (BNDES, 2008; MOTA; MONTEIRO, 2013). Esses biocombustíveis podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia, visto que esses são recursos finitos, além de que emitem quantidades altas de poluentes, sendo na maioria deles, gases que provocam o efeito de estufa (BORSATO et al., 2009; SCHIRMER; GAUER, 2012).

No ano de 2005, o governo brasileiro estabeleceu a lei 11097/2005, com o objetivo de estimular a produção e o consumo de biodiesel, onde se exigiu a adição de percentagem de biodiesel ao diesel derivado de petróleo. Atualmente, são adicionados 7% de biodiesel no diesel, e com isso, esse biocombustível ocupa posição de grande destaque, ficando atrás apenas do etanol em questão de produção e consumo no Brasil, e é considerado o real substituto ao diesel “interior” (RIVALDI et al., 2008; ANP, 2014).

O biodiesel é constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, geralmente metanol ou etanol. Na produção do biodiesel, primeiramente se faz a preparação da matéria-prima. Em seguida, a reação de transesterificação, e posteriormente a separação das fases (Biodiesel + Glicerina). Por final, ocorre o processo de purificação do biodiesel. A cada 100 litros de biodiesel produzido, gera-se como coproduto cerca de 10 kg de glicerina bruta (YAZDANI; GONZALEZ, 2007; MOTA; MONTEIRO, 2013).

O glicerol é um coproduto que detém interesse acerca de ser aplicado na sua forma direta, sem tratamento, de modo que a cadeia de produção do biodiesel se torne economicamente sustentável, além de proteger o meio ambiente contra o acúmulo desse resíduo. Devido ao aumento da produção do biodiesel, existe atualmente um excedente cerca de 10 vezes maior que a demanda tradicional desse coproduto. O glicerol na sua forma pura pode ser aplicado em diversas áreas industriais, porém o glicerol residual gerado na produção do biodiesel apresenta impurezas como água, resíduo do catalisador, álcool não reagido, e ácidos graxos, entre outros compostos, e por esse motivo é interessante que o glicerol seja

utilizado diretamente, sem custos de purificação. Os bioprocessos e transformações químicas se caracterizam como rotas viáveis de aproveitamento do glicerol como fonte de matéria prima, podendo ser convertido em produtos de maior valor comercial (MOTA; GONÇALVES; SILVA, 2009; GALLINA, A. L. et al., 2014 a).

Do mesmo modo que na cadeia de produção de biodiesel, outras indústrias apresentam empecilhos quanto à destinação de resíduos, como as de Papel e Celulose. Em 2011, o Brasil foi o 4º maior produtor mundial de celulose e o 9º maior produtor mundial de papel, com produções de 13.290 milhões de toneladas de celulose e 10.159 milhões de toneladas de papel. A crescente produção das indústrias de papel e celulose (IPC), e a busca por produtos de melhor qualidade, levam esse setor a gerar grandes quantidades de resíduos que se tornam problemas tanto ambientais, quanto econômicos para a sociedade. Diante desse quadro, alternativas de aproveitamento desses recursos vêm sendo estudadas na tentativa de minimizar o impacto causado por seu acúmulo. Como as holoceluloses fazem parte da composição desses resíduos, a conversão microbiológica em produtos de maior valor agregado pode ser um destino conveniente (PINHEIRO et al., 2008; BRACELPA, 2013).

A glicerina bruta oriunda das indústrias de biodiesel, assim como os resíduos das IPC são consideradas fontes de diversos açúcares sendo, portanto, assimiláveis por leveduras e bactérias sob condições anaeróbicas ou aeróbicas (MOAT; FOSTER; SPECTOR, 2002; SWINNEN et al., 2013).

A bactéria *Escherichia coli* (T. Escherich, 1885) é capaz de converter no processo de fermentação a glicerina bruta, assim como resíduos lignocelulósicos, e por meio de seu metabolismo sintetizar diversos produtos, como álcoois e gases, entre eles hidrogênio ($H_{2(g)}$) e metano ($CH_{4(g)}$), principal composto do biogás (PANDEY; SOUPIR, 2011).

Materiais orgânicos em geral, podem ser utilizados no processo de digestão anaeróbica para produção de biogás, desde que contenham quantidades suficientes de carboidratos, proteínas, gorduras e celulose. O biogás produzido por conversão microbiológica é formado por aproximadamente 55 a 70% de $CH_{4(g)}$, 30 a 45% de dióxido de carbono ($CO_{2(g)}$) e traços de gás sulfídrico ($H_2S_{(g)}$), amônia ($NH_{3(g)}$), $H_{2(g)}$ e nitrogênio ($N_{2(g)}$). O $CH_{4(g)}$ representa o elevado poder calorífico do biogás, aproximadamente 22.400 kJ/m³, sendo este o componente de maior interesse energético do biogás, apresentando alto valor agregado, assim como o $H_{2(g)}$ (MINHO et al., 2012; DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

A finalidade deste projeto é obter biogás para fins energéticos, a partir da fermentação em ambiente anaeróbico pela bactéria *Escherichia coli*, utilizando-se como substrato a glicerina bruta e resíduos lignocelulósicos.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Produzir biogás a partir da fermentação anaeróbica do glicerol e de resíduos da indústria madeireira pela bactéria *Escherichia coli*.

Objetivos específicos:

1. Verificar a eficiência da bactéria *E.coli* na conversão microbiológica do glicerol;
2. Definir os parâmetros em que a bactéria *Escherichia coli* é mais eficiente na conversão microbiológica do glicerol;
3. Avaliar a viabilidade dos resíduos da indústria madeireira como substrato para a produção de biogás.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Energia e Meio Ambiente

As necessidades energéticas do homem, desde o princípio da humanidade, apresentam-se em constante desenvolvimento. A sociedade, em um primeiro momento, recorria a vários meios para obter fontes de energia, como o fogo e o próprio emprego da força animal para resolver algumas situações de seu cotidiano. No decorrer dos séculos, essas formas de energia não conseguiam mais suprir as necessidades domésticas e de produção, e então, desencadearam-se investigações por fontes de energia, assim como novas técnicas para utilizá-las (FARIAS; SELLITTO, 2011).

Essa procura e utilização de energia em grande escala culminaram na primeira revolução industrial, em que, com o desenvolvimento da máquina a vapor, passou-se a explorar e utilizar combustíveis fósseis como o carvão mineral. A partir de meados do século XIX, outros materiais de origem fóssil, como o petróleo e o gás natural, adentraram também a matriz energética mundial (ANEEL, 2008).

No decorrer do século XX, a larga oferta de energia, oriunda principalmente dos combustíveis fósseis como carvão mineral e petróleo, alavancou o crescimento assim como as transformações da economia mundial. Porém, o cenário atual aponta uma realidade urgente, a necessidade de uma mudança na matriz energética mundial e do desenvolvimento sustentável (CUSHION; WHITEMAN; DIETERLE, 2010).

O aquecimento global, promovido pela elevada emissão de gases causadores do efeito estufa, como o $\text{CO}_{2(g)}$ gerado em sua maioria pela combustão de recursos fósseis, ocasiona efeitos ambientais irremediáveis, como mudanças climáticas drásticas, processos de desertificação, derretimento de calotas polares, catástrofes naturais, entre outros (MATOS, 2012).

A Figura 1 apresenta a alteração esperada para temperatura média do planeta até o ano de 2100 se as ações socioambientais atuais persistirem.

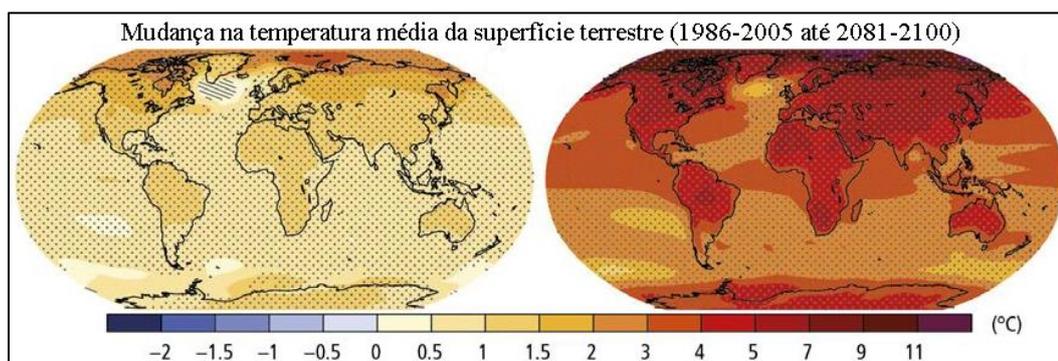


Figura 1. Mudança na temperatura média mundial até o ano de 2100 (IPCC, 2014).

As estimativas das mudanças exibidas na Figura 1 são baseadas em Caminhos Representativos de Concentração (CRC), que utilizam quatro vias emissoras de gases-estufa no século XXI, assim como as concentrações atmosféricas e o uso da terra. Essas alterações impactarão principalmente na frequência e não uniformidade na distribuição das precipitações, resultando em danos generalizados ao ambiente e à sociedade (IPCC, 2014).

Os primeiros esforços mundiais no contexto ambiental foram iniciados na Conferência sobre o Meio Ambiente em Estocolmo na Suécia, no ano de 1972 pela Organização das Nações Unidas (ONU), com o objetivo de conscientizar e redirecionar as relações socioambientais para atender as necessidades coletivas gerais sem agredir a natureza e comprometer as gerações futuras (VIEIRA, 2012).

Desde então, questões ambientais que apontam para o desenvolvimento sustentável vêm sendo tratadas em protocolos, declarações, legislações nacionais e convenções. Destacam-se entre esses a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD) em 1992 no Rio de Janeiro, o Protocolo de Quioto em 1997, o Acordo de Copenhague em 2009 na Dinamarca, e mais recentemente a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CNUMC) no mês de dezembro de 2014, em Lima no Peru (NEVES; DALAQUA, 2012).

Todas essas atitudes se concentravam no esforço mundial de redução de emissões de $\text{CO}_2(\text{g})$, sendo que a última citada obrigará países a cortar emissões de gases-estufa a partir de 2020, com redução entre 40% e 70% até 2050, baseado nos níveis apresentados em 2010, além da meta de zerar os gases emitidos até 2100, e no máximo na mesma data depender apenas de recursos renováveis para geração de energia (UNFCCC, 2014).

Na Figura 2, estão representadas as origens dos gases que promovem o efeito estufa no mundo para o ano de 2011.

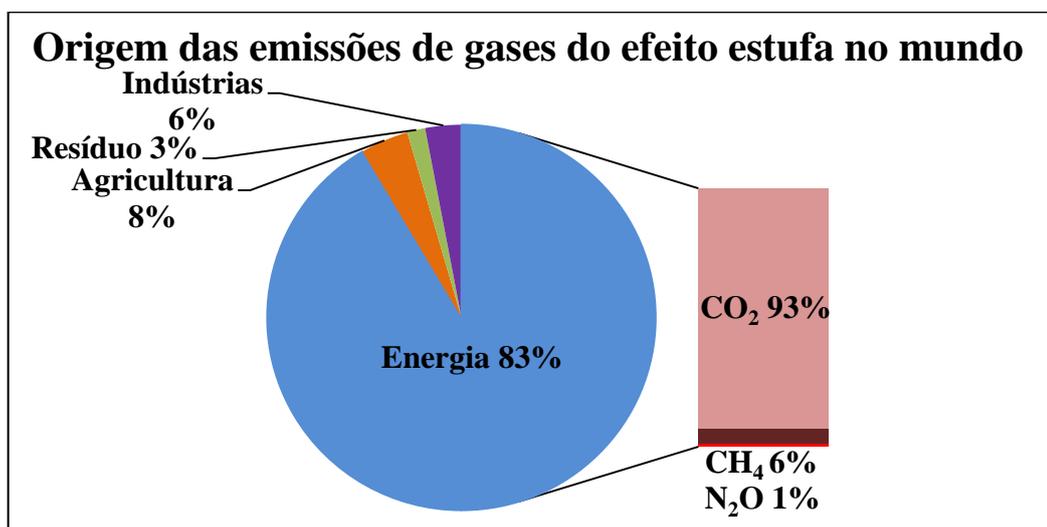


Figura 2. Origem das emissões de gases do efeito estufa no mundo para o ano de 2011 (IEA, 2013).

Dentre as origens antropogênicas de emissão de CO_{2(g)}, processos de produção ou consumo de energia têm sua representatividade consideravelmente maior comparada à agricultura, resíduos e processos industriais não relacionados à energia. Esses três, porém, correspondem à totalidade de produção de CH_{4(g)} e óxido nítrico (N₂O_(g)) (IEA, 2013).

Em sua maioria, esses processos que envolvem a produção e consumo de energia tem como matéria prima recursos fósseis, como pode ser observado na Figura 3, em um comparativo da oferta de energia no mundo nos anos de 1971 e 2011 (IEA, 2013).

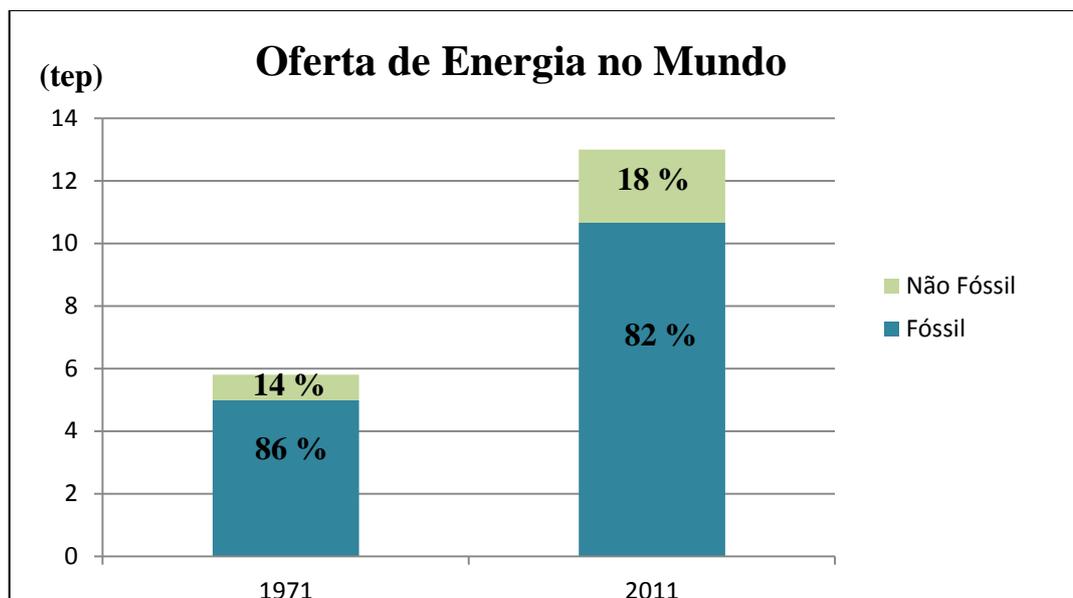


Figura 3. Oferta de energia no mundo nos anos de 1971 e 2011 (IEA, 2013).

A partir da comparação feita na Figura 3, observa-se um acentuado aumento no consumo energético mundial, estimulado por um novo ciclo de crescimento econômico, de forma singular nos países emergentes, onde o consumo mais que dobrou entre os anos de 1971 e 2011 (IEA, 2013).

Em razão de suprir a crescente demanda e produção, várias formas de energia são hoje desenvolvidas e aproveitadas (ANEEL, 2008). Atualmente, a oferta interna de energia (OIE) no Brasil cresceu 3,5% em 2014, apresentando grande diversidade, como pode se observar na Figura 4.

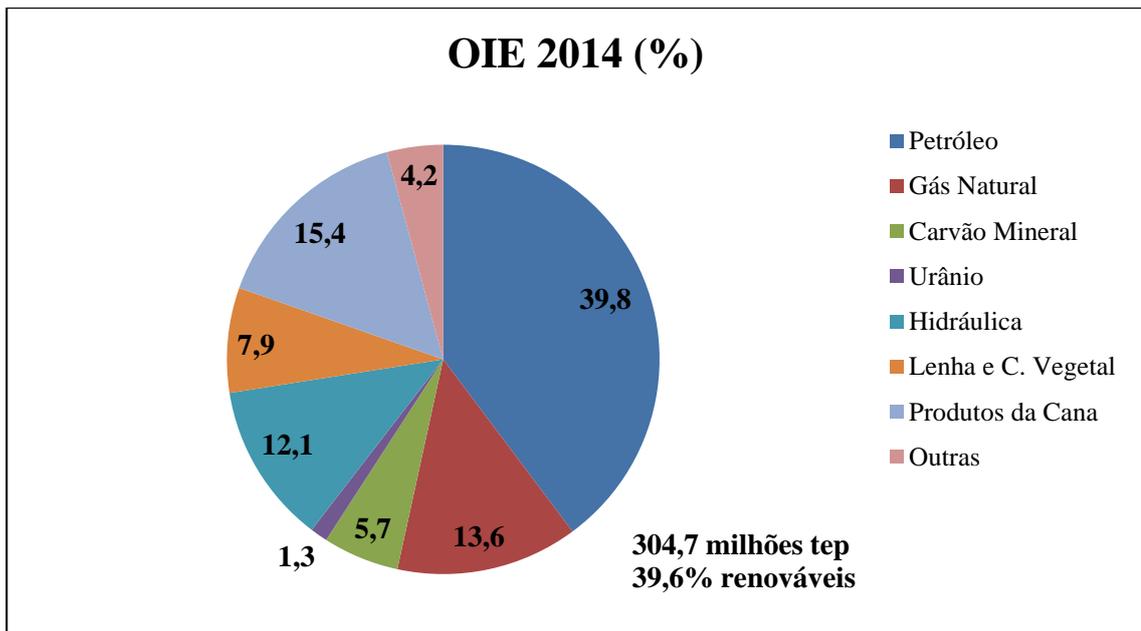


Figura 4. Oferta interna de energia (OIE) para o ano de 2014 (MME, 2014).

A energia necessária para movimentar a economia do Brasil elevou-se devido à crescente participação do consumo de energia em transportes e das atividades industriais, assim como o consumo domiciliar, até mesmo pelo fato da renda per capita ter aumentado (MME, 2014).

Observa-se a partir da Figura 4 que o Brasil detém papel de destaque no cenário mundial de energia, pois possui alta participação de recursos renováveis (39,6%), uma das mais elevadas entre os países do mundo, maior inclusive que a média mundial apresentada no ano de 2012 (12,4%) (MME, 2014; EPE, 2013).

Devido às condições hídricas adversas nos últimos anos, a disponibilidade de biomassa e energia proveniente das hidrelétricas sofreu redução, permitindo maior participação de fontes não renováveis como gás natural e petróleo. Principalmente com a

ampliação do uso de termelétricas, o consumo de renováveis foi reduzido na matriz energética brasileira de 2012 até 2014, de 42,4% a 39,6%, ou seja, 2,8% (EPE, 2014).

Como se sabe, o consumo e a disponibilidade energética devem acompanhar o crescimento econômico atual, porém, as fontes convencionais de energia, oriundas dos combustíveis fósseis, necessitam de ser substituídas por recursos menos danosos ao meio ambiente (GOLDEMBERG; LUCON, 2010; MATOS, 2012).

Os tópicos seguintes abordarão sobre os combustíveis fósseis, assim como as perspectivas mundiais e nacionais em torno destes.

3.2. Combustíveis Não Renováveis

Os combustíveis fósseis são hidrocarbonetos, recursos energéticos não renováveis, oriundos de processos naturais de decomposição da matéria orgânica ao longo de milhões de anos. Representados principalmente por petróleo, carvão mineral e gás natural, esses combustíveis atingem hoje aproximadamente 81,7% de toda a energia consumida no mundo, como está representado na Figura 5 a respeito do abastecimento total de energia primária mundial por combustível para o ano de 2012 (THOMAS, 2004; IEA, 2014).

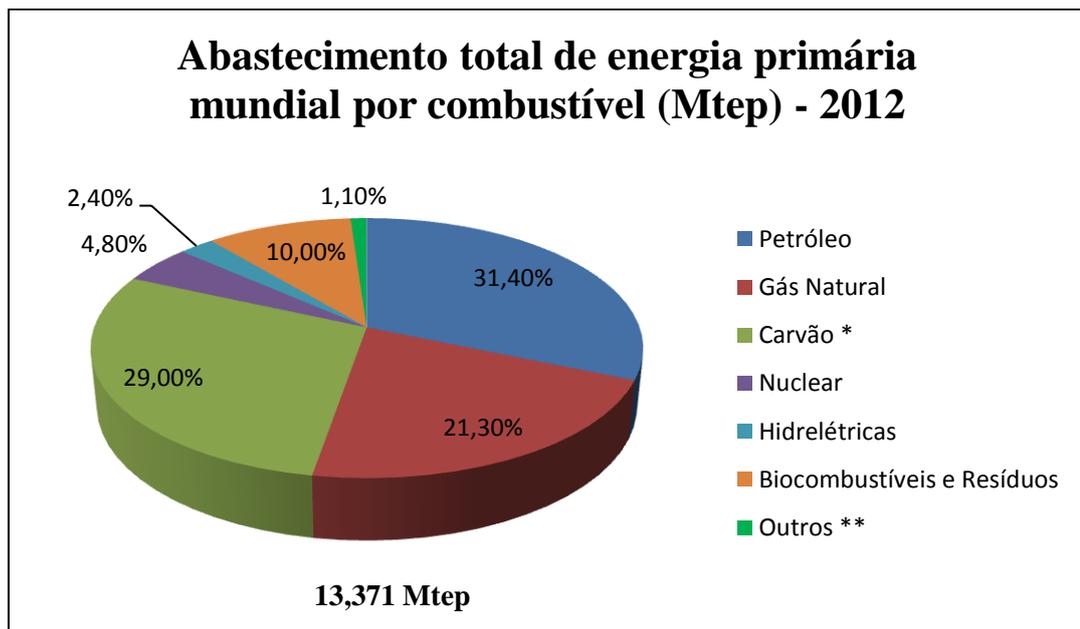


Figura 5. Abastecimento total de energia primária mundial por combustível para o ano de 2012 (IEA, 2014). *turfa e óleo de xisto foram contabilizados com carvão. **Incluem energia geotérmica, solar, eólica e térmica.

Esses combustíveis tornaram-se convencionais na matriz energética mundial em razão

de vários processos históricos e geopolíticos-econômicos, assim como a facilidade de armazenamento, transporte, mas principalmente pela eficiência apresentada quando aplicados na geração de energia. Porém, a dependência desses recursos motiva várias preocupações, como o fato de serem finitos, de elevada oscilação econômica e altamente poluentes. São assim considerados, pois possuem significativa concentração de carbono em sua composição, e em processos de combustão, a geração de gases como $\text{CO}_{2(g)}$ é muito maior que a de combustíveis renováveis, que possuem menos carbono em sua constituição (GOLDEMBERG; LUCON, 2010).

Na Figura 6 está representada a emissão mundial de $\text{CO}_{2(g)}$ por combustível no ano de 2012.

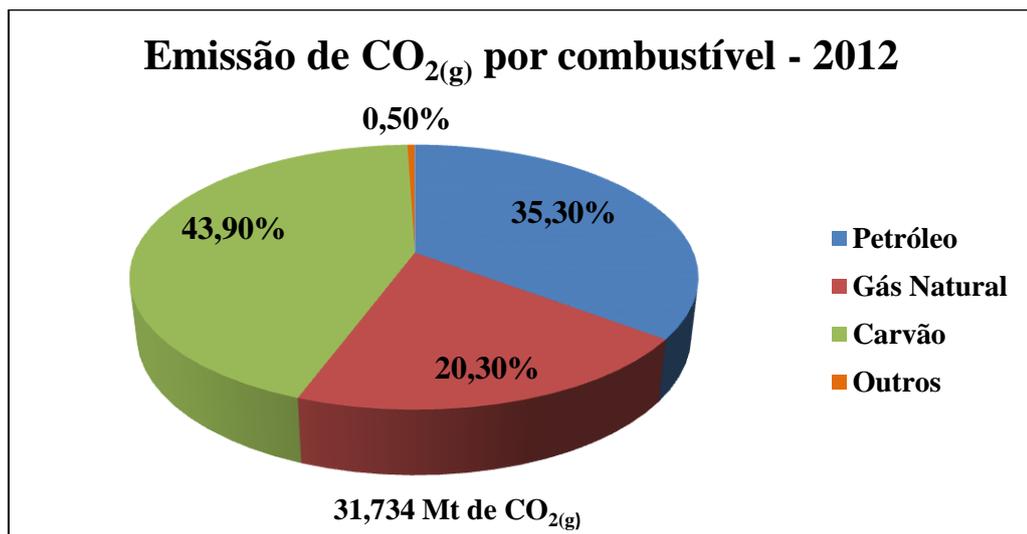


Figura 6. Emissão mundial de $\text{CO}_{2(g)}$ por combustível no ano de 2012 (IEA, 2014).

Pode se observar na Figura 6 a elevada emissão mundial de $\text{CO}_{2(g)}$ atingida no ano de 2012, que foi de 31,734 milhões de toneladas. Esse número foi mais que o dobro, por exemplo, do que a geração estimada no ano de 1973, com 15,633 milhões de toneladas emitidas. Percebe-se também que a participação dos combustíveis fósseis na produção de $\text{CO}_{2(g)}$ é elevada, e gera um quadro de insustentabilidade quanto a preservação do meio ambiente (IEA,2014).

3.2.1 Combustíveis fósseis no Brasil

A produção e a demanda nacional dos combustíveis fósseis sofreram várias alterações ao decorrer dos anos, porém sempre mantém nível elevado, como pode ser observado na

Figura 7, com a projeção da participação das fontes no consumo final de energia em 2022 (MME, 2013).

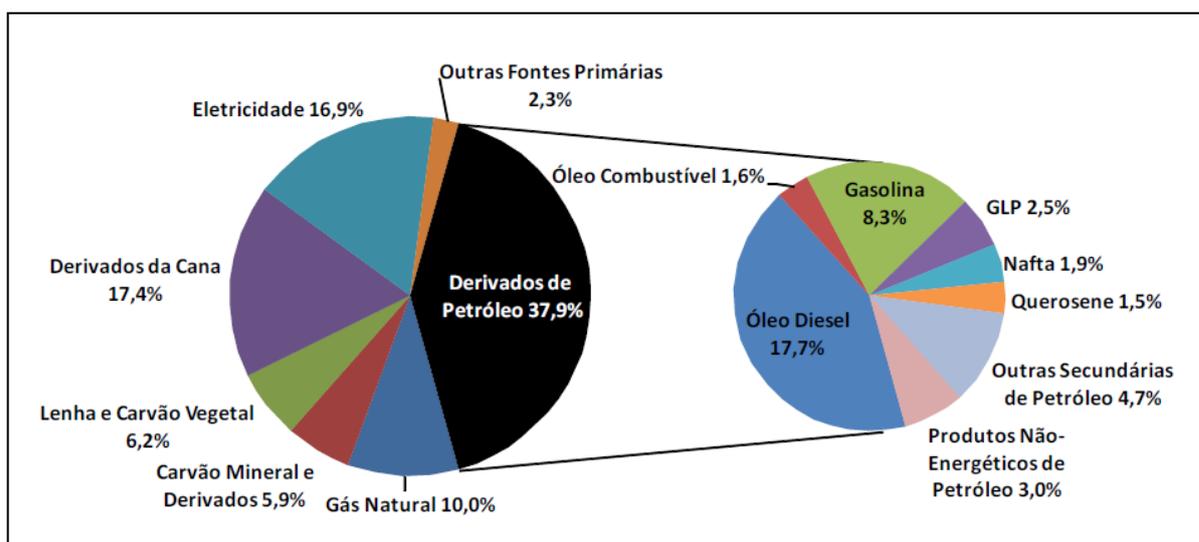


Figura 7. Projeção da participação das fontes no consumo final de energia em 2022 (MME, 2013).

De acordo com os dados da Figura 7, estima-se que os combustíveis fósseis representarão 53,8% de participação no consumo final de energia no país em 2022, redução de 5,3% de participação na oferta interna de energia atual, que é de 59,1% (MME, 2013).

Embora haja redução, a permanência do alto emprego desses combustíveis é prejudicial por vários princípios. Entre eles, fatores ambientais, em que as cadeias produtivas dos combustíveis fósseis são excessivamente danosas ao meio ambiente, emitindo gases formadores da chuva ácida e potencializadores do efeito estufa. A realidade de que as reservas desses combustíveis podem esgotar-se também é preocupante. Além disso, deve-se considerar o fato de o preço destes ser sempre oscilante, principalmente do petróleo, devido a situações geopolíticas delicadas que vão além da habitual oferta e da demanda dos produtos, na qual então sua dependência torna-se desfavorável (FARIAS; SELLITTO, 2011).

Nas seguintes subdivisões serão discriminados os principais combustíveis fósseis, petróleo, gás natural e carvão mineral.

3.2.2 Petróleo

O petróleo é composto basicamente por complexos de hidrocarbonetos, geralmente encontra-se em estado líquido na natureza, apresenta aspecto oleoso com densidade menor que a água, odor característico, e sua coloração varia entre o negro e o castanho escuro. Pode

também apresentar em sua constituição enxofre, nitrogênio, oxigênio ácidos naftênicos, alcanos, alcenos, cicloalcanos baixas concentrações vanádio, níquel, sódio, cálcio, cobre e urânio (THOMAS, 2004; BORSATO, 2009).

Ainda que conhecido e utilizado a aproximadamente cinco mil anos atrás com finalidades rituais, medicinais e bélicas, principalmente na forma de betume, seu uso como combustível é recente. Iniciou-se nos Estados Unidos como sucessor do óleo de baleia utilizado na iluminação e do próprio carvão mineral para produção do vapor em máquinas. O aumento notável de seu emprego aconteceu em torno de 1930, com a elaboração do motor de combustão interna, primeiro passo para a segunda revolução industrial, consolidando-se definitivamente como principal fonte de energia a partir dos anos 60 (MORAIS, 2013).

Quanto às reservas mundiais provadas de petróleo, o total alcançado no ano de 2013 foi de 1.687.000 bilhões de barris. O Oriente Médio apresenta as maiores reservas de petróleo no mundo (47,9%), e a América Latina, ao lado da América Central, ocupa a segunda posição (19,5%), na qual o Brasil é considerado (WEC, 2014).

Houve um aumento no consumo mundial de 1,4 bilhões de barris por dia em 2013, cerca de 1,4% a mais em relação aos anos anteriores. Já a produção de petróleo não acompanhou esse crescimento, com aumento de apenas 550 mil barris por dia, ou seja, 0,6% em relação aos anos precedentes (BP, 2014).

As reservas provadas de petróleo brasileiras somaram no ano de 2013 aproximadamente 15,590 bilhões de barris, um aumento de 1,82% em relação ao ano de 2012. Esse incremento de produção comparado aos últimos dez anos se deve em sua maior parte à exploração dos campos de pré-sal, e hoje o Brasil apresenta segunda maior reserva de petróleo da América Latina, atrás apenas da Venezuela, e ultrapassou a marca de produção de 500 mil boe/dia em 2014 (ANP, 2014).

3.2.3 Gás Natural

O gás natural é uma combinação de hidrocarbonetos em estado gasoso. No seu estado bruto, apresenta em sua composição de 45 a 95% de $\text{CH}_{4(g)}$, além de proporções variadas de etano, propano, butano, assim como $\text{CO}_{2(g)}$, $\text{N}_{2(g)}$, $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$, metanol e outras impurezas (GASNET, 2014).

Devido à sua densidade ser menor do que a do ar apresenta mais segurança que outros recursos fósseis em questão de vazamento, e seu transporte torna-se facilitado e menos dispendioso. Ao mesmo tempo, apresenta menores índices de emissão de poluentes

comparado à outros combustíveis (GUO; GHALAMBOR, 2012).

Considerado um empecilho quando encontrado, principalmente com o petróleo no começo de sua exploração, o gás natural passou a ser também uma fonte de energia com ampla utilização em vários continentes, com crescimento exponencial no período pós-guerra, representa atualmente cerca de 20% da energia utilizada no mundo (ANEEL, 2008; IEA, 2014).

As reservas provadas de gás natural no mundo apresentaram em 2013 o total de 1,85 trilhões de m³. De acordo com os dados do Conselho Mundial de Energia - WEC (2014), a maior reserva de gás natural do mundo pertence ao Oriente Médio, seguido pela Europa e Eurásia, com destaque para a participação da Rússia.

O consumo mundial de gás natural cresceu 1,4% em 2013 e a produção 1,1%, ambos os crescimentos abaixo da média dos últimos 10 anos, que foram de 2,6 e 2,5% respectivamente (BP, 2014).

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2014), a produção brasileira aumentou 9,1% em comparação a apresentada no ano de 2012, e atualmente o Brasil possui cerca de 0,45 trilhões de m³ em reserva provada de gás natural.

3.2.4 Carvão Mineral

O carvão mineral é um combustível sólido de origem fóssil, possui cor preta, sendo composto em sua maioria de carbono, oxigênio, hidrogênio e algumas impurezas como enxofre e cinzas. Encontra-se distribuído por toda a extensão terrestre, e pode ser encontrado nas formas de turfa, sapropelito, linhito, carvão sub-betuminoso, carvão betuminoso e antracito, sendo que pode ser aproveitado para energia a partir do estado de linhito (ANEEL, 2008).

Foi o primeiro combustível fóssil a ser utilizado em larga escala, o que culminou na Primeira Revolução Industrial no século XVIII, mas a partir do século XIX foi perdendo espaço na matriz energética mundial para o petróleo e gás natural, particularmente pelo uso de motores a explosão. Devido à crise petrolífera da década de 70, o carvão mineral voltou a ser explorado e consumido demasiadamente até os dias de hoje, sendo responsável por 29% da matriz energética mundial no ano de 2012 (ANEEL, 2008; IEA, 2014).

De acordo com a Agência Internacional de Energia IEA (2014) o carvão é o recurso mais utilizado no mundo para geração de energia elétrica, sendo essencialmente aproveitado

em termelétricas, alcançou cerca 40,4% das fontes utilizadas no ano de 2012, ultrapassando as hidrelétricas e até mesmo as usinas nucleares.

As maiores reservas mundiais de carvão mineral pertencem à região da Europa e Eurásia (34,8%), com destaque para a participação da Rússia, sendo que o território Ásia – Pacífico e a América do Norte também apresentam elevada provisão desse combustível, com 32,3 e 27,5% da reserva mundial de 891,531 milhões de toneladas de carvão. As reservas provadas de carvão mineral no Brasil alcançaram 6.640 milhões de toneladas em 2013 (WEC, 2014; ANP, 2014).

O carvão mineral se apresenta como o combustível fóssil de maior crescimento em consumo no mundo, com um aumento de 3% em 2013 em relação aos anos anteriores. Acredita-se que seu aproveitamento poderá aumentar nos próximos anos, pois suas reservas tem vida útil estimada de aproximadamente 200 anos. Por outro lado, sua oferta cresceu apenas 0,8%, menor resultado desde o ano de 2002 (BP, 2014).

Como possíveis alternativas à utilização dos combustíveis fósseis, os campos da bioenergia vêm sendo explorados, representados principalmente pelos biocombustíveis. Esses elementos serão abordados nos próximos tópicos.

3.3. Bioenergia e biocombustíveis

Nesse contexto, a bioenergia e seus derivados surgem como promissoras fontes substitutas de energia. A energia solar quando entra no globo terrestre, se armazena de forma química nas plantas e nos animais. Esses recursos naturais podem ser entendidos como biomassa. A bioenergia é então a energia obtida pela transformação química desta biomassa existente em nosso planeta. Como esses recursos apresentam energia química acumulada, podem ser processados para fornecer formas bioenergéticas mais elaboradas e adequadas para certa finalidade, como por exemplo, um biocombustível (BNDES, 2008).

A bioenergia, por basear-se na biomassa, é então uma forma renovável de energia, e quando utilizadas como biocombustível liberam relativamente baixas quantidades de poluentes quando comparado aos combustíveis fósseis, pelo fato de possuírem menos carbono em sua constituição (UN, 2007).

Os biocombustíveis podem ser considerados como elementos capazes de gerar energia, provenientes em sua maior parte da biomassa. Com isso, tem a capacidade de substituir os combustíveis fósseis eficientemente. Além disso, quando os biocombustíveis são oriundos de fonte vegetal, ocorre à captação de CO_{2(g)} atmosférico pelo processo de

fotossíntese. Isso acontece durante todo o desenvolvimento do vegetal e colabora no balanço de $\text{CO}_2(\text{g})$ emitido na queima desses combustíveis, diminuindo seu impacto final ao ambiente (MATHIS, 2009).

Porém, sustentar a demanda necessária de energia para a continuidade do crescimento econômico e a manutenção do padrão de vida da população mundial, exige um grande volume de combustíveis (FURLANETTI; SOTOCORNO, 2007). Desta forma, a produção de biocombustíveis passa por uma fase de crescimento, buscando novas tecnologias e processos diferenciados que possibilitem uma inovação na área de energia (BENEDETTI et al., 2009).

Dentre os biocombustíveis mais produzidos e utilizados no mundo, destacam-se o etanol, o biogás e o biodiesel (WEC, 2013).

Na Figura 8, está representada a geração de empregos no mundo em 2013, devido a aplicação de energias renováveis.

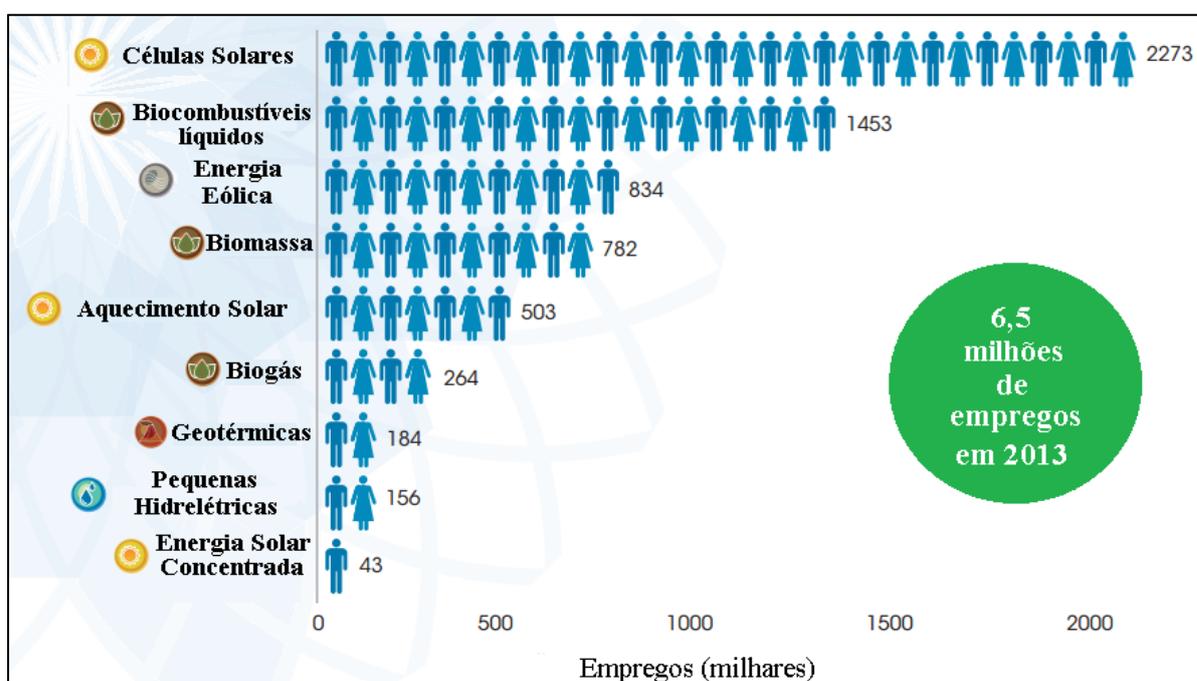


Figura 8. Empregos gerados no mundo por energias renováveis em 2013 (IRENA, 2014).

Além de reduzir os impactos ambientais em comparação aos recursos fósseis, os combustíveis renováveis tem papel importante no aspecto econômico. Entre os vários benefícios encontra-se a geração de empregos, e como se observa na Figura 8, os biocombustíveis líquidos como etanol e biodiesel ocupam o segundo lugar na geração de serviços entre os recursos renováveis, atrás apenas das células de energia solar, que apresentam mão de obra específica e qualificada, e por sua vez, o biogás encontra-se como sexto maior gerador de profissões. Dos 6,5 milhões de trabalhos gerados, o Brasil representou

aproximadamente 14% apenas com o uso do etanol e biodiesel. (IRENA, 2014).

O Brasil vem desenvolvendo nas últimas décadas diversas pesquisas relacionadas aos biocombustíveis, assim como ações concretas que visam ampliar ainda mais a participação das fontes renováveis de energia em sua matriz energética, pontos estes discutidos nos itens a seguir.

3.3.1 Experiência Brasileira em bioenergia e biocombustíveis

No Brasil, há várias décadas se acumulam experiências distintas quanto à utilização e a geração de biocombustíveis, como representado na Figura 9.

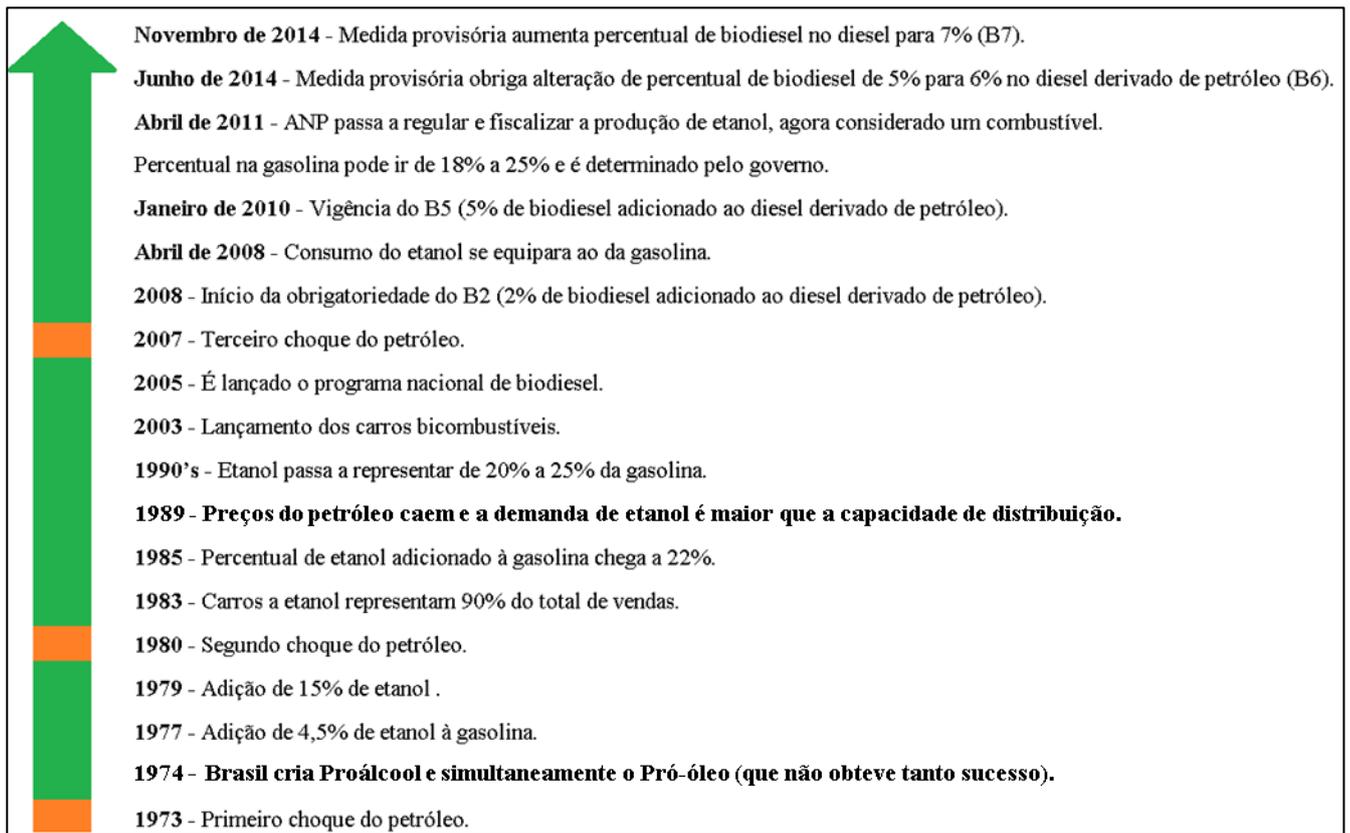


Figura 9. Evolução dos biocombustíveis no Brasil (ANP, 2013; 2014).

No meio de vários progressos, o passo de maior notoriedade foi dado com o programa Proálcool, em que se projetava fazer do bioetanol um substituto direto da gasolina. Este projeto foi implantado com sucesso em 1974, e foi um exemplo mundial da aplicação da biomassa como fonte de energia, desencadeando outros projetos ao longo dos anos, como representado na Figura 9. Hoje além da disponibilidade de etanol puro como combustível, há um percentual adicionado à gasolina, que pode ir de 18 a 25% (MICHELLON; SANTOS;

RODRIGUES, 2008; MASIERO; LOPES, 2008).

Outro plano brasileiro de destaque foi o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado em 2005, onde se estipulou a obrigatoriedade de uma percentagem de biodiesel adicionado ao diesel fóssil, que inicialmente era de 2%, alcançando os 5% entre os anos de 2012 e 2013. No ano de 2014, esse percentual foi aumentado para 6% em julho, e passou para 7% em novembro. Além de desenvolver o mercado, o programa preocupa-se com a inclusão social e desenvolvimento regional, onde gera mais empregos e renda (PAULA E SILVA; SAKATSUME 2007; MASIERO; LOPES, 2008; MATOS, 2012).

Em virtude de ser relativamente jovem no país, a utilização em larga escala do biogás carece de projetos e programas nacionais para seu incentivo, porém, são previstos nos próximos anos avanços na área. No mês de janeiro de 2015 a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) passou a regulamentar sua produção e uso, no qual será tratado de maneira análoga ao gás natural (ANP, 2015).

Por sua vez, a economia brasileira passa por delicada situação, que além do estado de recessão técnica, apresenta alta inflação, enfraquecimento industrial e do mercado de trabalho, e encaminha-se para a adesão de cortes de gastos em todas as áreas na tentativa equilibrar as contas públicas. A alta do dólar também afeta diretamente o mercado interno, e a previsão de que os Estados Unidos possam aumentar os juros em seu país até abril de 2015, gera a expectativa de um aumento ainda maior da moeda, e por consequência maiores riscos (FEDEROWSKI, 2014).

Incentivar e apoiar ainda mais o setor de biocombustíveis como o etanol, biogás e biodiesel seria uma alternativa econômica viável, e faria com que houvesse além da geração de empregos, o retorno real de valores ao mercado interno, valorizando o transporte, fortalecendo o agronegócio, o desenvolvimento regional sustentado e ajuste da balança de pagamentos com a redução da dependência dos combustíveis importados (BASTOS, 2007; MATOS, 2012).

Entre os biocombustíveis mais conhecidos e utilizados mundialmente encontram-se o etanol, o biogás e o biodiesel, que serão discriminados nos próximos tópicos.

3.3.2 Etanol

O etanol é uma variedade de álcool de fórmula molecular C_2H_6O , que pode ser utilizado como combustível em motores de combustão interna ciclo Otto, e é obtido geralmente da fermentação de açúcares (BNDES, 2008).

Na produção do etanol é importante diferenciar o etanol anidro do etanol hidratado, e a diferença é basicamente o teor de água contida no etanol. Enquanto o etanol anidro tem o teor de água em torno de 0,5%, de seu volume, o etanol hidratado possui cerca de 5% de água em volume (UNICA, 2007).

Na Tabela 1 estão representadas algumas as propriedades do etanol.

Tabela 1. Algumas propriedades do etanol (API, 1998).

Parâmetro	Unidade	Etanol
Poder calorífico inferior	kJ/kg	28,225
	kJ/litro	22,350
Densidade	kg/litro	0,792
Octanagem RON (Research Octane Number)	-	102 – 130
Octanagem MON (Motor Octane Number)	-	89 – 96
Calor latente de vaporização	kJ/kg	842 – 930
Relação ar/combustível estequiométrica	-	9,0
Pressão de vapor	kPa	15 – 17
Temperatura de ignição	°C	420
Solubilidade em água	% em volume	100

O poder calorífico do etanol apresentado na Tabela 1, quando comparado à gasolina, é menor. Porém suas características físico-químicas propiciam uma combustão mais limpa e um melhor desempenho dos motores, contribuindo assim para melhorar a qualidade das emissões, pela menor temperatura na admissão e pelo maior volume dos produtos de combustão. Além disso, o etanol combustível apresenta outra vantagem em relação à gasolina, possuir maior octanagem, ou seja, maior resistência à autoignição e à detonação (API 1998; UNICA, 2007; BNDES, 2008; MATOS, 2012).

Devido à composição do etanol, basicamente carbono, hidrogênio e oxigênio, a sua combustão não gera óxidos de enxofre como a gasolina, e, dependendo das características do motor, a geração de óxidos de nitrogênio pode ser menor que a desse recurso fóssil (UNICA, 2007; MATOS, 2012).

Nas Figuras 10 e 11 estão projetadas as emissões de CO_{2(g)} por etanol hidratado e anidro, e as emissões evitadas.

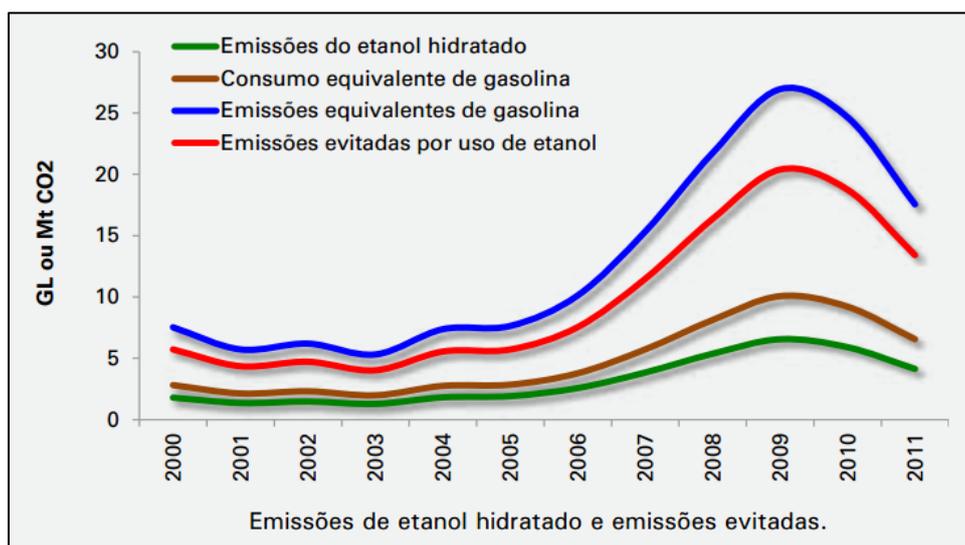


Figura 10. Emissões de etanol hidratado e emissões evitadas (GAZZONI, 2014).

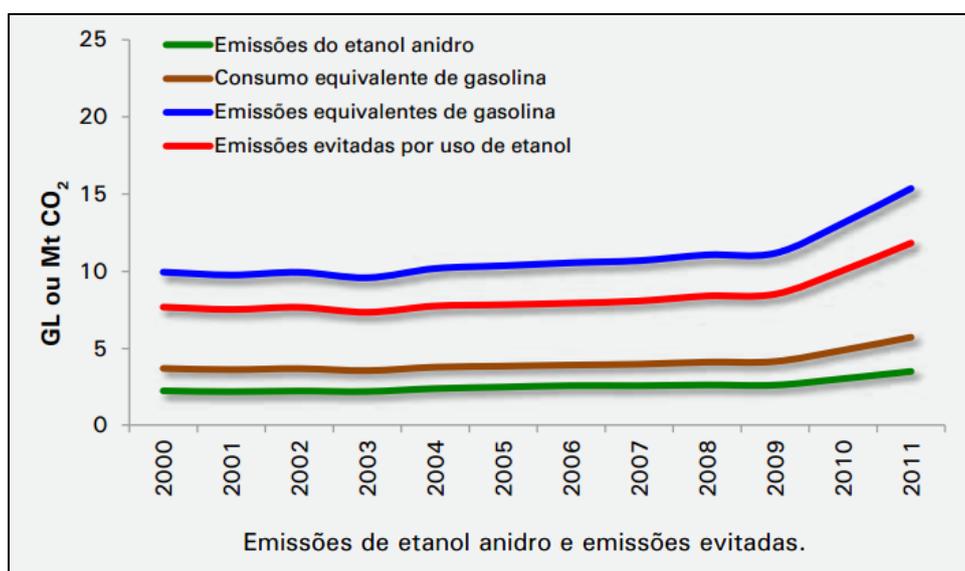


Figura 11. Emissões de etanol anidro e emissões evitadas (GAZZONI, 2014).

Nas Figuras 10 e 11 pode se observar o expressivo resultado de emissões evitadas de $\text{CO}_{2(g)}$ com a utilização de etanol anidro e hidratado em comparação com a gasolina no período de 2000 a 2011. As emissões referentes ao etanol anidro foram de 31 milhões de toneladas de $\text{CO}_{2(g)}$, porém foi evitada a emissão de 100 milhões de toneladas, por não se consumir aproximadamente 49 bilhões de litros de gasolina. Quanto ao etanol hidratado, sua emissão de $\text{CO}_{2(g)}$ nesse período foi de 38 milhões de toneladas, mas acabaram por evitar 118 milhões de toneladas emitidas, por substituir 58 bilhões de litros de gasolina. (GAZZONI, 2014).

A produção brasileira de etanol na safra 2013/14 alcançou 27,17 bilhões de litros,

representando aumento de 14,94% em relação ao ano anterior. Deste número, 12,02 bilhões de litros são relativos ao etanol anidro, e 15,16 bilhões de litros ao etanol hidratado. Correspondem, portanto, por um acréscimo de 21,96 e 9,93% na produção de etanol anidro e etanol hidratado, respectivamente, em relação à safra anterior (CONAB, 2014).

Estima-se que no ano de 2012 tenha se produzido e consumido no mundo cerca de 1.447 mil barris por dia de etanol, e espera-se que esse número cresça nos próximos anos (EIA, 2014).

3.3.3 Biogás

O biogás é uma importante alternativa de energia renovável obtida por meio de um processo natural, com pouco gasto energético em sua produção e baixo custo econômico. Proveniente da degradação da biomassa por microorganismos, o biogás reduz a emissão de gases poluentes e contribui com a preservação do meio ambiente (VAN ELK, 2007).

Além do aproveitamento de resíduos sólidos e líquidos e da mitigação do efeito estufa, o uso energético do biogás traz vantagens como o seu fácil armazenamento e distribuição, assim como versatilidade de destino, ou seja, pode ser utilizado como energia térmica, elétrica ou veicular, sendo empregado em domicílios, no setor automobilístico e até industrial. Seus usos domésticos mais conhecidos são para a iluminação, cocção e aquecimento de água. No setor industrial é largamente utilizado como geração de energia elétrica, combustível para motores, bombas e como geração de calor em caldeiras, e nos automóveis como gás veicular (LANDIM; AZEVEDO, 2008).

Sua aplicação vem crescendo de forma notável no Brasil e no mundo em vários setores produtivos, pois têm se tornado estratégico para o desenvolvimento regional, principalmente em lugares de escassez de recursos e obstáculos energéticos, gerando novos caminhos de renda e fonte de energia (ZATTAR, 2010; ROYA, 2011).

Composto em sua maior parte por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear, é um combustível gasoso com capacidade energética elevada, equivalente à apresentada pelo gás natural (ZATTAR, 2010; BIODIESELBR, 2014). O biogás proveniente da degradação da matéria orgânica é geralmente formado por aproximadamente 50 a 75% de $\text{CH}_{4(g)}$, 25 a 45% de $\text{CO}_{2(g)}$, traços de $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$, $\text{NH}_3_{(g)}$, $\text{H}_2_{(g)}$ e $\text{N}_2_{(g)}$, mas isso depende em grande parte de sua origem. O $\text{CH}_{4(g)}$ e o $\text{H}_2_{(g)}$ produzidos no biogás apresentam grande interesse bioenergético, pois constituem a essência de seu poder calorífico, e podem também ser recuperados por processo de reforma (SEADI et al., 2008).

Tais elementos, $\text{CH}_{4(g)}$ e o $\text{H}_{2(g)}$, serão descritos nos subitens a seguir.

3.3.3.1 Metano $\text{CH}_{4(g)}$

O $\text{CH}_{4(g)}$, gás incolor e inodoro, é o hidrocarboneto mais abundante na atmosfera terrestre. Sua conformação molecular é tetraédrica, e sendo um composto apolar, tem pouca solubilidade na água (SAMPAIO; NÄÄS; SALGADO, 2007; ANGONESE, 2007).

Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades físicas do $\text{CH}_{4(g)}$.

Tabela 2. Propriedades físicas do $\text{CH}_{4(g)}$ (PECORA, 2008).

Propriedades físicas	
Estado físico	Gasoso
Cor	Incolor
Odor	Inodoro
Ponto de ebulição a 1 atm (C°)	-161,5
Ponto de fusão a 1 atm (C°)	-182,6
Temperatura de auto-ignição (C°)	540,40
Faixa de inflamabilidade	5 a 15% em volume no ar
Solubilidade na água	Insolúvel
Solubilidade em solventes orgânicos	Solúvel
Peso molecular	16,04
Temperatura crítica (C°)	-82,5
Pressão crítica (C°)	45,44
Temperatura de armazenamento (C°)	-162,2
Densidade relativa do vapor	0,55 a 1,0
Densidade relativa do líquido	0,422 (a - 160 °C)

Além das características e propriedades apresentadas na Tabela 2, quando o $\text{CH}_{4(g)}$ é adicionado ao ar, se transforma em mistura de alto teor inflamável. Esse potencial inflamável confere ao $\text{CH}_{4(g)}$ um alto valor econômico agregado, dando ao biogás sua característica combustível (ANGONESE, 2007; PECORA, 2008).

3.3.3.2 Hidrogênio $\text{H}_{2(g)}$

O $\text{H}_{2(g)}$, elemento químico mais simples, apresenta formula molecular H_2 e é um gás incolor, inodoro, insípido e inflamável. Encontra-se na maioria das vezes associado a outros elementos, e em baixas quantidades em seu estado de matéria. Segundo estimativas, é o elemento mais abundante do universo, representando aproximadamente 92% da massa de toda

a matéria, seguido de 7% de hélio e apenas 1% de outros elementos. Porém na Terra é o nono em abundância, responsável por 0,9% da massa do planeta (MORTIMER, 2006; GALLINA; DIAS; RODRIGUES, 2012).

Na Tabela 3, encontram-se algumas propriedades do $H_{2(g)}$ (ATKINS; JONES, 2007).

Tabela 3. Propriedades do $H_{2(g)}$ (ATKINS; JONES, 2007).

Propriedades do $H_{2(g)}$	Valor	Unidade
Densidade	0,8988	$g.L^{-1}$ (CNTP)
Ponto de Fusão	-259,3	$^{\circ}C$
Ponto de Ebulição	-252,8	$^{\circ}C$
Massa Molar	1,00747	g/mol

É visto hoje como um combustível importante, em especial pelos aspectos ambientais, e sua produção e consumo vêm sendo incentivadas no mundo todo. Pode ser produzido de diversas maneiras, mas busca-se principalmente a geração por fontes renováveis ou de aproveitamento de resíduos, prezando impreterivelmente pela sustentabilidade (PAKARINEN, 2011; GALVAGNO et al., 2013; DIAS; GALLINA; RODRIGUES, 2014; GALLINA et al., 2014 b).

3.3.4 Biodiesel

Rudolf Diesel (1858 - 1913), ao final do século XIX, desenvolveu o motor de ignição por compressão, e este mais tarde levou o seu nome, sendo conhecido como motor diesel. Os primeiros trabalhos e testes foram realizados com óleo de amendoim, o que seria a primeira etapa para o emprego dos biocombustíveis, porém, como a oferta e o preço do petróleo eram mais acessíveis, este tomou o lugar dos óleos vegetais (KNOTHE, 2010).

Hoje, o biodiesel, biocombustível de maior ascensão atualmente, é considerado o real substituto ao diesel interior. Sendo um combustível renovável e biodegradável, é também menos prejudicial ao meio ambiente que o diesel derivado do petróleo, e alcança a mesma eficiência quando aplicado (RIVALDI, 2008; GALLINA et al., 2010).

De acordo com o relatório do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (2014), as emissões evitadas de gases causadores do efeito estufa, somando todo o biodiesel consumido no Brasil desde o ano de 2008, alcançam 21,8 milhões de toneladas de $CO_{2(g)}$, valor que é equivalente ao plantio de aproximadamente 158 milhões de árvores, em uma área proporcional a 144 mil campos de futebol pelo período de 20 anos.

Estima-se que com a utilização do B5 foram evitadas cerca de 5,2 milhões de toneladas de CO_{2(g)} por ano, onde cada percentual a mais de biodiesel mandatório no Brasil seria equivalente ao plantio de cerca de 7,2 milhões de árvores. Com o uso do B6, passou-se a se evitar cerca de 6,2 milhões de toneladas anuais de CO_{2(g)}, e por sua vez, a adoção do B7 pode reduzir a emissão de aproximadamente 7,3 milhões de toneladas de emissões de CO_{2(g)} (MAPA, 2014).

A capacidade instalada para produção de biodiesel no ano de 2014 está representada na Figura 12.



Figura 12. Capacidade instalada de produção de biodiesel (MME, 2014).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia – MME (2014), a capacidade instalada e autorizada a operar comercialmente de biodiesel, em julho de 2014, ficou em 7.538.000 m³ ao ano. Dessa capacidade, 91% eram detentoras do “Selo Combustível Social” que regulariza e controla a geração de biodiesel valorizando a agricultura familiar.

Já a produção e o consumo brasileiro em 2013 não alcançou ao menos a metade dessa capacidade, atingindo 2.917.488 m³. Isso permitiria que nos próximos anos a percentagem de biodiesel no diesel pudesse ser aumentada além dos 7% sem interferir na logística de geração e distribuição (EPE, 2014).

Por sua vez, conforme o grupo internacional independente de estatística e análise *Energy Information Administration* – EIA (2014), a produção mundial de biodiesel no ano de 2012 alcançou 419,2 mil barris por dia, e vêm aumentando a cada ano.

Para produzir biodiesel podem-se utilizar óleos vegetais ou animais, sendo estes triésteres derivados da glicerina. Na Figura 13, encontra-se o perfil nacional das matérias primas utilizadas na produção de biodiesel para o mês de fevereiro de 2014, onde se destacam o óleo de soja e a gordura bovina, representando 71,71% e 24,17% da matriz respectivamente (ANP, 2014).

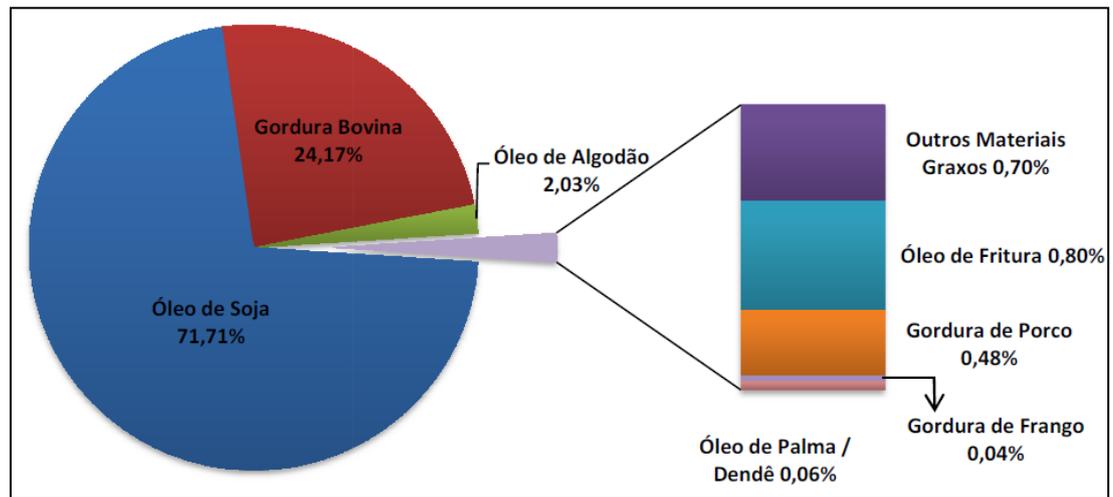


Figura 13. Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel (ANP, 2014).

O óleo, tanto animal quanto vegetal, sofre uma transesterificação mediante a ação de um catalisador e na presença de metanol ou etanol, formando três moléculas de ésteres metílicos ou etílicos dos ácidos graxos, o que constitui o biodiesel, liberando uma molécula de glicerol (FOLQUENIN et al., 2011; CLOMBURG; GONZALEZ, 2013). Dessa forma a transesterificação é o processo pelo qual ocorre a separação entre o glicerol, e a sua substituição pelo álcool na cadeia (MAIA et al., 2011; APOLINÁRIO et al., 2012).

O destino do glicerol gerado nesse processo, assim como outros resíduos industriais, por exemplo, os da produção de papel e celulose, encontram-se em situação estratégica para o desenvolvimento dessas cadeias de produtivas, e tal discussão será abordada nos tópicos a seguir.

3.4. Resíduos Industriais com Aplicabilidade em Bioenergia

3.4.1 Glicerol coproduto do biodiesel

O glicerol, também chamado de glicerina bruta, é o principal co-produto da produção do biodiesel, onde para cada 90 m³ de biodiesel produzido por transesterificação são gerados, aproximadamente, 10 m³ de glicerol, dependendo da matéria prima utilizada. Com a ascensão da produção do biodiesel ocorre simultaneamente a produção excedente de glicerol. (MOTA; GONÇALVES; SILVA, 2009; A. LEONETI; B. LEONETI; OLIVEIRA, 2012).

Na Tabela 4, está representada a composição de macroelementos, carbono e nitrogênio de glicerina bruta oriunda de diferentes matérias primas.

Tabela 4. Composição do glicerol proveniente de diferentes matérias primas.

Matéria Prima	Mostarda Ouro	Mostarda	Colza	Canola	Soja	Crambe	Resíduos Vegetais
Cálcio (ppm)	11,7 ± 2,9	23,0 ± 1,0	24,0 ± 1,7	19,7 ± 1,5	11,0 ± 0	163,3 ± 11,6	ADL
Potássio (ppm)	ADL	ADL	ADL	ADL	ADL	216,7 ± 15,3	ADL
Magnésio (ppm)	3,9 ± 1,0	6,6 ± 0,4	4 ± 0,3	5,4 ± 0,4	6,7 ± 0,2	126,7 ± 5,8	0,4 ± 0
Fósforo (ppm)	25,3 ± 1,2	48 ± 2,0	65 ± 2,0	58,7 ± 6,8	53,0 ± 4,6	136,7 ± 57,7	12,0 ± 1,5
Enxofre (ppm)	21,0 ± 2,9	16,0 ± 1,4	21,0 ± 1,0	14,0 ± 1,5	ADL	128,0 ± 7,6	19,0 ± 1,8
Sódio (% peso)	1,17 ± 0,15	1,23 ± 0,12	1,06 ± 0,07	1,07 ± 0,12	1,2 ± 0,1	1,10 ± 0,10	1,40 ± 0,16
Carbono (% peso)	24,0 ± 0,00	24,3 ± 0,58	25,3 ± 0,58	26,3 ± 0,58	26,0 ± 1	24,0 ± 0,00	37,7 ± 0,58
Nitrogênio (% peso)	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,03	0,06 ± 0,02	0,12 ± 0,01

Como observado na Tabela 4, pode se encontrar elevada diversidade de nutrientes na composição do glicerol, e a concentração de cada um varia em função da origem do biodiesel e também dos processos utilizados em sua produção (ARRUDA et al., 2007; KOLESÁROVÁ et al., 2011). A glicerina bruta apresenta também diversas impurezas, como água, sais, ésteres, álcool e óleo residual, assim como enxofre e magnésio descritos na Tabela 4, entre outros, e por essa razão não pode ser usada diretamente no setor farmacêutico e cosmetológico (THOMPSON; HE, 2006; LOBATO et al., 2010; GALLINA et al., 2014 c).

Observou-se durante o ano de 2014, devido à larga oferta de glicerina bruta, contínua e considerável desvalorização em seu valor agregado, registrando seu menor preço em toda a história de produção de biodiesel no Brasil, custando R\$ 140,00 a tonelada do produto em dezembro, o que desvaloriza e descredibiliza a cadeia produtiva (BIOMERCADO, 2014).

A sobrecarga de glicerol gera também preocupações ambientais, como o descarte incorreto do mesmo, e assim, pesquisas relacionadas ao assunto estão sendo estimuladas visando um aproveitamento seguro desse co-produto (RIVALDI, 2008; CLOMBURG; GONZALEZ, 2013).

Com o objetivo reduzir os futuros problemas ambientais gerados pela acumulação de glicerol, e tornar a produção de biodiesel mais rentável, a implementação de estratégias biotecnológicas vem sendo estudada como uma promissora alternativa. Essas medidas utilizam esse composto como única fonte de carbono para obtenção de produtos de maior valor agregado (LÓPEZ et al., 2009; MOTA; PESTANA, 2011; KOVALSKI et al., 2013).

Considera-se a glicerina como uma fonte rica em açúcares, sendo portando, assimilável por leveduras e bactérias sob condições anaeróbicas ou aeróbicas. Desta forma, a

conversão microbiológica desta glicerina bruta em outros produtos de maior valor econômico pode ser um destino à produção excedente desse elemento (RIVALDI et al., 2013; QUISPE et al., 2013; CAPARICA et al., 2013).

Na Figura 14, estão representadas vias de biodegradação do glicerol por microorganismos anaeróbicos como *Escherichia coli* para geração de produtos com valor agregado.

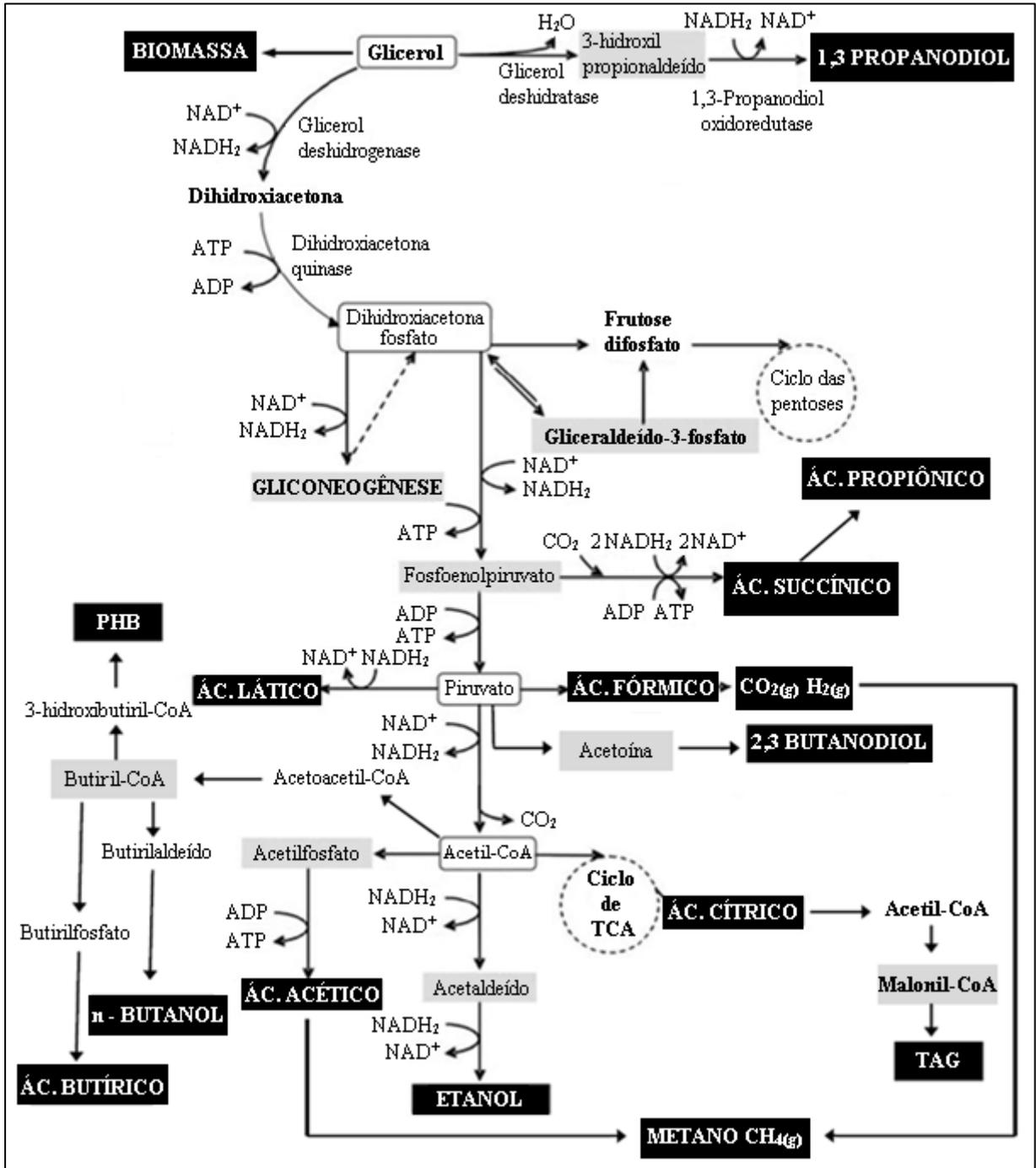


Figura 14. Vias metabólicas de microorganismos anaeróbicos para assimilação de glicerol e seus possíveis produtos (Adaptado de RIVALDI et al., 2008; SILVA; MACK; CONTIERO,

2008; LÓPEZ et al., 2009; CHATZIFRAGKOU; PAPANIKOLAOU, 2012; ALBUQUERQUE, 2014).

Pode se observar na Figura 14 uma variedade de produtos que podem ser gerados a partir do metabolismo de microorganismos anaeróbicos, entre eles álcoois (etanol, propanodiol, butanol), ácidos orgânicos, biopolímeros e gases como $H_{2(g)}$ e $CH_{4(g)}$, característicos do biogás (RIVALDI et al., 2008; SILVA; MACK; CONTIERO, 2008; LÓPEZ et al., 2009; CHATZIFRAGKOU; PAPANIKOLAOU, 2012; ALBUQUERQUE, 2014).

ALMEIDA, FÁVARO e QUIRINO (2012) apontam em seu trabalho a possibilidade de gerar biogás a partir da glicerina bruta por conversão microbiológica, sobretudo $H_{2(g)}$ e $CH_{4(g)}$. Constatou-se que esta rota é capaz de estabelecer sustentabilidade na produção do biodiesel, valorizando a cadeia produtiva, e fortalecendo o crescente potencial da utilização de resíduos no mercado nacional e internacional de combustíveis.

MINHO et al. (2012) estudaram o potencial do uso da glicerina bruta na geração de biogás a partir da estação de tratamento de efluentes e resíduos agroindústrias. Verificou-se durante todo o período em que as amostras ficaram incubadas que a adição de glicerina incrementou a produção inicial de biogás, e apresentou elevado rendimento, essencialmente na concentração de $CH_{4(g)}$ nos ensaios.

B. DE SÁ e F. DE SÁ (2012) registraram tecnologia na qual aplicam o glicerol oriundo da produção de biodiesel como fonte de matéria orgânica para a produção de biogás em biodigestores. Verificaram que com a adição de glicerol a produção de gás aumentou, assim como a qualidade do produto final, com alta presença de $CH_{4(g)}$, o que permite a sua utilização para a geração de energia.

Assim como o glicerol, outros resíduos industriais podem ser empregados em bioprocessos para geração de metabólitos de maior valor agregado. A IPC gera grande variedade de resíduos, os quais apresentam em sua composição elementos que podem ser convertidos em produtos energéticos, tema abordado nos próximos pontos.

3.4.2 Resíduos Lignocelulósicos da Indústria de Papel e Celulose

As indústrias de papel e celulose fazem parte da economia mundial, e tem grande representatividade no mercado nacional. É base para produção de inúmeras *commodities* que são muito difundidas em nosso cotidiano, suprimindo variadas necessidades da sociedade

(CUSHION; WHITEMAN; DIETERLE, 2010).

A produção brasileira mantém-se em constante crescimento, e no segundo mês de 2014 já superou os índices registrados de 2013 na produção de papel e celulose, como pode ser observado na Figura 15 e 16 (BRACELPA, 2014).

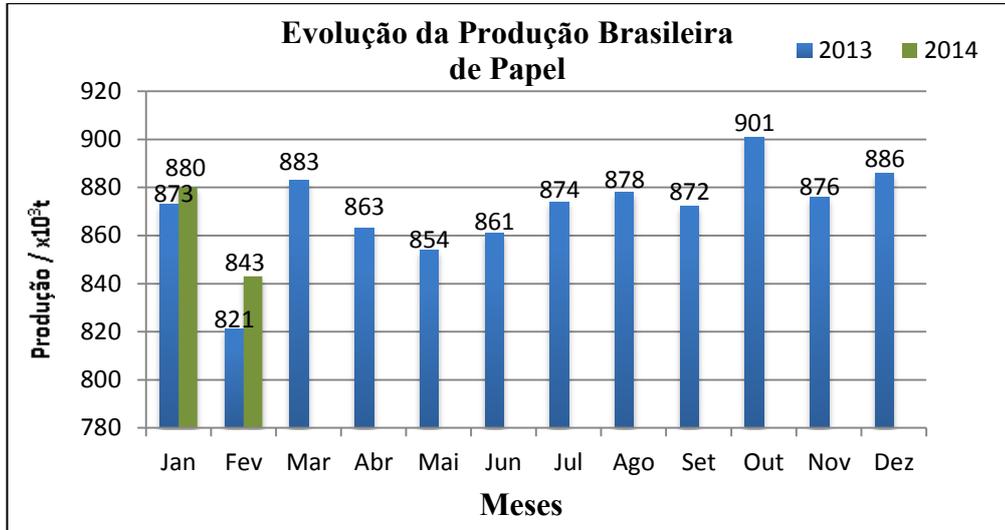


Figura 15. Produção brasileira de papel em 2013, janeiro e fevereiro de 2014.

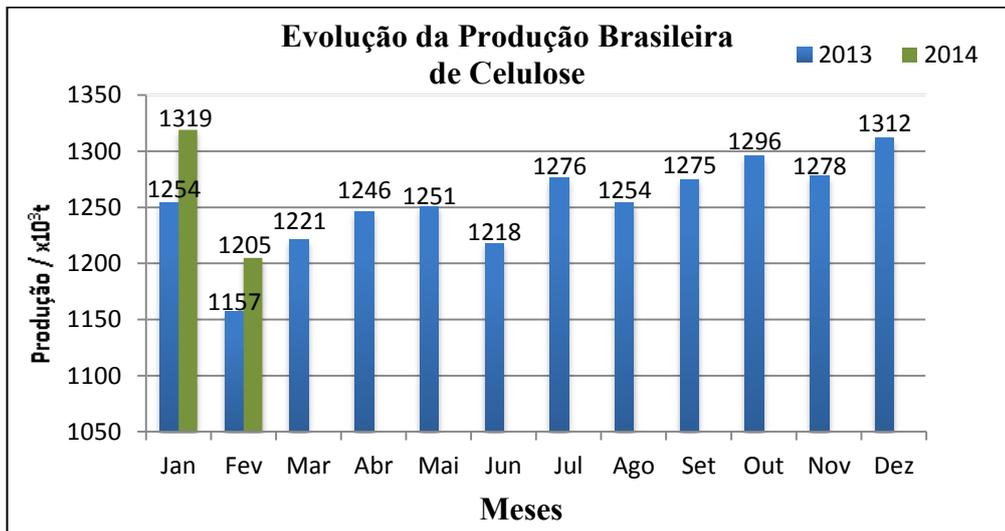


Figura 16. Produção brasileira de celulose em 2013, janeiro e fevereiro de 2014.

A ascensão do Brasil no setor de celulose e papel se dá graças ao trabalho de manejo florestal que é realizado no país, juntamente com a alta produtividade que é consequência dos produtos de qualidade utilizados no processo. O maior destaque em relação aos outros países é o fato das empresas brasileiras empregarem 100% de matéria prima nacional para a produção de papel e celulose. Além disso, as árvores utilizadas são plantadas em áreas

específicas de reflorestamento por métodos sustentáveis, que elevaram a produção brasileira e tornaram o país referência mundial (BRACELPA, 2009).

O elevado crescimento da manufatura de papel e celulose leva há uma produção excedente de resíduos, onde para cada tonelada de celulose gerada são produzidos aproximadamente 800 kg de resíduos sólidos, como a casca, a lama de cal, o lodo ativado e a cinza de caldeira. Os resíduos das indústrias de papel e celulose totalizaram em 2011 10.916.640 toneladas em todo o país. Na maioria das vezes parte dos rejeitos é queimada e outra parte é removida a aterros inadequados, o que leva a grandes danos ao meio ambiente. A manutenção contínua desses rejeitos também gera diversos gastos para as IPC (MMA, 2011; LIMA; LAVORENTE; SILVA, 2013).

Nesse contexto, várias pesquisas e estudos estão sendo desenvolvidos para investigar soluções alternativas para a utilização dessa grande quantidade de resíduos, que permitam seu aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental. Reverter esses recursos em energia e em produtos de maior valor agregado tem se tornado um caminho frequente e vantajoso (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Basicamente a madeira e materiais lignocelulósicos apresentam em sua composição química aproximadamente 50% de celulose, 20% de hemicelulose (polioses), de 15% a 35% de lignina e de até 10% de constituintes menores (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A celulose é então o principal componente da parede celular dos vegetais, um polissacarídeo linear, constituído por um único tipo de açúcar (homopolímero) exclusivamente β -D-glucose (KERBAUY, 2012).

A hemicelulose está intimamente associada com a celulose, suas cadeias moleculares são mais curtas que a celulose, e seus principais constituintes são as hexoses (glucose, manose e galactose) e as pentoses (xilose e arabinose) (KLOCK et al., 2005).

Presente em sua maioria na casca dos vegetais, para oferecer resistência, rigidez e impermeabilidade, a lignina é constituída por um sistema aromático composto de unidades de fenil-propano (KLOCK et al., 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Características dos materiais e recursos lignocelulósicos, como a disponibilidade de carbono e nitrogênio, além de diversos açúcares, têm possibilitado novas alternativas de uso, como a fermentação por métodos simples e usuais, gerando produtos que podem ser reaproveitados, como o biogás (KERBAUY, 2012; BARAKAT, 2013; COSTA et al., 2013).

TSAVKELOVA et al. (2011) constataram em sua pesquisa a produção de biogás a partir da decomposição de resíduos lignocelulósicos e orgânicos. Nesse processo de conversão da matéria orgânica, a fermentação desses recursos por microorganismos permitiu

a geração de biogás de forma eficaz para a geração de energia.

DEMIRBAS (2008) verificou a utilização de recursos lignocelulósicos como madeira, resíduos vegetais e agroindustriais na geração de vários produtos, tal qual $\text{CH}_4(\text{g})$ e $\text{H}_2(\text{g})$. Entre os vários processos de produção, a conversão microbiológica desses meios por fermentação apresentou alta eficiência para aproveitá-los.

VAN HAANDEL, BARBOSA e CETREL (2013) depositaram pedido de patente no qual utilizam novo processo e sistema de produção de biogás a partir da biomassa vegetal. O tratamento microbiológico de resíduos, dentre eles os da cana-de-açúcar, arroz, milho, cevada, trigo, madeira (eucalipto) e banana, permitiu um alto desempenho na geração de biogás, em que se constatou a elevada eficiência da ação dos microorganismos em todos os meios.

Para o aproveitamento de resíduos industriais como os da IPC e o glicerol derivado do biodiesel, a biotecnologia tem se tornado mecanismo frequente e eficaz para o destino dessas sobras, de forma singular em produtos com fins energéticos, como pode se observar nos próximos tópicos.

3.5. Fermentação como Ferramenta Biotecnológica

Dentre as variadas ferramentas biotecnológicas, como cultivo de tecidos, engenharia genética, DNA recombinante entre outros, o processo de fermentação tem apresentado grande destaque atualmente. Peculiar às atividades humanas e conhecido a milhares de anos, esse mecanismo está relacionado com a biotecnologia clássica, por exemplo, na produção de cervejas, vinhos e pães, assim como na ciência moderna e mais elaborada, na geração de produtos farmacêuticos, químicos e também energéticos, trazendo inúmeros benefícios ambientais e socioeconômicos (MALAJOVICH, 2011).

A penicilina é o principal exemplo da aplicação fermentativa na área farmacêutica, e no âmbito químico, podem ser citados os ácidos orgânicos e os biopolímeros. Quanto aos produtos energéticos oriundos dos processos fermentativos, o etanol é o mais conhecido, e sua geração se dá usualmente pela transformação biológica de açúcares pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*, mas diversos agentes biológicos também são capazes de produzi-lo. Outro exemplo é a produção de biogás, proveniente da fermentação da matéria orgânica por microorganismos como bactérias do gênero *Escherichia*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Propionibacterium*, *Acetobacter* e *Gluconobacter*, fungos tais quais *Aspergillus* e *Penicillium*, e leveduras como *Saccharomyces*, *Zygosaccharomyces* e *Kluyveromyces*, que podem estar presentes nas

diferentes fases de digestão dos resíduos orgânicos (WILLEY; SHERWOOD; WOOLVERTON, 2008; MADIGAN; MARTINKO; PARKER, 2010).

Os processos fermentativos podem ser conduzidos de forma descontínua, descontínuo-alimentada ou contínua, apesar de encontrarem-se outras variações metodológicas. Dentre essas formas de aplicação, o processo descontínuo destaca-se pela possibilidade de observar os aspectos da população de microorganismos, seu comportamento quanto a perspectivas cinéticas, bem como as fases que são transcorridas durante a curva de crescimento celular (NEVES, 2003; WILLEY; SHERWOOD; WOOLVERTON, 2008).

Mesmo apresentando algumas desvantagens, como ter a formação do produto final em apenas uma parte do ciclo fermentativo e a inibição enzimática por longo tempo de exposição do cultivo a índices elevados de açúcar, esse mecanismo é fundamental para entender o desempenho do microorganismo quanto a aspectos importantes, como velocidade da fermentação, pH e temperatura ideais de cultivo e tempo de saturação, por exemplo (DRAGONE; MUSSATO; SILVA, 2007).

A fermentação ocorre principalmente em condições anaeróbicas, mas também pode ocorrer na presença de oxigênio, em aerobiose. A presença ou não de oxigênio pode interferir no produto final do processo fermentativo, sendo que para fins energéticos usualmente se aplicam circunstâncias anaeróbicas na transformação biológica da matéria orgânica (TORTORA, FUNKE; CASE, 2012).

O resultado final da fermentação estará sempre relacionado a qual agente biológico, ou microorganismo foi empregado no processo, ao meio nutriente ou substrato em que está presente, e às condições como pH, temperatura e presença ou ausência de oxigênio (MADIGAN; MARTINKO; PARKER, 2010).

Vários microorganismos vêm sendo estudados para a produção de biogás a partir da fermentação e transformação biológica de materiais orgânicos, assim como de resíduos industriais. Dentre eles a bactéria *Escherichia coli* tem se destacado, pela sua capacidade de se adaptar facilmente a diferentes condições, e também de gerar diversos produtos como etanol, e também $\text{CH}_4(\text{g})$ e $\text{H}_2(\text{g})$, principais compostos do biogás, o que será abordado nos próximos tópicos.

3.6. *Escherichia coli*

A *Escherichia coli* é uma bactéria gram-negativa, anaeróbica e aeróbica facultativa pertencente à família das Enterobacteriaceae, e mede em média de 0,5 a 2 μm de

comprimento, apresentando forma de bacilo. Seu habitat natural é o intestino de mamíferos, como o homem, mas é comumente encontrada livre no meio ambiente, pois é capaz de se adaptar e se desenvolver em meios e situações extremamente adversas (TORTORA, FUNKE; CASE, 2012).

Pode se desenvolver em pH neutro ou próximo da neutralidade, e em temperaturas de 0 a 50 °C, porém suas condições ideais vão de 35 a 42 °C, sendo que seu melhor crescimento encontra-se na faixa de 36 e 37 °C. Reproduz-se de forma assexuada, basicamente por divisão celular binária, e também pode realizar a troca de material genético entre células por microfibrilas proteicas conhecidas como pili (MADIGAN; MARTINKO; PARKER, 2010).

Na Figura 17 está representada a imagem da micrografia eletrônica de transmissão (MET) de uma divisão celular de *E. coli*.

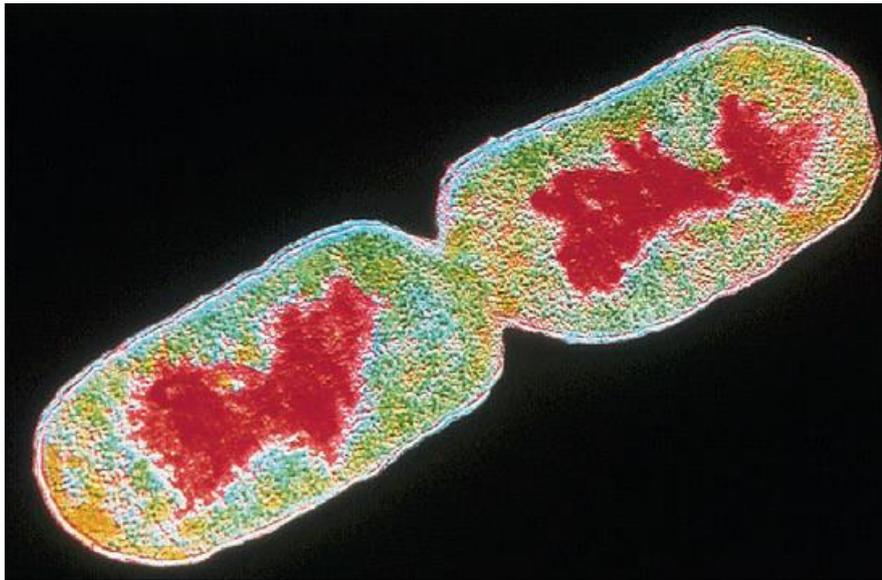


Figura 17. Microscopia eletrônica de transmissão (MET) de divisão celular de *E. coli* (WILLEY; SHERWOOD; WOOLVERTON, 2008).

Observa-se na Figura 17 a micrografia eletrônica de transmissão, com capacidade de cor, de uma célula de *E. coli* em divisão. As áreas vermelhas correspondem ao material genético, nucleóide, se dividindo em duas células-filhas, e observa-se também o formato bacilar da bactéria (WILLEY; SHERWOOD; WOOLVERTON, 2008).

Possui fímbrias que são responsáveis pela sua locomoção, mas que também desenvolvem adesinas que auxiliam a fixação da célula em bases sólidas, onde realiza também o biofilme, característica singular de poucas bactérias (HERZBERG et al., 2006; TRABULSI; ALTERTHUM, 2008).

A Tabela 5 apresenta um resumo do número estimado de genes envolvidos em várias

funções celulares da *E. coli* (WILLEY; SHERWOOD; WOOLVERTON, 2008).

Tabela 5. Genes envolvidos em várias funções da *E. coli*.

Função do Gene	Nº de Genes
Total aproximado do número de genes	4,289
Processos celulares	190
Componentes de envelopamento celular	172
Proteínas de ligação e transporte	315
Metabolismo do DNA	102
Transcrição	41
Síntese de proteínas	122
Funções regulatórias	176
Energia do metabolismo	368
Metabolismo intermediário central	73
Biossíntese de aminoácidos	114
Metabolismo de ácidos graxos e fosfolipídios	67
Purinas, pirimidinas, nucleotídeos e nucleosídeos	77
Biossíntese de cofatores e grupos prostéticos	100

Observa-se na Tabela 5 os genes que atuam de diversas formas nas funções celulares da *E. coli*. Isso permite que a célula se habitue as características do ambiente e resista em meios favoráveis ou não. Essa versatilidade também faz com que esse microorganismo possa se desenvolver a partir de várias fontes de nutrientes, basicamente qualquer matéria orgânica, como carbono, nitrogênio, enxofre, sódio, potássio, e também compostos mais complexos como glicerol, celulose, dextrose, lactose, triptose entre muitos outros (WILLEY; SHERWOOD; WOOLVERTON, 2008; CLOMBURG; GONZALEZ, 2013; JANßEN; STEINBÜCHEL, 2014).

3.6.1. Aplicações e Aspectos Bioquímicos

A bactéria *Escherichia coli* é sem dúvida o microorganismo mais utilizado no âmbito industrial, principalmente na transformação da biomassa, e com aplicação e estudos direcionados nas áreas de bioenergia, biotecnologia e biofarmacêutica por exemplo. Vários princípios contribuem para a escolha desta bactéria em trabalhos e pesquisas, como baixo custo de emprego, facilidade no trabalho e manuseio (MARISCH; BAYER; PUSCHMANN, 2013).

O genoma também já foi descrito, facilitando trabalhos e melhoramentos genéticos, e, além disso, esta bactéria consegue alcançar aceleradamente altas densidades em seus meios. Isso se torna uma vantagem quando comparada a outros microorganismos, pois podem metabolizar de forma mais rápida um substrato, ou obter mais rendimento em um meio específico para certa finalidade (IGUCHI; THOMSON; OGURA, 2009).

Outro aspecto importante, é que seu metabolismo anaeróbico e aeróbico permite com que a partir da assimilação de fontes de açúcares, suceda-se a conversão destes em outros produtos, como alcoóis e gases. Os produtos do metabolismo da *E. coli* podem ser aproveitados para vários fins, entre eles a geração de combustíveis e energia, como por exemplo o biogás (MIELENZ, 2011; FEI et al., 2014; COSTA et al., 2013; CLOMBURG; GONZALEZ, 2013; HERRMANN et al., 2013; VICTOR et al., 2014).

Na Figura 18, apresentam-se as fases da digestão anaeróbica bacteriana de compostos orgânicos para a produção de $\text{CH}_{4(g)}$ e $\text{H}_{2(g)}$.

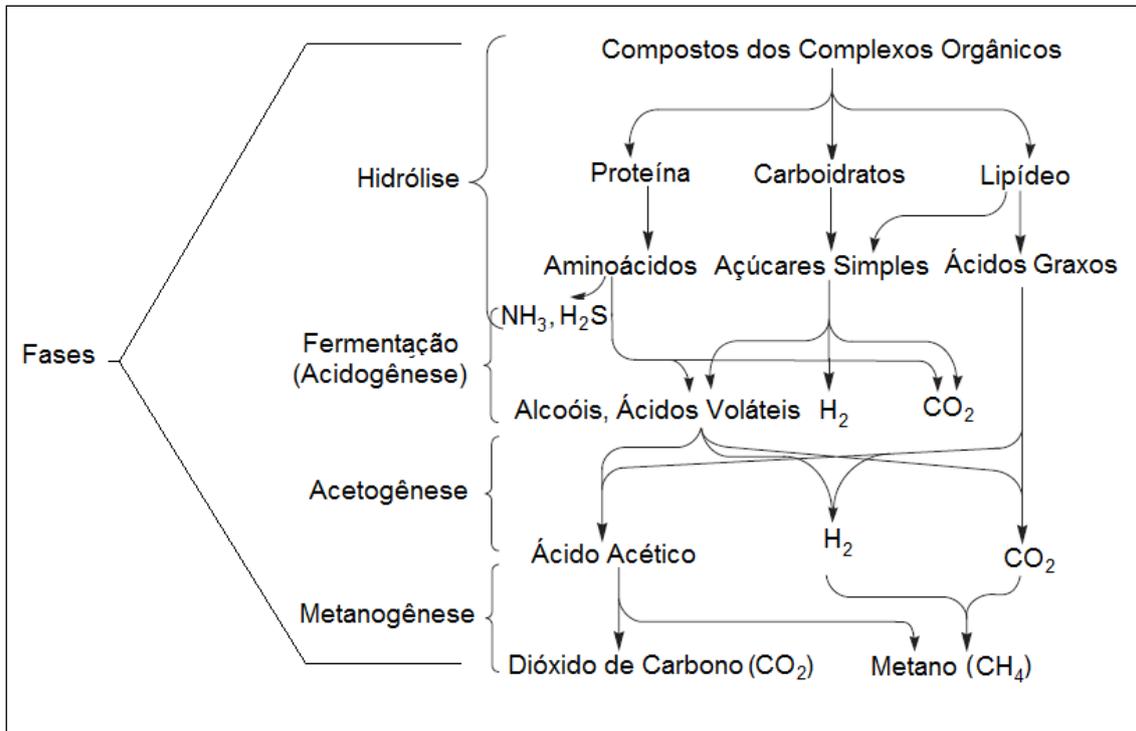


Figura 18. Fases da digestão anaeróbica de compostos dos complexos orgânicos por atividade de bactéria (DRAPCHO et. al., 2008).

As bactérias que têm a capacidade de formar $\text{CH}_{4(g)}$, como o caso da *E. coli*, apresentam atividade metabólica igual ou semelhante à apresentada na Figura 18, onde ocorrem quatro fases bem definidas da digestão anaeróbica de compostos, sendo elas a hidrólise, a fermentação, a acetogênese e a metanogênese (JAYALAKSHMI; JOSEPH; SUKUMARAN, 2007; DRAPCHO et al., 2008; FEI et al., 2014; RICHTER; GESCHER, 2014).

Na fase de hidrólise, ocorre a quebra de polímeros mais complexos em moléculas menores, as quais podem permear as paredes celulares de microorganismos fermentativos. Essa conversão é possível pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias (PANDEY;

SOUPIR, 2011; TORRES et al., 2013).

A fase de fermentação, também conhecida como fase de acidogênese, é onde as moléculas reduzidas produzidas no último processo são metabolizadas e convertidas no interior das células bacterianas em compostos mais simples, como álcoois, ácido lático, ácidos graxos voláteis, $\text{CO}_{2(g)}$, $\text{H}_{2(g)}$ entre outros (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008; BLANKSCHIEN; CLOMBURG; GONZALEZ, 2010).

Em seguida, ocorre a fase de acetogênese, onde há a oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para a produção de $\text{CH}_{4(g)}$, como o dióxido de carbono $\text{CO}_{2(g)}$, o $\text{H}_{2(g)}$ e o ácido acético (MADIGAN; MARTINKO; PARKER, 2010; CLOMBURG; GONZALEZ, 2013).

Por sua vez, a metanogênese é a etapa final do processo de degradação desses compostos orgânicos, que geram o $\text{CH}_{4(g)}$ e dióxido de carbono $\text{CO}_{2(g)}$, podendo as bactérias ser divididas, de acordo com a produção destes, em metanogênicas acetoclásticas e hidrogenotróficas (DRAPCHO et. al., 2008; TAHERZADEH; KARIMI, 2008; RICHTER; GESCHER, 2014).

A presença de $\text{CH}_{4(g)}$, $\text{H}_{2(g)}$, dióxido de carbono $\text{CO}_{2(g)}$, monóxido de carbono $\text{CO}_{(g)}$, sulfeto de hidrogênio $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$, nitrogênio $\text{N}_{2(g)}$ formados nesse processo de decomposição da matéria orgânica caracterizam então o biogás, que pode ser empregado de diversas maneiras (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008; KOLESÁROVÁ et al., 2011).

JAYALAKSHMI, JOSEPH e SUKUMARAN (2007) estudaram a produção de $\text{CH}_{4(g)}$ a partir da fermentação de resíduos alimentícios sólidos pela *Escherichia coli*. Observou-se no estudo que a capacidade de conversão da matéria orgânica pela bactéria rendeu 17% a mais de $\text{CH}_{4(g)}$ que outros microorganismos testados, permitindo maior qualidade do biogás gerado.

HU e WOOD (2010) constataram a produção de $\text{H}_{2(g)}$ pela *E. coli* com base na transformação biológica do glicerol oriundo da indústria do biodiesel. A bactéria apresentou alto rendimento na conversão, e facilidade de desenvolvimento na glicerina bruta, e foi capaz de gerar considerável quantidade de $\text{H}_{2(g)}$ após a o processo fermentativo.

FUMITAKA e WU (2010) registraram método em que ocorre o aumento da produção de biogás a partir de resíduos celulósicos e do glicerol. Nesse processo, a adição de bactérias anaeróbicas, como a *E. coli*, possibilitou maior produção de $\text{CH}_{4(g)}$ na conversão dos substratos pela fermentação em todas as fases e meios utilizados.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Em razão da confidencialidade dos dados da pesquisa, **o tópico MATERIAIS E MÉTODOS não poderá ser publicado**, para fins de verificação quanto à possibilidade de pedido de patente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em razão da confidencialidade dos dados da pesquisa, **o tópico RESULTADOS E DISCUSSÃO não poderá ser publicado**, para fins de verificação quanto à possibilidade de pedido de patente.

6. CONCLUSÕES

Em razão da confidencialidade dos dados da pesquisa, **o tópico CONCLUSÕES não poderá ser publicado**, para fins de verificação quanto à possibilidade de pedido de patente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: **Carvão vegetal – Análise imediata**. Outubro, 1986.

ALBUQUERQUE, M. F. G. **Tratamento do glicerol bruto proveniente da produção de biodiesel visando a geração de metano**. 2014. 98 f. Tese Doutorado - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

ALMEIDA, G. et al. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**. v. 101, n. 24, p. 9778–9784, 2010.

ALMEIDA, J. R. M.; FÁVAROZ, L. C. L.; QUIRINO, B. F. Biodiesel biorefinery: Opportunities and challenges for microbial production of fuels and chemicals from glycerol waste. **Biotechnology For Biofuels**, Brasília, v. 48, n. 5, p.1-16, maio 2012.

ANGONESE, A. R. et al.. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2007. v. 27, n., p.648-657.

ANNEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Org.). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª Brasília: Tdacomunicação, 2008. 236 p.

ANP, AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP Nº 8, de 30.1.2015 - DOU 2.2.2015**. 2015. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp8-2015.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x=>](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp8-2015.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x=>)>. Acesso em: 22 fev. 2015.

ANP, AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim Mensal**. Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis. mar. 2014.

ANP, AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim Técnico de Estudo**. Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis. jan. 2013.

API, AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Alcohols and ethers, a technical assessment of their application as fuel and fuel components. Washington: **American Petroleum Institute**, 1998. 89 p.

APOLINÁRIO, F. D. B. et al. Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e If Fluminense**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p.141-146, 2012.

ARRUDA, V. P. et. al. Glicerol: um subproduto com grande capacidade industrial e metabólica. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 26, 2007.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. E711-87: **Standard**

test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. West Conshohocken, PA, United States: ASTM. 2004.

ATKINS, P.W.; JONES, L. **Princípios de Química.** 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

B. DE SÁ, A.; F. DE SÁ, C. **Método para a otimização de dispositivos anaeróbios.** BR nº PI 1003133-2, 30 ago. 2010, 29 maio 2012. INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

BAJPAI, P. **Biotechnology for Pulp and Paper Processing.** Uk: Springer - Hardcover, 2012. 414 p.

BARAKAT, A. et al. Anaerobic biodegradation of cellulose-xylan-lignin nanocomposites as model assemblies of lignocellulosic biomass. **Waste Biomass Valor**, Narbonne, v. 5, n. 1, p.293-304, 24 maio 2013.

BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias.** Brasil: Bndes, 2007. 34 p.

BENEDETTI, O. I. S. et al. Análise Preliminar da Produção de Etanol a partir de celulose: caminhos e desafios para a produção de Álcool no Rio Grande do Sul. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, 2009. v. 6, n. 2, p. 272-284.

BIODIESELBR. **Biogás:** Considerações gerais. 2014. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas.htm>>. Acesso em: 17 dez. 2014.

BIOMERCADO. **Boletim de oleaginosas:** Glicerol bruto. 2014. Disponível em: <<http://biomercado.com.br/#>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

BLANKSCHIEN, M. D.; CLOMBURG, J. M.; GONZALEZ, R. Metabolic engineering of *Escherichia coli* for the production of succinate from glycerol. **Metabolic Engineering**, Houston, v. 12, n. 5, p.409-419, jun. 2010.

BNDES, BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar – Energia para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro, 2008. BNDES, 316 p.

BORSATO, D.; GALÃO, F. O.; MOREIRA, I. **Combustíveis fósseis: Carvão e petróleo.** Londrina: Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina, 2009. 169 p.

BP, BRITISH PETROLEUM. **Statistical review of world energy june 2014.** Uk: Bp, 2014. 48 p.

BRACELPA. Associação brasileira de celulose e papel: **Dados do setor.** Bracelpa, 01 ago. (2014). Disponível em: <www.bracelpa.org.br>. Acesso em: 17 dez. 2014.

BRACELPA. Associação brasileira de celulose e papel: **Publicação bimestral da associação brasileira de celulose e papel.** Bracelpa, 01 maio (2009). Disponível em: <www.bracelpa.org.br>. Acesso em: 14 dez. 2014.

CALLISTER, W. D. J. **Materials Science and Engineering**. 5^oed. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 2000.

CAPARICA, R. et al. **Processo de obtenção do etanol pelo bioprocessamento de glicerol derivado de biodiesel utilizando Escherichia coli selvagem e ATCC 25922** – BR n° 1020130330353, 20 dez. 2013. INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

CARVALHO, D. M.; SILVA, M. R.; COLODETTE, J. L. Efeito da qualidade da madeira no desempenho da polpação kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p.677-684, jul. 2014.

CECCATO-ANTONINI, S. R. **Microbiologia da fermentação alcoólica: a importância do monitoramento microbiológico em destilarias**. São Carlos, 2012. Coleção UAB-UFSCar. 105 p.

CHATZIFRAGKOU, A.; PAPANIKOLAOU, S. Effect of impurities in biodiesel derived waste glycerol on the performance and feasibility of biotechnological processes. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 95, p. 13–27, 2012.

CHAVES, A. M. B. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA MADEIRA E CARVÃO VEGETAL DE CLONES DE Eucalyptus spp. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 17, n. 9, p.533-542, dez. 2013.

CLOMBURG, J. M.; GONZALEZ, R. Anaerobic fermentation of glycerol: A platform for renewable fuels and chemicals. **Elsevier: Trends in Biotechnology**, Houston, v. 31, n. 1, p.20-28, jan. 2013.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Safra 2013/2014**. Brasil: Conab, 2014. 19 p.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas: Unicamp, 2008. 29 p.

COSTA, A. G. et al. Geração de metano a partir de resíduos lignocelulósicos oriundos da produção do biocombustível: Revisão. **Revista Dae**, Ceará, v. 194, n. 1, p.36-51, 6 jun. 2013.

CTC – CENTRO DE TECNOLOGIA COPOERSUCAR; Divisão Individual CTDI; **Fermentação**, ed. 1, ago, 1987.

CUNHA, D. A. et al. Avaliação do Efeito Erosivo em Microscopia Eletrônica de Varredura e Propriedades Físico-Químicas de Bebidas Gaseificadas de Baixa Caloria. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, Paraíba, v. 15, n. 1, p.3-10, 2011.

CUSHION, E.; WHITEMAN, A.; DIETERLE, G. Bioenergy Development: Issues and impacts for poverty and natural resource management. Washington D. C: **The World Bank**. 2010. 272 p.

DEMIRBAS, A. Products from lignocellulosic materials via degradation processes. **Energy Sources: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, Turkey, v. 30, n. 1, p.27-37, fev. 2008.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from waste and renewable resources: an introduction. **Wiley-Backwell**, 2008, 450 p.

DIAS, B. V.; GALLINA, A. L.; RODRIGUES, P. R. P. Application of the Stainless Steel in the Hydrogen Generation as Fuel. **Revista Virtual de Química**, v. 6, p. 224-234, 2014.

DODDABASAWA; PATIL, R. Physico-chemical analysis of biodiesel derived glycerin and saponification of crude glycerin with different concentrations of sodium hydroxide lye. **International Journal Of Science And Research**, India, v. 3, n. 6, p.210-212, jun. 2014.

DRAGONE, G.; MUSSATO, S. I.; SILVA, J. B. A. Utilização de mostos concentrados na produção de cervejas pelo processo contínuo: novas tendências para o aumento da produtividade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p.37-40, ago. 2007.

DRAPCHO, C. M.; NHUAN, N. P.; WALKER, T. H. **Biofuels Engineering Process Technology**. 1ª Edição New York - Usa: Mcgrawhill, 2008. 385 p.

EIA, INDEPENDENT STATISTIC AND ANALYSIS. **Annual Energy Outlook 2014: With projections to 2040**. Usa: U.s. Department Of Energy, 2014

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Org.). **Balanco energético nacional 2013: Ano base 2012**. Rio de Janeiro, 288p, 2013.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Org.). **Balanco energético nacional 2014: Ano base 2013**. Rio de Janeiro, 290p, 2014.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, 2011. v. 12, n. 17, p.7-16.

FEDEROWSKI, B. **Dólar sobe 13% ante real em 2014, apesar de BC: pressão deve continuar em 2015**. 2014. Disponível em: <<http://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKBN0K81GZ20141230?pageNumber=2&virtualBrandChannel=0&sp=true>>. Acesso em: 30 dez. 2014.

FEI, Q. et al. Bioconversion of natural gas to liquid fuel: Opportunities and challenges. **Elsevier: Biotechnology Advances**, Golden, v. 32, n. 1, p.596-614, mar. 2014.

FERREIRA, I. T. M. et al. Estimativa do Potencial Energético de Resíduos Celulósicos de Fabricação de Papel Através de Análise Imediata. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 3, n. , p.284-297, set. 2014.

FERREIRA I. T. M. **Descrição do Processo de Fabricação do Cartão Revestido**. Turvo: Ibema - Cia. Brasileira de Papel, 6 p. 2013.

FOLQUENIN, E. K. F. et al. Obtenção e Caracterização Físicoquímica do Biodiesel B100 e de Misturas Biodiesel/Diesel. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 13, p. 1-17, 2011.

FUMITAKA, S.; WU, J. Agency For Science, **Technology And Research. Methods for improving biogas production in the presence of hard substrates**. EP nº PI2010114481A1,

2 abr. 2009, 7 out. 2010.

FURLANETTI, A. C.; SOTOCORNO, T. Biodiesel: alternativa promissora para o Brasil. **Revista Multidisciplinar**, Presidente Prudente, 2007. n. 03.

FURTADO, T. S. et al. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 3, p.577-582, jun. 2012.

GALLINA, A. L. et al. Estudo ambiental e socioeconômico da produção de biodiesel do óleo da *Cyperus esculentus*. **Ambiência**, v. 10, p. 303-317, 2014 a.

GALLINA, A. L. et al. Produção de Hidrogênio a Partir do Ácido Fórmico Utilizando Eletrodos de Platina, Cobre e Latão. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 318-330, 2014 b.

GALLINA, A. L. et al. **Processo de produção de reator eletroquímico utilizando eletrodos de aço inoxidável austenítico tipo abnt 254 para geração de gás hidrogênio utilizando ácido fórmico e glicerina**. 2014, BR n° 10201402269, 19 set. 2014 c. INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

GALLINA, A. L. et al. A corrosão do aço inoxidável austenítico 304 em biodiesel. **Revista Escola de Minas**. v. 63, p. 71-75, 2010.

GALLINA, A. L.; DIAS, B. V.; RODRIGUES, P. R. P. **Processo de produção de gás hidrogênio em metais imersos em meio ácido contendo benzotriazol**. 2012, BR n° PI026433, 16 out. 2012. INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

GALVAGNO, A. et al. Biogas as hydrogen source for fuel cell applications. **Elsevier: International Journal of Hydrogen Energy**, Italy, v. 38, n. 10, p.3913-3920, abr. 2013.

GASNET (Brasil). **Gás Natural**. 2014. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/gasnatural/gas_completo.asp#gas13>. Acesso em: 06 jan. 2015.

GAZZONI, D. L. **Balanco de emissões de dióxido de carbono por biocombustíveis no Brasil: histórico e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Embrapa, 2014. 56 p.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energy, environment and development**. 2. ed. London: Earthscan, 2010. 481 p.

GUO, B.; GHALAMBOR, A. **Natural Gas Engineering Handbook**. 2. ed. Houston: Gulf Publishing Company, 2012. 472 p.

HERRMANN, H. W. et al. Analysis of gases released in the glycerin microbiological fermentation in dextrose medium. In: Formatex Research Center. (Org.). **Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments**. 1ed.Espanha: Formatex Research Center, v. 1, p. 202-205. 2013.

HERZBERG, M. et al. YdgG (TqsA) controls biofilm formation in *Escherichia coli* K-12 through autoinducer 2 transport. **American Society For Microbiology: Journal of**

Bacteriology, Texas, v. 188, n. 2, p.587-598, jan. 2006.

HISS, H. **Cinética De Fermentações**. São Paulo: Autor, 2013. 654 p.

HU, H.; WOOD, T. K. An evolved Escherichia coli strain for producing hydrogen and ethanol from glycerol. **Elsevier: Biochemical and Biophysical Research Communications**, Texas, v. 391, n. 1, p.1033-1038, 2010. 154 p.

HU, S. et al. Characterization of crude glycerol from biodiesel plants. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, Ohio, v. 60, n. 23, p.5915-5921, maio 2012.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Org.). **CO2 Emissions from fuel combustion: Highlights (2013 Edition)**. Paris: OECD/IEA, 2013. 154 p.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Org.). **Key World Energy Statistics**. Paris: IEA, 2014. 82 p.

IGUCHI, A.; THOMSON, N. R.; OGURA, Y. Complete genome sequence and comparative genome analysis of enteropathogenic Escherichia coli O127:H6 Strain E2348/69. **Journal Of Bacteriology: American Society for Microbiology**, London - Uk, v. 191, n. 1, jan. 2009. p.347-354.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2014: Synthesis report. Usa: **IPCC**, 2014. 133 p.

IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2014**. Usa: Irena, 2014. 12 p.

JANßEN, H. J.; STEINBÜCHEL, A. Fatty acid synthesis in Escherichia coli and its applications towards the production of fatty acid based biofuels. **Biotechnology For Biofuels**, Germany, v. 7, n. 7, p.1-26, maio 2014.

JAYALAKSHMI, S.; JOSEPH, K.; SUKUMARAN, V. Methane production from kitchen waste using Escherichia coli. **Journal Of Environmental Science And Engineering**, Thanjavur, v. 49, n. 2, p.99-102, abr. 2007.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 498 p. 2012.

KLOCK, U. et al. **Química da Madeira**. 3. ed. Curitiba: Ufpr, 2005. 86 p.

KNOTHE, G. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. **Progress In Energy And Combustion Science**, Illinois - Usa, dez. 2010. p.364-373, 24.

KOLESÁROVÁ, N. et al. Utilization of biodiesel by-products for biogas production. **Hindawi Publishing Corporation: Journal of Biomedicine and Biotechnology**, Bratislava, Slovakia, v. 1, n. 1, p.1-15, 07 jan. 2011.

KOVALSKI, G. et al. Microbiological fermentation of glycerol to obtain alcohol in tryptose culture medium. In: A. Méndez-Vilas. (Org.). **Materials and processes for energy:**

communicating current research and technological developments. 1ed. ESPANHA: Formatex Research Center, v. 1, 2013. p. 293-301.

LANDIM, A. L. P. F.; AZEVEDO, L. P. **O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável.** Rio de Janeiro: Bndes, 41 p. (2008)

LEONETI, A. B.; LEONETI, V. A.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol. **Elsevier: Renewable Energy**, São Paulo, v. 45, n. 1, p.138-145, set. 2012. Volume 45, September 2012, Pages 138–145.

LIMA, M. A.; LAVORENTE, G. B.; SILVA, H. K. P. Effects of pretreatment on morphology, chemical composition and enzymatic digestibility of eucalyptus bark: a potentially valuable source of fermentable sugars for biofuel production – part 1. **Biotechnology For Biofuels**, Piracicaba - Sp, v. 75, n. 6, maio. 2013. p.1-17.

LIMA, U. A. et al. **Biotecnologia Industrial** v. 3, ed. 1, Editora Edgard Blücher Ltda, 2001, 616 p.

LOBATO et al. Improvement of biogas production by co-digestion of swine manure and residual glycerine. **Biofuels**, v. 1, n. 1, p. 59-68, 2010.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, Salvador, v. 27, n. 4, p.670-674, 2004.

LÓPEZ, J. Á. S. et al. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. **Elsevier: Bioresource Technology**, Córdoba, v. 100, n. 1, p.5609-5615, jun. 2009.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brook**. 12 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 1160. 2010.

MADSEN, E. L. **Environmental Microbiology: From genomes to biogeochemistry.** Usa: Blackwell Publishing, 2008. 490 p.

MAIA, E. C. R. et al. Study of the biodiesel B100 oxidative stability in mixture with antioxidants. **Fuel Processing Technology**, v. 92, p. 1750-1755, 2011.

MALAJOVICH, M. A. **Biotecnologia.** Rio de Janeiro: Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia Ort, 2012. 320 p.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Benefícios ambientais da produção e do uso do Biodiesel** - MAPA. Secretaria Executiva. Brasília: MAPA/ACS, 2014. 33p.

MARISCH, K.; B., K.; PUSCHMANN, M. C. Evaluation of three industrial Escherichia coli strains in fed-batch cultivations during high-level SOD protein production. **Microbial Cell Factories**, Vienna, Austria, v. 58, n. 12, 2013. p.1-11.

MASIERO, G.; LOPES, H. Etanol e biodiesel como recursos energéticos alternativos: perspectivas da América Latina e da Ásia. **Revista Brasileira de Política Internacional**,

Brasília, v. 2, n. 51, p.60-79, maio 2008.

MATHIS, P. Nourriture ou biocarburants: faudra-t-il choisir?. **Cahiers Agricultures**, Sceaux - France, v. 18, n. 5, out. 2009. p.447-452.

MATOS, C. R. A. **Cadernos de educação ambiental: Etanol e biodiesel**. São Paulo: Governo do Estado Sp, 2012. 105 p.

MEDEIROS, M.J.R.; CARDOSO, R.A. **Os impactos ambientais gerados por resíduos dentro de postos de combustíveis**. Caldas Novas, Il. 74 f., 2010.

MICHELLON, E.; SANTOS, A. A. L.; RODRIGUES, J. R. A. Breve Descrição do Proálcool e Perspectivas Futuras para o Etanol Produzido no Brasil. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 46., 2008, Maringá. Rio Branco: Sober, 2008. p. 1 - 16.

MIELENZ, J. R. Biofuels from protein: Rerouting nitrogen flux in bacteria allows renewable production of biofuels from proteins. **Nature America**, Inc.: nature biotechnology, New Jersey - Usa, v. 29, n. 4, abr. 2011. p.327-328.

MINHO, C. V. et al. Uso da glicerina residual na geração de biogás a partir do lodo de estação de tratamento de efluentes e dejetos de aves poedeiras. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 3, set. 2012. p.41-50.

MISTRY, B. **A Handbook of spectroscopic data chemistry**. India: Oxford Book Company, 2009. 247 p.

MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: MMA, 2011.

MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, BRASIL. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**: Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. 2013.

MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia (Org.). **Boletim mensal de energia**: Mês de junho. Brasília: MME, 2014.

MOAT, A. G.; FOSTER, J.W.; SPECTOR, M. P. Central pathways of carbohydrate metabolism. **Microbial physiology**. New York: Wiley-Liss, 2002, p. 363.

MONOD, J. La technique de culture continue: Theorie et applications. **Annales de L'Instute Pasteur**, v.79, n.1, p. 340-410, 1950.

MONOD, J. The growth of bacterial cultures. **Annual Review of Microbiology**, v.3, n.1, p. 371-394, jun 1949.

MORAIS, J. M. **PETRÓLEO EM ÁGUAS PROFUNDAS**: Uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore. Brasil: Ipea, 2013. 424 p.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de Pinus

oocarpa parte I: Estudo dos constituintes macroelementares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 29, p.461-470, abr. 2005.

MORTIMER, E. F. **Coleção explorando o ensino: Química**. 5. ed. Brasília: Mec, 2006. 225 p.

MOTA, C. J. A.; MONTEIRO, R. S. Química e sustentabilidade: Novas Fronteiras em biocombustíveis. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 10, set. 2013. p.1483-1490.

MOTA, C. J. A.; PESTANA, C. F. M. Co-produtos da Produção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 3(5): 416-425, 2011.

MOTA, C. J.A.; GONÇALVES, V.; SILVA, C. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, mar 2009. p.639-648.

NEVES, L. A. C.; DALAQUA, R. H. De Estocolmo72 à Rio+20: uma análise sobre a atuação brasileira nas principais conferências internacionais sobre meio ambiente e desenvolvimento. In: KNIRSCH, Thomas. **Caminhos para a sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2012. p. 13-29.

NEVES, L. C. M. **Obtenção da enzima glicose 6-fosfato desidrogenase utilizando ‘Saccharomyces cerevisiae’ W303-181**. Dissertação de mestrado (Tecnologia de Fermentações) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 2003.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T.; BARNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 30, n. 11, p. 973-982, 2006.

PAKARINEN, O. **Methane and hydrogen production from crop biomass through anaerobic digestion**. Jyväskey: Jyväskeylä Studies In Biological And Environmental Science, 2011. 153 p.

PANDEY, P. K.; SOUPIR, M. L.. Escherichia coli inactivation kinetics in anaerobic digestion of dairy manure under moderate, mesophilic and thermophilic temperatures. **Springer: AMB**, Iowa/usa, v. 18, n. 1, jan. 2011. p.1-10.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.; GHOSAL, G. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, v. 84, n. 5, p. 487-494. 2005.

PAULA E SILVA, E. M.; SAKATSUME, F. The brazilian biofuels policy: Public policies: The brazilian agriculture and agro-energy polices. Agência brasileira de desenvolvimento industrial. **Workshop a expansão da agro-energia e seus impactos sobre os ecossistemas brasileiros**. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.

PECORA, V. et al. Biogás e o mercado de créditos de carbono. **Rio Oil & Gas**. Rio de Janeiro, Ibp, 2008. p. 1-5.

PINHEIRO, R.M.; VIEIRA, C.M.F.; RODRIGUEZ, R.S.; MONTEIRO, S.N. Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, v. 13, n. 1, 2008. p. 220 – 227.

PROTÁSIO, T. P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Brazilian Journal Of Forestry Research**, Colombo, v. 31, n. 66, p.113-122, jun. 2011.

PROTÁSIO, T. P. et al. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p.433-439, jul. 2012.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n.89. abr. 2005, p. 100-106.

QUIRINO, W.F. et al. Densimetria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

QUISPE, C. A. G. et al. Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. **Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews**, São Paulo, v. 27, n. 1, p.475-493, nov. 2013. Volume 27, November 2013, Pages 475–490.

R. M. S. NAVARRO; F. M. S. NAVARRO; TAMBOURGI, E. B. Estudo de diferentes processos de obtenção da pasta celulósica para fabricação de papel. **Revista Ciências & Tecnologia**, Pernambuco, v. 1, n. 1, p.1-5, dez. 2007.

RICHTER, K.; GESCHER, J. Accelerated glycerol fermentation in Escherichia coli using methanogenic formate consumption. **Elsevier: Bioresource Technology**, Germany, v. 162, n. 1, p.389-391, abr. 2014.

RIVALDI, J. D. et al. Estratégias biotecnológicas para o aproveitamento do glicerol gerado da produção de biodiesel. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, 2008. v. 37, p. 44-51.

RIVALDI, J. D. et al. Metabolism of biodiesel-derived glycerol in probiotic Lactobacillus strains. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 1, p. 1-1, 2013.

ROYA, B. Biogás: Uma energia limpa. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 13, p.142-149, maio 2011.

SAMPAIO, C. A. P.; NÄÄS, I. A.; SALGADO, D. D. Amônia, gás sulfídrico, metano e monóxido de carbono na produção de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 2, mar. 2007. p.156-164.

SCHIRMER, W. N.; GAUER, M. A. Os biocombustíveis no Brasil: panorama atual, emissões gasosas e os métodos analíticos de monitoramento da qualidade do ar referente a gases de natureza orgânica. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 1, 28 fev. 2012. p.157-175.

SEADI, T. A. et al. **Biogas: handbook**. Esbjerg: University Of Southern Denmark, 2008. 126 p.

SEQUINEL, R. **Caracterização físico-química da glicerina proveniente de usinas de biodiesel e determinação de metanol residual por CG com amostragem por Headspace estático**. 2013. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Química, Campus de Araraquara, Unesp, Araraquara, 2013.

SILVA, G. P.; MACK, M.; CONTIERO, J. Glycerol: A promising and abundant carbon source for industrial microbiology. **Elsevier: Biotechnology Advances**, Germany, v. 27, n. 1, p.30-39, ago. 2008.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Spectrometric identification of organic compounds**. 7. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 2005. 550 p.

SOUSA, T. A.; HABIBE, A.; MULINARI, D. Caracterização das fibras da palmeira e do resíduo de fundição para produção de briquetes. **Cadernos UniFOA**, v. junho/2012, p. 61-67, 2012.

SOUZA, C. S. et al. A strategy to compare yeast strains and improve cell survival in ethanol production processes above 30 °C. **Communicating Research and educational topics and trends in applied microbiology**, 2007.

SUZANO. **Relatório de Sustentabilidade**. São Paulo: Suzano Papel e Celulose, 2009. 136 p.

SWINNEN, S. et al. Re-evaluation of glycerol utilization in *Saccharomyces cerevisiae*: characterization of an isolate that grows on glycerol without supporting supplements. **Biotechnology For Biofuels**, Bremen, v. 1, n. 6, jan. 2013. p.1-12.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. **International Journal Of Molecular Sciences**, Sweden, v. 9, n. 1, p.1621-1651, set. 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 596 p.

TALUKDER, A. A.; ISHIHAMA, A. Dps Is a Stationary Phase-Specific Protein of *Escherichia coli* Nucleoid. Scientific Research: **Advances in Microbiology**, Tokyo, v. 4, n. 1, p.1095-1104, nov. 2014.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Brasil: Interciência, 2004. 272 p.

THOMPSON, J. C.; HE, B. B. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 22, n. 2, p. 261-265, 2006.

TIANFENG, Cai et al. Purification of crude glycerol from waste cooking oil based biodiesel production by orthogonal test method. **China Petroleum Processing And Petrochemical Technology**, CN, v. 15, n. 1, p.48-53, mar. 2013.

TOMEN, Flavia Elaine. **Produção de gás hidrogênio com aço inoxidável 254 em ácido fórmico, glicerina e íons OH⁻**. 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Unicentro, Guarapuava, 2014

TORRES, V. S. et al. Influence of *Escherichia coli* hydrogenases on hydrogen fermentation from glycerol. **Elsevier: International Journal of Hydrogen Energy**, Japan, v. 38, n. 10, p.3905-3912, abr. 2013.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 10. ed. Porto Alegre, Artmed, 2012. 920 p.

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. **Microbiologia**. 4ª Edição São Paulo: Atheneu, 2008, 665 p.

TSAVKELOVA, E. A. et al. Biogas production by microbial communities via decomposition of cellulose and food waste. **Applied Biochemistry And Microbiology**, Moscow, v. 48, n. 4, p.417-424, maio 2011.

UN, UNITED NATIONS (Org.). **Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers**. Usa: Un - Energy, 2007. 64 p.

UNFCCC, UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Lima Climate Change Conference - December 2014**. Disponível em: <http://unfccc.int/meetings/lima_dec_2014/meeting/8141.php>. Acesso em: 20 dez. 2014.

ÚNICA, UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR. **Produção e uso do Etanol combustível no Brasil**. São Paulo: Unica, 2007. 70 p.

US, UNITED STATES CONGRESS, OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. **Technologies for Reducing Dioxin in the Manufacture of Bleached Wood Pulp**. Washington, Dc: Princeton - U.S. Government Printing Office, 1989. 79 p.

VAN ELK, A. G. H. P. **Redução de emissões na disposição final de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007 40 p.

VAN HAANDEL, A. C.; BARBOSA, C. R.; CETREL S. A.. **Processo e sistema de produção de biogás a partir da biomassa vegetal**. BR nº PI1102153-5A2, 11 maio 2011, 25 jun. 2013. INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

VICTOR, R. et al. Augmentative invention of biogas from the agronomic wastes using facultative anaerobic bacterial strain. **International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences**, Tamil Nadu, v. 3, n. 4, p.556-564, maio 2014.

VIEIRA, R. S. Rio+20 - Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento: contexto, principais temas e expectativas em relação ao novo “direito da sustentabilidade”. **Novos Estudos Jurídicos**, v. 17, n. 1, p. 48-69, abr. 2012.

VLASSOV, D. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: Editora UFPR. 2001.

WEC, WORLD ENERGY COUNCIL. **Biofuels: Policies, Standards and Technologies**. London - Uk: Wec, 2014. 468 p.

WILLEY, J. M.; SHERWOOD, L. WOOLVERTON, C. J. Prescott, Harley, and Klein's Microbiology. 7. ed. United States: **Mcgraw-hill Higher Education**, 2008. 1088 p.

YAZDANI, S. S.; GONZALEZ, R. Anaerobic fermentation of glycerol: A path to economic viability for the biofuels industry. **Elsevier**: Current opinion in biotechnology, Houston, v. 02, n. 18, maio, 2007. p.213-219, 25.

ZATTAR, M. M. **Probiogás**: Guia prático do biogás - Geração e utilização. 5. ed. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe - Fnr, 2010.

ANEXOS

Anexo I - Curriculum Vitae – Henrique Wedderhoff Herrmann

Dados Pessoais

Nome Henrique Wedderhoff Herrmann
Nascimento 27/09/1991 – Londrina/PR - Brasil

Formação Acadêmica/Titulação

- 2013 - 2015** Mestrado em Bioenergia. Bolsista Capes.
 Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava, Brasil
 Título: Produção de biogás a partir da fermentação anaeróbica de resíduos da indústria madeireira e do biodiesel
 Orientador: Paulo Rogério Pinto Rodrigues
- 2009 - 2012** Graduação em Ciências Biológicas.
 Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO, Guarapuava, Brasil
 Título: Análise dos possíveis gases emitidos na transformação biológica da glicerina
 Orientador (a): Cynthia Beatriz Fürstenberger

Produção em C, T & A **Produção bibliográfica**

Artigos completos aceitos para publicação em periódicos

1. Artigo aceito na Revista Tecnológica, título “Produção de etanol a partir da fermentação de resíduos industriais”. No prelo: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol>. 2015.

Autoria em capítulo de livro

1. Capítulo do Livro: “Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments”, sob ISBN-13: 978-84-939843-7-3, editor: Formatex Research Center, publicado no ano de 2013. Capítulo: Analysis of gases released in the glycerin microbiological fermentation in dextrose medium. p. 202-205.
2. Capítulo do Livro: “Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments”, sob ISBN-13: 978-84-939843-7-3, editor: Formatex Research Center, publicado no ano de 2013. Capítulo: Microbiological fermentation of glycerol to obtain alcohol in tryptose culture medium. p. 297-301.

Capítulos de livros aceitos para publicação

1. Capítulo aceito no Livro Advances in Materials Science and Engineering: Biomass-Based Materials and Technologies for Energy, título “Industrial residue used to generate energy”. No prelo: <http://www.emr2015.org/files/EMR2015-Book-Abstracts.pdf/>. 2015.

2. Capítulo aceito no Livro: “Materials and technologies for energy efficiency”, 1 ed. Editor: Formatex Research Center. Capítulo: Microbiological Corrosion of Stainless Steel AISI 304 in Fuel and Biofuel. No prelo: <http://www.emr2015.org/files/EMR2015-Book-Abstracts.pdf/>. 2015.

Trabalhos completos publicados em anais de eventos (nacionais e internacionais)

1. Trabalho exposto no 8º Congresso Internacional de Bioenergia -SP, sob o título “Obtenção de metano a partir da fermentação do glicerol”, novembro/2013.
2. Trabalho exposto no 8º Congresso Internacional de Bioenergia - SP, sob o título “Produção de etanol a partir da fermentação do glicerol por *Escherichia coli*”, novembro/2013.
3. Trabalho exposto no 8º Congresso Internacional de Bioenergia - SP, sob o título “Produção de biogás a partir da fermentação do lodo residual de uma indústria de papel cartão”, novembro/2013.
4. Trabalho apresentado no 8º Congresso Internacional de Bioenergia - SP, sob o título “Determinação da corrosão do aço carbono SAE 1010 exposto a biodiesel na ausência e presença de *E. coli*”, novembro/2013.
5. Trabalho exposto no 5th Internacional Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorization - RJ, sob o título “Production of methane by the fermentation of glycerine and waste of pulp and paper industry”, agosto/2014.
6. Trabalho exposto no 5th Internacional Conference on Engineering for Waste and Biomass Valorization - RJ, sob o título “Fermentation of glycerine and waste of pulp and paper industry for ethanol production”, agosto/2014.
7. Trabalho exposto no II Simpósio de Bioenergia e Biocombustíveis do Mercosul, sob o título “Reaproveitamento de resíduos industriais para fins bioenergéticos”, setembro/2014.
8. Trabalho apresentado no II Simpósio de Bioenergia e Biocombustíveis do Mercosul, sob o título “Produção de etanol a partir da fermentação de resíduos industriais”, setembro/2014.
9. Trabalho exposto no II Simpósio de Bioenergia e Biocombustíveis do Mercosul, sob o título “Aplicação de antioxidantes provenientes do resíduo da malteação em biodiesel”, setembro/2014.
10. Trabalho apresentado na XIX Semana de Iniciação Científica, com o título: “Produção de gás hidrogênio através da transformação biológica da glicerina utilizando resíduos da indústria de papel e celulose como substrato”, setembro/2014.
11. Trabalho apresentado no XXIII Encontro Anual de Iniciação Científica EAIC, com o título: “Produção de biogás a partir da fermentação aeróbica do glicerol e de resíduos orgânicos de indústria de papel e celulose”, outubro/2014.
12. Trabalho apresentado no II Congresso do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, II CONSEAG, com o título: “Transformação microbiológica do glicerol e de resíduos da indústria de papel e celulose para obtenção de metano”, novembro/2014.

Resumos publicados em anais de eventos (nacionais e internacionais)

1. Trabalho exposto em Energy & Materials Research Conference - Madrid, sob o título "Using of industrial waste for power generation", fevereiro/2015.
2. Trabalho exposto em Energy & Materials Research Conference - Madrid, sob o título "Microbiological Corrosion of Stainless Steel AISI 304 in Fuel and Biofuel", fevereiro/2015.