



MONITORAMENTO DO PERFIL DA
PESQUISA CIENTÍFICA SOBRE
BIODIESEL DE MICROALGAS E
BACTÉRIAS

Alice Borges Silva

Monografia em Engenharia de Bioprocessos

Orientadores

Prof. Élcio Ribeiro Borges, D.Sc.

Prof. Juliana Cunha da Cruz, M.Sc.

Julho de 2015

MONITORAMENTO DO PERFIL DA PESQUISA CIENTÍFICA SOBRE BIODIESEL DE MICROALGAS E BACTÉRIAS

Alice Borges Silva

Monografia submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Bioprocessos.

Aprovado por:

Orientado por:

Élcio Ribeiro Borges, D.Sc

Juliana Cunha da Cruz, M.Sc

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Julho de 2015

Silva, Alice Borges.

Monitoramento do perfil da pesquisa científica sobre biodiesel de microalgas e bactérias/ Alice Borges Silva. Rio de Janeiro, UFRJ/EQ, 2015

xi, 54 páginas p.;il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola de Química, 2015

Orientadores: Élcio Ribeiro Borges e Juliana Cunha da Cruz

1. Biodiesel. 2. Produção Científica. 3. Bibliometria. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5.Élcio Ribeiro Borges e Juliana Cunha da Cruz. I. Monitoramento do perfil da pesquisa científica sobre biodiesel de microalgas e bactérias.

Dedico este trabalho à toda minha família
e ao meu namorado, que estiveram comigo
em todos os momentos ao longo dessa caminhada.

Alice

Agradecimentos

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pois sem Ele não seria possível realizar meus sonhos e chegar onde cheguei.

Agradeço aos meus pais, que se sacrificaram tantas vezes para que eu conseguisse alcançar meus objetivos. Além de todo o amor, carinho e apoio quando mais precisei.

Agradeço ao meu irmão, Daniel, que sempre respeitou meus horários de estudo, além de me ajudar e ter sempre uma palavra de conforto nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao meu namorado, Guto, que sempre me apoiou e me deu forças para continuar mesmo quando parecia impossível. Além de entender minhas ausências em alguns momentos.

Agradeço a toda minha família, avós, tios, tias, primos e primas, pelo carinho e incentivo sempre.

Agradeço a todos os professores, que ao transmitirem seus conhecimentos me ajudaram a concluir essa etapa na vida acadêmica. Em especial a Ju e o Élcio que tão bem me orientaram e me apoiaram para que eu conseguisse terminar esse trabalho.

Agradeço aos meus amigos, que de longe ou perto, sempre me apoiaram e me proporcionaram momentos de distração. Aos da EQ, a caminhada tornou-se menos complicada com vocês diariamente ao meu lado. Aos de fora da faculdade, obrigada por entenderem a minha ausência e sempre torcerem por mim.

Resumo da Monografia apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro de Bioprocessos.

MONITORAMENTO DO PERFIL DA PESQUISA CIENTÍFICA SOBRE BIODIESEL DE MICROALGAS E BACTÉRIAS

Alice Borges Silva

Julho, 2015

Orientadores: Prof. Élcio Ribeiro Borges, D. Sc.

Prof. Juliana Cunha da Cruz, M. Sc.

Grande parte da energia consumida no mundo é destinada ao transporte, porém os principais combustíveis utilizados são de origem fóssil. Devido ao apelo ambiental e a variação no preço do petróleo, sendo no Brasil, por exemplo, bastante alto, tem-se buscado fontes alternativas de combustível. Como o Brasil possui clima favorável, grande disponibilidade de biomassa e terras férteis, se torna um grande promissor para a produção de biocombustíveis. Para investir nessas novas tecnologias de combustível renovável, é necessário analisar como elas estão se desenvolvendo. Portanto, no presente trabalho, foi estudada a evolução da produção científica de biodiesel a partir de microalgas e bactérias por ser uma tecnologia recente e promissora. Para isso, a bibliometria é um método interessante de monitoramento das pesquisas científicas, visto que ao mostrar como os estudos sobre determinada tecnologia estão evoluindo, facilita o processo de tomada de decisão fundamental para novos investimentos. Tal método foi aplicado utilizando a base de dados Web of Science®, que se baseia na busca de palavras-chave, no caso biodiesel e bactéria ou microalgae. Assim, notou-se que o número de publicações tem aumentado ao longo dos anos, o que mostra um interesse crescente nas pesquisas sobre essa tecnologia. Além de comprovar que é uma tecnologia muito recente, visto que as primeiras publicações surgiram em 1994 e a maioria das

publicações abordarem o tratamento da matéria-prima, tendo como foco o início do processo de produção.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| Capítulo 1 – Introdução..... | 12 |
| Capítulo 2 – Objetivos | 14 |
| Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica..... | 15 |
| 3.1 – Matriz Brasileira de Combustíveis Veiculares..... | 15 |
| 3.2 – Biomassa residual..... | 17 |
| 3.3 - Biocombustíveis..... | 18 |
| 3.3.1 - Biodiesel..... | 18 |
| 3.3.1.1 - Matérias Primas..... | 21 |
| 3.3.1.2 – Propriedades | 26 |
| 3.3.1.3 – Mercado e Histórico..... | 28 |
| 3.3.1.3.1 - Brasil | 29 |
| 3.3.1.3.2 - Mundo | 31 |
| 3.3.1.4 - Impactos ambientais | 31 |
| 3.3.1.5 - Impactos econômicos | 32 |
| 3.3.1.6 – Vantagens..... | 32 |
| 3.3.1.7 - Desvantagens..... | 33 |
| 3.4 – Bibliometria..... | 33 |
| Capítulo 4 –Metodologia..... | 35 |
| Capítulo 5 – Resultados e Discussão | 39 |
| 5.1 – Perfil Temporal das Publicações | 40 |
| 5.2 – Perfil de Publicações sobre Biodiesel de Microalgas e Bactérias | 42 |
| 5.3 – Perfil de Publicações sobre Biodiesel de Microalgas e Bactérias por Ano | 43 |
| 5.4 – Perfil de Publicações por País | 44 |
| 5.5 – Perfil de Publicações por Região..... | 47 |
| 5.6 – Perfil de Publicações por Origem..... | 48 |
| 5.7 – Perfil de Publicações pelo Foco da Pesquisa | 51 |
| Capítulo 6 – Conclusão | 57 |
| Referências Bibliográficas | 59 |
| Anexo 1 | 63 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1: Matriz brasileira de combustíveis veiculares em 2013. Fonte: SUPERINTENDÊNCIA DE ABASTECIMENTO, 2014 | 16 |
| Figura 3.2: Cronograma dos teores de biodiesel. Fonte: BODIESELBR, 2014 | 30 |
| Figura 4.1: Pesquisa avançada na base de dados WoS. | 37 |
| Figura 4.2: Operadores boolianos e rótulos do campo na base de dados WoS. | 37 |
| Figura 4.3: Ferramentas de busca da pesquisa avançada na base de dados WoS..... | 38 |
| Figura 4.4: Resultado da pesquisa na base de dados WoS..... | 39 |
| Figura 5.1: Perfil de publicações por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014 | 40 |
| Figura 5.2: Perfil do número de publicações sobre biodiesel de microalgas, bactérias e ambos. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014..... | 42 |
| Figura 5.3: Perfil de publicações sobre biodiesel de microalgas e bactérias por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014..... | 43 |
| Figura 5.4: Perfil de publicações sobre biodiesel de microalgas por ano com linha de tendência. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014..... | 44 |
| Figura 5.5: Perfil de publicações por país. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014 | 45 |
| Figura 5.6: Perfil de publicações dos EUA por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, | |

| | |
|---|----|
| bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014..... | 46 |
| Figura 5.7: Perfil de publicações da China por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014..... | 46 |
| Figura 5.8: Perfil de publicações por região. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014 | 47 |
| Figura 5.9: Perfil de publicações por origem. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014 | 48 |
| Figura 5.10: Perfil de publicações pelo foco da pesquisa. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014..... | 52 |
| Figura 5.11: Perfil de publicações pelo foco da pesquisa por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014..... | 53 |
| Figura 5.12: Perfil de publicações pelo foco da pesquisa por país. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014..... | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1: Consumo do biodiesel no Brasil por setor. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2014..... | 17 |
| Tabela 3.2: Padrões de qualidade do biodiesel de acordo com a especificação ASTM D6751. Fonte: LÔBO et al, 2009..... | 20 |
| Tabela 3.3: Origens do biodiesel no Brasil. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2014 | 21 |
| Tabela 3.4: Comparação do rendimento de óleo de fontes vegetais e microbianas de biodiesel. Fonte: CHISTI, 2007..... | 26 |
| Tabela 3.5: Especificações do biodiesel. Fonte: ANP, 2014..... | 27 |
| Tabela 3.6: Ponto de entupimento de filtro a frio. Fonte: ANP, 2014..... | 28 |
| Tabela 5.1: Empresas que publicaram artigos por país..... | 49 |
| Tabela 5.2: Centros de pesquisa que publicaram artigos por país..... | 51 |
| Tabela 5.3: Informações dos artigos sobre biodiesel a partir de bactéria. | 56 |
| Tabela 5.4: Informações do artigo sobre biodiesel a partir de bactéria e microalgas simultaneamente. | 56 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRII – Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ARS – Agricultural Research Service
ASTM - American Society for Testing and Materials
B2 – Mistura de diesel com 2% de biodiesel
B5 – Mistura de diesel com 5% de biodiesel
B20 – Mistura de diesel com 20% de biodiesel
B100 – Biodiesel puro
CAEP – China Academic Engineering Physics
CEA - Commissariat à l'Énergie Atomique et Aux énergies alternatives
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Gás Carbônico
CSIC – Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
EN (CEN) - Comité Européen de Normalisation
EUA – Estados Unidos da América
HPAs – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
INRA – Institut National de la Recherche Agronomique
IROST – Iranian Research Organization for Science and Technology
ISI - Institute for Scientific Information
ISO - International Organization for Standardization
ITM CNR – Istituto per la Tecnologia delle Membrane Consiglio Nazionale delle Ricerche
KRIBB - Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology
LII - Límpido e Isento de Impurezas
LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NO_x – Óxidos de Nitrogênio
OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo

OVEG - Programa de Óleos Vegetais

PHA - Poli-Hidroxi-Alcanoato

SCI-EXPANDED - Science Citation Index Expanded

SO₂ – Dióxido de Enxofre

TAG – Triacilglicerol

TI – Título

TS - Tópico

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

WoS – Web of Science

Capítulo 1 – Introdução

A sociedade apresenta grande dependência de fontes abundantes de energia e de baixo custo para o seu desenvolvimento. Porém os padrões de produção e consumo de energia atuais estão fortemente baseados no emprego de combustíveis fósseis. Mesmo com as recentes descobertas de reserva de petróleo, como o pré-sal no Brasil, tais combustíveis são fontes finitas de energia, por não serem renováveis e suas maiores reservas estão em regiões conturbadas, o que faz com que os preços variem constantemente (OLIVEIRA et al, 2008). Além disso, o uso de combustíveis fósseis causa impactos ambientais preocupantes, como a emissão de gases do efeito estufa e os problemas resultantes de vazamentos de petróleo, como a morte da vida animal e vegetal do ecossistema afetado. Devido à crescente preocupação com o meio ambiente e aos diversos problemas do uso de combustível fóssil além das questões econômicas, os governos têm criado legislações ambientais mais rígidas, com isso, a busca por alternativas de fonte de energia ganha destaque.

Essa dependência de energia é claramente notada no setor de transportes, em que se destaca o uso de gasolina e diesel. Então no caso específico de combustíveis líquidos para veículos automotores, surgiram os biocombustíveis como alternativa aos combustíveis fósseis, tais como o etanol e o biodiesel.

Daí a importância dos bioprocessos, que são processos que utilizam organismos vivos ou partes destes para o desenvolvimento de produtos. Processos microbianos, enzimáticos e celulares são desenvolvidos da escala laboratorial para a escala industrial. Esses processos podem então serem utilizados para a produção de produtos de alto valor agregado, como produtos farmacêuticos, enzimas e biocombustíveis (GENOMIC GLOSSARIES). Tais bioprocessos possibilitam o controle e atuação responsável dentro dos princípios das tecnologias mais limpas, respeitando as políticas ambientais e contribuindo na construção de um setor industrial mais sustentável. Muitos bioprocessos são baseados no uso de recursos renováveis, resíduos e processos de produção que geram menos impacto para a sociedade e o meio ambiente.

Os biocombustíveis são combustíveis derivados de biomassa renovável, como o biodiesel, que é obtido a partir de óleos e gorduras. Dentre as matérias-primas utilizadas estão os óleos vegetais, a gordura animal, os óleos e gorduras residuais e as microalgas e bactérias.

Para a produção de biodiesel, é utilizado principalmente a reação de

transesterificação do óleo pela ação de um catalisador, utilizando um álcool, que pode ser o metanol ou o etanol. Esse combustível alternativo apresenta como vantagens ser uma fonte de energia renovável, biodegradável, não tóxica e menos poluente comparado com combustíveis fósseis e pode ser usada em motores do ciclo diesel sem grandes modificações.

Porém, apresenta também problemas importantes, como o aumento nas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e de monóxido de carbono (CO), além da geração de grande quantidade de glicerina como subproduto.

No entanto, esse subproduto pode ser utilizado também como fonte de carbono para o crescimento de microalgas e bactérias, o que diminui os custos de produção de biodiesel a partir dessas fontes e minimiza os problemas ambientais causados pela produção.

Existem diversas vantagens no uso de microalgas e bactérias. As microalgas podem capturar CO₂ e produzir biomassa. Já as bactérias apresentam um rápido crescimento, não competem com alimentos e seu cultivo é de baixo custo, o que torna seus óleos muito vantajosos para a produção de biodiesel.

Nesse contexto de busca por fontes alternativas de energia, como o biodiesel a partir de microalgas e bactérias, a análise da produção científica torna-se essencial, visto que possibilita o conhecimento de como os estudos sobre biodiesel de microrganismos estão se desenvolvendo, diminuindo as incertezas e riscos futuros e facilitando a tomada de decisão.

Dentre os métodos de avaliação da evolução da produção científica, a bibliometria é eficiente, visto que permite uma análise estatística para avaliar a geração de novas tecnologias, determinando as tendências científicas.

Capítulo 2 – Objetivos

Este estudo tem por objetivo analisar o desenvolvimento da produção científica de biodiesel a partir de microalgas e bactérias, identificando o perfil da pesquisa e o avanço da tecnologia.

Objetivos específicos:

- Caracterizar o perfil temporal dos estudos científicos;
- Localizar os países onde há maior interesse no desenvolvimento da tecnologia de biodiesel a partir de microrganismos;
- Identificar quando houve publicações de universidades, centros de pesquisa e empresas;
- Apresentar o foco da pesquisa atual sobre biodiesel de microalgas e bactérias.

Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica

3.1 – Matriz Brasileira de Combustíveis Veiculares

O Brasil possui uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, correspondendo a aproximadamente 79% do total (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014). Destaca-se, por exemplo, a geração por hidroelétricas. No entanto, no que se refere à matriz brasileira de combustíveis veiculares, a realidade não é a mesma.

Os combustíveis fósseis, como a gasolina utilizada nos veículos de pequeno porte e o diesel utilizado em veículos de transporte de carga dominam a matriz de combustíveis. Porém, por serem recursos finitos (provenientes de fonte não renovável) e da crescente preocupação ambiental, surgiu a necessidade da busca por combustíveis de fontes renováveis, escopo no qual se enquadram os biocombustíveis.

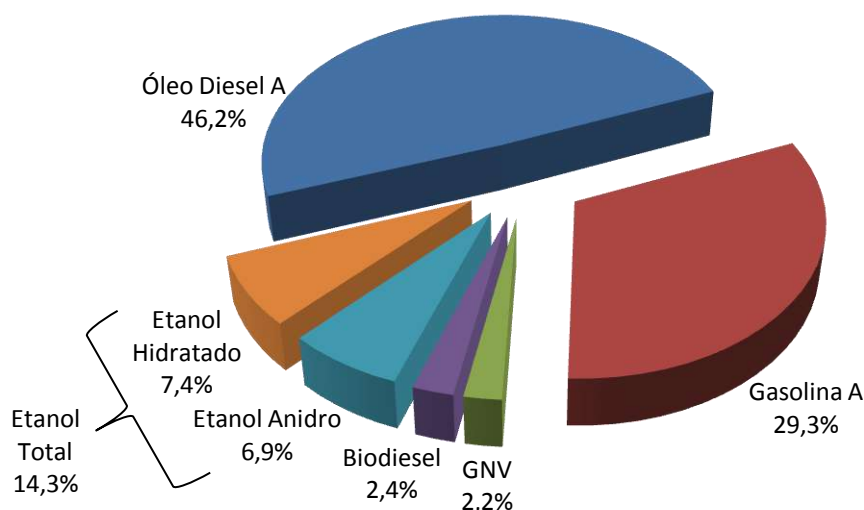
Embora predominantemente baseada em combustíveis fósseis, o Brasil destaca-se em termos de combustíveis veiculares pelo emprego, a várias décadas, do etanol, um biocombustível. O uso de etanol restringe-se a veículos leves, e já enfrentou diversos problemas de ordem técnica, econômica e política. Atualmente, o etanol voltou ao mercado através dos veículos que aceitam dois combustíveis simultaneamente (gasolina e/ou etanol), os chamados flex. Porém, na prática, o consumo de etanol somente cresce quando o preço da gasolina se eleva. Ressalta-se ainda que a gasolina vendida no país já conta com etanol na mistura, fazendo com que esse combustível seja usado de modo crescente no país (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, 2015). Enquanto o etanol mostra-se hoje uma solução tecnicamente adequada para veículos leves, igual evolução ainda não foi alcançada para o transporte de carga em caminhões de grande porte. O emprego do etanol nestes veículos ainda não superou todas as limitações. Deste modo, para a substituição do óleo diesel em ônibus e caminhão, surgiu o biodiesel.

Em resumo, no setor de transportes, para um consumo total de 83,2 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) no ano de 2013, 46,2% são de óleo diesel, 29,3% de gasolina, 14,3% de etanol e apenas 2,4% de biodiesel (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014). Como é mostrado na Figura 3.1, a matriz de consumo de combustíveis veiculares no Brasil é predominante de combustíveis fósseis. Destaca-se,

na figura, o papel do diesel. Este cenário reflete, em grande parte, a escolha pelo modal rodoviário como meio de transporte de carga – promovendo elevado consumo de diesel. Cresce assim a procura por soluções sustentáveis que atendam esta demanda.

Simultaneamente, devido à grande diversidade de espécies oleaginosas existentes no Brasil, a produção de biodiesel a partir de diferentes óleos vegetais, além de óleos de frituras e sebos bovinos, tem potencial de crescimento (SILVA, 2010). Deve-se, assim, considerar o biodiesel como uma opção, ou complemento, para o diesel.

Em 2013, o biodiesel produzido no país atingiu 2.917.488 m³, enquanto no ano de 2012 a produção foi de 2.717.483 m³. Assim, notou-se um acréscimo de 7,4% no volume de biodiesel disponibilizado no mercado interno. Neste mesmo ano, a principal matéria-prima utilizada foi o óleo de soja (68,6%), seguida do sebo bovino (17,3%) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014).



Obs.: Óleo diesel A é produzido nas refinarias sem adição de biodiesel
Gasolina A é a que não recebeu nenhum aditivo

Figura 3.1: Matriz brasileira de combustíveis veiculares em 2013. Fonte: SUPERINTENDÊNCIA DE ABASTECIMENTO, 2014

Considerando a produção de biodiesel no Brasil e seu consumo por áreas, têm-se os dados da oferta e da demanda ao longo dos anos na Tabela 3.1. O setor Transformação compreende todos os centros de transformação em que a biomassa que entra (com sinal negativo) se transforma em biodiesel (com sinal positivo) com as perdas equivalentes. O setor Perdas indica as perdas ocorridas durante a produção,

transporte, distribuição e armazenamento de biodiesel. O setor Ajustes compatibiliza os dados de oferta e consumo de biodiesel proveniente de fontes diferentes. No Consumo Final, têm-se os setores de atividade socioeconômica para os quais o biodiesel é destinado. O Consumo Final Energético compreende o consumo final dos setores comercial, público, agropecuário, transportes e industrial.

Tabela 3.1: Consumo do biodiesel no Brasil por setor. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2014

| Fluxo (10 ³ m ³) | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Produção | 0 | 1 | 69 | 404 | 1.167 | 1.608 | 2.397 | 2.673 | 2.717 | 2.917 |
| Varição de Estoques, Perdas e Ajustes | 0 | 0 | 0 | 0 | -46 | -50 | -51 | -126 | 36 | -33 |
| Consumo Total | 0 | 1 | 69 | 404 | 1.121 | 1.558 | 2.347 | 2.547 | 2.754 | 2.885 |
| Transformação ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 70 | 121 | 55 | 121 | 105 |
| Consumo Final ² | 0 | 1 | 69 | 404 | 1.067 | 1.489 | 2.226 | 2.492 | 2.632 | 2.780 |
| Consumo Final Energético ³ | 0 | 1 | 69 | 404 | 1.067 | 1.489 | 2.226 | 2.492 | 2.632 | 2.780 |
| Comercial | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Público | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Agropecuário | 0 | 0 | 0 | 0 | 164 | 226 | 323 | 334 | 347 | 347 |
| Transportes ⁴ | 0 | 1 | 69 | 404 | 876 | 1.228 | 1.864 | 2.098 | 2.222 | 2.364 |
| Rodoviário | 0 | 1 | 68 | 396 | 858 | 1.202 | 1.825 | 2.039 | 2.161 | 2.304 |
| Ferrovário | 0 | 0 | 1 | 8 | 18 | 26 | 39 | 59 | 61 | 60 |
| Industrial | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 29 | 36 | 59 | 62 | 68 |
| Cimento | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Ferro-gusa e Aço | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Mineração e Pelotização | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 9 | 15 | 22 | 23 | 23 |
| Química | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Alimentos e Bebidas | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 8 | 11 | 12 | 15 |
| Têxtil | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Papel e Celulose | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 7 | 7 | 8 |
| Cerâmica | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| Outros | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 8 | 11 | 11 | 12 |

¹ Geração de eletricidade.

² A partir de 2008 a mistura de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel passou a ser obrigatória. Entre janeiro e junho de 2008 a mistura foi de 2%, entre julho de 2008 e junho de 2009 foi de 3% e entre julho e dezembro de 2009 foi de 4%.

³ Admitiu-se a hipótese de que antes de 2008 todo o consumo de biodiesel foi no setor transportes.

⁴ O óleo diesel para transporte hidroviário não contém biodiesel.

3.2 – Biomassa residual

Devido à preocupação ambiental e à busca por fontes alternativas de combustível, a biomassa tem ganhado destaque na geração de energia. Como fontes de biomassa destacam-se os resíduos de agricultura, como o bagaço e a palha da cana e cascas de

laranja; resíduos industriais, como lixos orgânicos; e resíduos urbanos, como dejetos e madeira (OMACHI et al, 2004).

Uma característica importante do uso de biomassa é que o excedente energético pode ser aproveitado nas usinas para gerar energia, além de poder contribuir ao sistema elétrico geral, gerando economia e até mesmo mais lucro ao produtor (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

A princípio, para a conversão de biomassa em energia, várias tecnologias podem ser utilizadas, como a mais simples combustão ou queima, obtendo energia elétrica. A geração de combustíveis líquidos, categoria em que se enquadra o biodiesel, é, porém, bem mais complexa.

No Brasil, as fontes de biomassa consideradas mais adequadas para a geração de combustíveis alternativos são em geral os óleos vegetais, especialmente devido à disponibilidade e às condições adequadas de cultivo (CANDEIA, 2008).

3.3 - Biocombustíveis

Conforme apresentado, os biocombustíveis são obtidos a partir de fontes renováveis que não tenham sofrido o processo de fossilização.

Pela definição técnica da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997,

“biocombustível é todo combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna; ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou, totalmente combustíveis de origem fóssil” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015).

Os biocombustíveis podem ser obtidos de plantas oleaginosas, como soja, palma, milho e mamona; de outras espécies vegetais, como a cana de açúcar; de microrganismos, como microalgas e bactérias; de biomassa florestal; além de lixo, dejetos animais e restos de comida.

Dentre os tipos de biocombustíveis existentes, destaca-se aqui o biodiesel.

3.3.1 - Biodiesel

Biodiesel é um combustível de fonte renovável e biodegradável obtido a partir de óleos vegetais, como dendê, soja e mamona, ou de bactérias e microalgas ou de gorduras animais ou de óleos e gorduras residuais.

Atendendo a especificação do Regulamento Técnico nº 4/2012 da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), define-se biodiesel como:

“um combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal”.

No processo de transesterificação, obtêm-se biodiesel (ésteres) e glicerina a partir da reação de triglicerídeos com um álcool (em geral metanol ou etanol), utilizando um catalisador ácido ou básico (BIODIESELBR, 2014).

Para a produção de biodiesel, alguns padrões devem ser respeitados, como a especificação internacional ASTM D6751 (BIODIESELBR, 2014) descrita na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Padrões de qualidade do biodiesel de acordo com a especificação ASTM D6751. Fonte:

LÔBO et al, 2009

| CARACTERÍSTICA | UNIDADE | EUA ASTM D6751 |
|---|-------------------------|----------------------------|
| Aspecto | --- | --- |
| Massa específica * | kg/m ³ | --- |
| Viscosidade cinemática a 40 °C * | mm ² /s | 1,9-6,0 |
| Água e sedimentos, máx. * | % volume | 0,05 |
| Ponto de fulgor, mín. * | °C | 130 |
| Destilação; 90% vol. recuperados, máx. * | °C | 360 |
| Resíduo de carbono, máx. * | % massa | Em 100% da amostra 0,05 |
| Cinzas sulfatadas, máx. * | % massa | --- |
| Enxofre total, máx. * | mg/kg | 15 |
| Corrosividade ao cobre, 3 h a 50 °C, máx. * | - | 3 |
| Número de cetanos * | - | 47 (mín.) |
| Ponto de entupimento de filtro a frio, máx. * | °C | --- |
| Ponto de fluidez (<i>pour point</i> - PP) * | °C | --- |
| Ponto de nuvem (<i>cloud point</i> -CP) * | °C | Registrar |
| Sódio + Potássio, máx | mg/kg | --- |
| Cálcio + Magnésio, máx | mg/kg | --- |
| Fósforo, máx | mg/kg | 10 |
| Contaminação total, máx | mg/kg | --- |
| Teor de éster, min. | % massa | --- |
| Índice de acidez, máx. | mg KOH/g | 0,5 |
| Glicerina livre, máx. | % massa | 0,02 |
| Glicerina total, máx. | % massa | 0,24 |
| Monoglicéridos | % massa | --- |
| Diglicéridos | % massa | --- |
| Triglicéridos | % massa | --- |
| Metanol ou Etanol, máx. | % massa | --- |
| Índice de iodo | g I ₂ /100 g | --- |
| Estabilidade à oxidação a 110 °C, mín | h | --- |
| Água, máx | mg/kg | 500 |
| Ácido linolênico | % massa | --- |
| Metil ésteres com mais que 4 insaturações | % massa | --- |

Uma característica importante do biodiesel é que, segundo CANDEIA (2008), em mistura com o óleo diesel, este pode ser utilizado em motores de ciclo diesel sem qualquer adaptação. Tais misturas seguem uma nomenclatura específica, em que o B indica a presença de biodiesel e o número à porcentagem de biodiesel. Como exemplo

tem-se B2, B5, B20 e B100 que correspondem, respectivamente, a 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel. O emprego destas misturas é muito frequente no Brasil, atualmente o B7 é a mistura utilizada (GUARIEIRO; RIBEIRO; PINTO).

3.3.1.1 - Matérias Primas

Detalhando a produção de biodiesel no Brasil em função das matérias-primas, têm-se os dados da Tabela 3.3, que indicam os balanços dos centros de transformação, em que a biomassa que entra (com sinal negativo) se transforma em biodiesel (com sinal positivo) considerando as perdas equivalentes.

Tabela 3.3: Origens do biodiesel no Brasil. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2014

| Identificação | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|------------------------------------|------|------|---------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Total de Insumos (m³) | 0 | -869 | -79.010 | -463.596 | -1.313.681 | -1.813.945 | -2.666.289 | -2.974.662 | -3.025.130 | -3.253.873 |
| Metanol | 0 | -133 | -9.998 | -57.495 | -136.043 | -199.111 | -278.650 | -301.890 | -305.233 | -332.867 |
| Óleo de soja | 0 | -226 | -65.764 | -353.233 | -967.326 | -1.250.590 | -1.980.346 | -2.171.113 | -2.105.334 | -2.231.464 |
| Óleo de palma | 0 | -510 | -2.431 | -3.821 | -2.728 | -5.209 | -3.201 | -1.748 | -5.230 | -9.990 |
| Óleo de algodão | 0 | 0 | 0 | -1.904 | -24.109 | -70.616 | -57.054 | -98.230 | -116.736 | -64.359 |
| Óleo de amendoim | 0 | 0 | 0 | 0 | -2.551 | -2.667 | -406 | -225 | 0 | 0 |
| Óleo de nabo forrageiro | 0 | 0 | 0 | -159 | 0 | -444 | -1.579 | 0 | 0 | -672 |
| Óleo de girassol | 0 | 0 | 0 | 0 | -1.125 | -4.127 | -171 | -420 | 0 | 0 |
| Óleo de mamona | 0 | 0 | 0 | -336 | -115 | -111 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Óleo de sésamo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -144 | 0 | 0 | 0 |
| Óleo de canola | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -501 | 0 |
| Sebo | 0 | 0 | -816 | -34.445 | -153.275 | -253.703 | -297.243 | -348.983 | -444.676 | -563.860 |
| Outros materiais graxos | 0 | 0 | 0 | -12.197 | -23.975 | -22.939 | -37.181 | -29.182 | -22.361 | -8.383 |
| Gordura de frango | 0 | 0 | 0 | 0 | -150 | -873 | -2.416 | -670 | -2.653 | -639 |
| Gordura de porco | 0 | 0 | 0 | 0 | -1.123 | -1.190 | -2.800 | -9.034 | -10.693 | -13.928 |
| Óleo de fritura usado | 0 | 0 | 0 | -6 | -1.160 | -2.366 | -5.099 | -13.168 | -11.713 | -27.711 |
| Produção de biodiesel (B100) (m³) | 0 | 736 | 69.002 | 404.329 | 1.167.128 | 1.608.448 | 2.386.399 | 2.672.760 | 2.717.483 | 2.917.488 |
| Total de insumos (tep) | 0 | -624 | -56.305 | -334.271 | -958.486 | -1.323.072 | -1.942.750 | -2.171.264 | -2.216.005 | -2.390.586 |
| Produção de biodiesel (B100) (tep) | 0 | 583 | 54.650 | 329.229 | 924.366 | 1.273.891 | 1.890.028 | 2.116.826 | 2.152.247 | 2.310.651 |
| Perdas | 0 | -41 | -1.655 | -14.042 | -34.121 | -49.181 | -52.722 | -54.438 | -63.758 | -79.935 |

a) Óleos vegetais

Todos os óleos vegetais considerados fixos, que não se evaporam totalmente quando expostos ao ar, podem ser utilizados para produzir biodiesel (BERGMANN et al, 2013). Como fontes desses óleos têm-se coco de dendê, pinhão-mansão, coco de babaçu, semente de girassol, canola, soja, mamona, nabo forrageiro, caroço de algodão e grão de amendoim (BERGMANN et al, 2013).

A seguir estão detalhadas algumas destas matérias-primas.

A soja é a oleaginosa mais plantada no Brasil. Por ano, são produzidas cerca de 60 milhões de toneladas. Com a ajuda do governo, a soja se consolidou e suas plantações atingiram dimensões praticamente continentais, sendo por isso a mais utilizada para produzir biodiesel, em torno de 80% da produção (BIODIESELBR, 2014). Porém, segundo BERGMANN et al (2013), a soja não é a matéria-prima ideal para o biodiesel, já que a semente possui apenas de 18-21% em massa de óleo.

O babaçu é encontrado ao sul da bacia amazônica, principalmente no Maranhão, Tocantins e Piauí. Possui alto teor de óleo, aproximadamente 65% em massa (BIODIESELBR, 2014). Porém não é muito utilizado como biodiesel, porque é altamente resistente, tornando sua ocorrência não controlada, o que gera um problema agrícola e conseqüentemente econômico (BIODIESELBR, 2014).

Neste contexto destaca-se a palma. Por ano, um hectare de palma pode produzir até 6 toneladas de óleo, isto é, 10 a 25 cachos, pesando entre 20 a 30 kg e produzindo de 1000 a 3000 frutos cada. (COSTA, 2007). O rendimento de óleo equivale a cerca de 3700 kg/hectare por ano, correspondendo de 5 a 10 vezes mais que qualquer outra produção de óleo vegetal. Comparativamente têm-se os rendimentos muito baixos do óleo de soja, com 389 kg/hectare, e do óleo de amendoim, com 857 kg/hectare. A palma é encontrada no Amazonas, Amapá, Bahia e Pará, sendo este último o maior produtor nacional de óleo de palma, concentrando 80% da plantação (BIODIESELBR, 2014). No entanto, o uso em biodiesel não é muito difundido no Brasil, pois além do grande uso na indústria alimentícia, o governo criou o Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma no Brasil para controlar a expansão da produção, visto que a produção de palma é responsável por grande parte do desmatamento. Com isso, o óleo de palma produzido no Brasil não é suficiente para suprir a demanda, sendo necessário importar (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2015).

Para a produção de biodiesel, o óleo de algodão apresenta como vantagem ser mais barato que o de soja e com praticamente a mesma disponibilidade. Por esse motivo, é a terceira matéria-prima mais empregada atualmente, perdendo apenas para a soja e o sebo animal (BIODIESELBR, 2014). Porém, gera um óleo mais impuro, tendo mais custos de pré-tratamento, além do baixo teor de óleo por caroço, entre 16% e 26% em massa (BIODIESELBR, 2014).

Da semente de mamona pode-se retirar o óleo que é o seu principal produto. Pode ser utilizada na produção de biodiesel, pois é resistente à seca e bem adaptada a quase todas as zonas tropicais e subtropicais. O uso da mamona na geração de biocombustível não concorre com o mercado alimentício, como no caso da soja. Pesquisas realizadas pela Embrapa indicaram um teor de óleo entre 43% e 49% em massa (PIRES et al, 2004). No entanto, o óleo de mamona não é muito utilizado em biodiesel, porque contém uma hidroxila que o torna muito viscoso, além de sua produtividade ser baixa (RIZZI et al, 2010).

O nabo forrageiro é uma planta com um crescimento inicial rápido e alta capacidade de reciclar nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, desenvolvendo-se em solos com problemas de acidez. No Brasil, é cultivado principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. O óleo do nabo forrageiro apresenta baixa viscosidade, melhorando o desempenho do motor. O rendimento de óleo por hectare é de cerca de 280 litros, menor que até mesmo o da soja (EMBRAPA, 2014). Por isso, não é a principal matéria-prima para a produção de biodiesel.

O girassol é um cultivo econômico, pois não precisa de máquinas específicas, além de ter um ciclo de produção curto e se adaptar a quaisquer tipos de solo e clima (BIODIESELBR, 2014). A partir de uma tonelada de grão, aproximadamente 400 kg de óleo são gerados (CASTRO et al, 1996). Sendo assim, o teor de óleo no girassol é de 35 a 45% (TURATTI, 2000). No entanto, não é muito utilizado na produção de biodiesel, porque tem um ciclo muito curto entre os meses de agosto e setembro, não sendo favorável nas outras épocas do ano. Além de ser um óleo nobre para a alimentação humana (SILVA; FREITAS, 2008).

O pinhão manso surge espontaneamente em regiões de clima desfavorável e solos pouco férteis, já que é tolerante a pouca água. O teor de óleo no núcleo de suas sementes é de aproximadamente 38% em massa (BERGMANN et al, 2013). Não é uma fonte de matéria-prima principal para a produção de biodiesel, porque ainda não se tem

conhecimento científico suficiente sobre ele, o que gera insegurança no seu cultivo (ARAÚJO; SOUZA, 2008).

b) Gorduras animais

Para a produção de biodiesel podem ser utilizadas gorduras animais, como sebo bovino, banha de porco, óleos de peixes e óleo de mocotó. Essas matérias-primas, contudo, apresentam como restrição a solidificação em temperaturas baixas, podendo mesmo entupir o motor. Para evitar tal problema, o biodiesel de gordura animal é misturado ao de óleos vegetais, principalmente ao de soja, ou é adicionado algum aditivo (BERGMANN et al, 2013).

O sebo é obtido da produção de carne. Como o rebanho nacional é um dos maiores entre os países produtores, a produção nacional é elevada. O sebo bovino é a segunda maior fonte de matéria-prima para biodiesel, perdendo apenas para a soja (BIODIESELBR, 2014).

c) Óleos e gorduras residuais

A utilização de óleos e gorduras residuais depende da coleta em residências, restaurantes, lanchonetes, cozinhas industriais, etc. O litro de óleo usado é comercializado a baixo custo, no máximo R\$ 1,00, e isso pode atrair as indústrias de biodiesel (BIODIESELBR, 2014).

O óleo de fritura reaproveitado apresenta muita oferta, correspondendo a até 13% da demanda de biodiesel no Brasil, o que reduz os custos de produção em até 45% (ARAÚJO et al, 2013).

O óleo deve ser submetido a um pré-tratamento para retirar as impurezas assim que chega às usinas. A seguir, o processo de produção do biodiesel é o mesmo dos demais óleos vegetais (BIODIESELBR, 2014).

d) Microrganismos

O uso de óleos vegetais para a produção de biodiesel apresenta algumas

desvantagens. Entre elas, muitos desses óleos também são comestíveis e ao invés de serem destinados à alimentação estão sendo utilizados na produção de combustíveis, o que gera problemas éticos. Além disso, com a crescente demanda desses óleos para ambos os objetivos torna-se necessário o aumento da produção, o que faz com que mais terras férteis sejam utilizadas, acarretando em problemas de desmatamento de matas nativas. Também tem-se o custo desse biodiesel atualmente mais alto do que o do diesel. O custo de produção do biodiesel está relacionado principalmente a variações climáticas que podem prejudicar as culturas utilizadas na sua produção e ao custo de produção e tratamento das matérias-primas (CHARLES et al, 2013).

Logo, para atender a demanda de combustíveis que possam substituir o petróleo, fontes alternativas de óleos devem ser encontradas. Então, surgiram os microrganismos como uma opção de fonte de óleo potencial.

Os microrganismos oleaginosos são aqueles em que mais de 20% do peso celular seco corresponde a conteúdos lipídicos, como triacilglicerol (TAG) e poli-hidroxi-alcanoato (PHA) (MENG et al, 2009), entre eles estão as microalgas e as bactérias.

As microalgas acumulam frações lipídicas naturalmente em torno de 30%, porém em cultivo controlado é possível aumentar ainda mais esse teor de óleo acumulado. Isso é obtido através da aplicação de condições de estresse na fase de crescimento, como temperaturas extremas e baixa disponibilidade de nutrientes. Além disso, as microalgas apresentam um rápido crescimento, não competem com alimentos e seu cultivo é de baixo custo, o que as torna uma importante matéria-prima para a produção de biodiesel (FRANCO et al, 2013). Na Tabela 3.4, pode-se notar que o rendimento de óleo das microalgas é muito maior e a área necessária para o cultivo é muito menor comparado com os vegetais.

Tabela 3.4: Comparação do rendimento de óleo de fontes vegetais e microbianas de biodiesel. Fonte: CHISTI, 2007

| Matéria-Prima | Rendimento de Óleo (L/ha) | Área Necessária para Cultivo (M ha) ¹ |
|---------------------------------|---------------------------|--|
| Milho | 172 | 1540 |
| Soja | 446 | 594 |
| Canola | 1190 | 223 |
| Pinhão Manso | 1892 | 140 |
| Coco | 2689 | 99 |
| Palma | 5950 | 45 |
| Microalga (70% mássico de óleo) | 136.900 | 2 |
| Microalga (30% mássico de óleo) | 58.700 | 4,5 |

¹Para atender 50% do combustível utilizado no transporte nos EUA.

²Área do biorreator utilizado para o cultivo de microalgas

As bactérias em sua maioria acumulam poli-hidroxi-alcanoato (PHA) como compostos de reserva. Porém os TAGs devido a suas propriedades hidrofóbicas armazenam melhor a energia (ALVAREZ; STEINBÜCHEL, 2002). Com isso, as principais bactérias em que os TAGs são encontrados são os actinomicetos, presentes principalmente nos solos (LIANG; JIANG, 2013). Acumulam em torno de 20 a 40% de teor de lipídio em biomassa seca, o que não é considerado muito. No entanto, por ter uma alta taxa de crescimento, pode gerar uma grande quantidade de óleo, o que torna as bactérias grandes promissoras para a produção de biodiesel (MENG et al, 2009).

3.3.1.2 – Propriedades

Para utilizar o biodiesel como combustível, existem muitas especificações que o mesmo deve atender, como características físico-químicas (ponto de fulgor, viscosidade etc.) e composição química (índice de iodo, glicerol livre e total, quantidade de mono-, di- e triacilglicerol etc.) como mostra a Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Especificações do biodiesel. Fonte: ANP, 2014

| Característica | Unidade | Limite | Método | | |
|---|--------------------|----------------|---------------------------------|-----------------|---|
| | | | ABNT/NBR | ASTM D | EN/ISSO |
| Aspecto | - | LII (1) (2) | - | - | - |
| Massa específica a 20° C | kg/m ³ | 850 a 900 | 7148 14065 | 1298 4052 | EN ISO 3675 EN ISO 12185 |
| Viscosidade Cinemática a 40°C | mm ² /s | 3,0 a 6,0 | 10441 | 445 | EN ISO 3104 |
| Teor de água, máx. | mg/kg | 200,0 (3) | - | 6304 | EN ISO 12937 |
| Contaminação Total, máx. | mg/kg | 24 | 15995 | - | EN 12662 (5) |
| Ponto de fulgor, mín. (4) | °C | 100,0 | 14598 | 93 | EN ISO 3679 |
| Teor de éster, mín | % massa | 96,5 | 15764 | - | EN 14103 (5) |
| Cinzas sulfatadas, máx. (6) | % massa | 0,020 | 6294 | 874 | EN ISO 3987 |
| Enxofre total, máx. | mg/kg | 10 | 15867 | 5453 | EN ISO 20846 EN ISO 20884 |
| Sódio + Potássio, máx. | mg/kg | 5 | 15554 1555 5 15553 15556 | - | EN 14108 (5) EN 14109 (5) EN 14538 (5) |
| Cálcio + Magnésio, máx. | mg/kg | 5 | 15553 1555 6 | - | EN 14538 (5) |
| Fósforo, máx. (7) | mg/kg | 10 | 15553 | 4951 | EN 14107 (5) EN 16294 (5) |
| Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx. (6) | - | 1 | 14359 | 130 | EN ISO 2160 |
| Número Cetano (6) | - | Anotar | - | 613 6890 (8) | EN ISO 5165 |
| Ponto de entupimento de filtro a frio, máx. | °C | (9) | 14747 | 6371 | EN 116 |
| Índice de acidez, máx. | mg KOH/g | 0,50 | 14448 - | 664 - | EN 14104 (5) |
| Glicerol livre, máx. | % massa | 0,02 | 15771 1590 8 (5) - | 6584 (5) - | EN 14105 (5) EN 14106 (5) |
| Glicerol total, máx. (10) | % massa | 0,25 | 15344 1590 8 (5) | 6584 (5) - | EN 14105 (5) |
| Monoacilglicerol, máx. | % massa | 0,7 | 15342 (5) 15344 15908 (5) | 6584 (5) | EN 14105 (5) |
| Diacilglicerol, máx. | % massa | 0,20 | 15342 (5) 15344 15908 (5) | 6584 (5) | EN 14105 (5) |
| Triacilglicerol, máx. | % massa | 0,20 | 15342 (5) 15344 15908 (5) | 6584 (5) | EN 14105 (5) |
| Metanol e/ou Etanol, máx. | % massa | 0,20 | 15343 | - | EN 14110 (5) |
| Índice de Iodo | g/100g | Anotar | - | - | EN 14111 (5) |
| Estabilidade à oxidação a 110°C, mín. (11) | h | 8 | - | - | EN 14112 (5) EN 15751 (5) |

Obs.:

LII: Límpido e Isento de Impurezas

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM: American Society for Testing and Materials

ISO: International Organization for Standardization

EN (CEN): Comité Européen de Normalisation

(1) Límpido e isento de impurezas, com anotação da temperatura de ensaio. Em caso de disputa, o produto só poderá ser considerado como não especificado no Aspecto, caso os parâmetros teor de água e/ou contaminação total estejam não conformes.

(2) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade no Aspecto, deverão ser realizadas

as análises de teor de água e contaminação total. O produto será reprovado caso pelo menos um desses dois últimos parâmetros esteja fora de especificação.

(3) Para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade, será admitida variação de +50 mg/kg no limite do teor de água no biodiesel para o produtor e de +150 mg/kg para o distribuidor.

(4) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, a análise de teor de metanol ou etanol fica dispensada.

(5) Os métodos referenciados demandam validação para os materiais graxos não previstos no método e rota de produção etílica.

(6) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da Tabela de Especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados à ANP pelo Produtor de biodiesel, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de material graxo, o Produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de materiais graxos utilizados.

(7) Em caso de disputa, deve ser utilizado o método EN 14107 como referência.

(8) O método ASTM D6890 poderá ser utilizado como método alternativo para determinação do número de cetano.

(9) Limites conforme Tabela 3.6. Para os estados não contemplados na tabela o ponto de entupimento a frio permanecerá 19°C.

(10) Poderá ser determinado pelos métodos ABNT NBR 15908, ABNT NBR 15344, ASTM D6584 ou EM 14105, sendo aplicável o limite de 0,25% em massa. Para biodiesel oriundo de material graxo predominantemente láurico, deve ser utilizado método ABNT NBR 15908 ou ABNT NBR 15344, sendo aplicável o limite de 0,30% em massa.

(11) O limite estabelecido deverá ser atendido em toda a cadeia de abastecimento do combustível.

Tabela 3.6: Ponto de entupimento de filtro a frio. Fonte: ANP, 2014

| Unidades da Federação | Limite Máximo, °C | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
| SP - MG - MS | 14 | 14 | 14 | 12 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 12 | 14 | 14 |
| GO/DF - MT - ES - RJ | 14 | 14 | 14 | 14 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 14 | 14 | 14 |
| PR - SC - RS | 14 | 14 | 14 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 14 | 14 |

3.3.1.3 – Mercado e Histórico

A história do biodiesel começou em 1895. No entanto, com o avanço da indústria do petróleo, os combustíveis fósseis se destacaram e os óleos vegetais foram destinados a outros usos. Com a crise do petróleo, na década de 1970, as pesquisas para uso de óleos vegetais foram retomadas (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006).

No surgimento dos motores diesel em 1900, Rudolf Diesel apresentou na Exposição Mundial de Paris o uso de óleo de amendoim como combustível, mantendo o

mesmo desempenho do motor (PLÁ, 2003). Além disso, Rudolf Diesel atestou que o motor manteve o desempenho com outros óleos, como óleo de mamona e sebo animal (BIODIESELBR, 2014). Embora a descoberta não viesse a substituir o petróleo, acabou revelando-se um passo importante no sentido do desenvolvimento de biocombustíveis (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006).

Embora tenha se mostrado funcional, o combustível de origem vegetal deixava depósitos de carbono no motor, requerendo mais manutenção e afetando o tempo de vida. Além disso, a elevada viscosidade dificultava a combustão (PLÁ, 2003).

Somente houve avanços significativos na perspectiva do real uso destes combustíveis quando se descobriu que a retirada da glicerina do óleo vegetal gerava um combustível muito adequado aos motores diesel (ENCARNAÇÃO, 2008). Isso se tornou possível quando um cientista belga, George Chavanne, da Universidade de Bruxelas, descobriu e patenteou o processo de transesterificação em 1937 (KNOTHE, apud PLÁ, 2003).

Durante a Segunda Guerra Mundial, com a escassez do petróleo devido às restrições impostas, os óleos vegetais foram extensivamente utilizados como combustível em muitos países (BIODIESELBR, 2014). No final da Segunda Guerra, em 1945, com a oferta de petróleo normalizada e a preços acessíveis, o uso de combustíveis renováveis foi novamente desestimulado (PLÁ, 2003).

Cerca de 30 anos depois, com a crise do petróleo, a partir de 1973, cresceu novamente o interesse em combustíveis alternativos. A OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), reunindo os maiores produtores de petróleo do mundo, diminuiu a produção mundial, promovendo elevação dos preços (de US\$ 2,90 para US\$ 11,65 em três meses) (BIODIESELBR, 2014). Com o estímulo às pesquisas, cientistas chineses utilizaram pela primeira vez o termo “biodiesel” em 1988 (PLÁ, 2003).

3.3.1.3.1 - Brasil

O biodiesel no Brasil surgiu na década de 1920 com os testes de combustíveis alternativos do Instituto Nacional de Tecnologia (BIODIESELBR, 2014). Entretanto, o biodiesel somente foi inserido na matriz energética brasileira em 2005 (SEBRAE).

O Brasil, por possuir uma grande extensão de terras férteis para a plantação de oleaginosas, além de alta taxa de luminosidade e chuvas regulares, tem, em tese, grande

potencial para liderar a produção de biodiesel no mundo (SANTOS, 2012).

Na década de 1960, uma experiência a fim de produzir óleo comestível a partir de grãos de café, foi realizada pelas indústrias Matarazzo. Ao fazer a lavagem do café para a retirada de impurezas com etanol, ocorreu uma reação com o óleo do café e o etanol, formando biodiesel (MEIRELLES, 2003).

Anos depois, devido à crise do petróleo, o governo incentivou as pesquisas sobre biodiesel. Surgiu, assim, o PRODIESEL em 1975, cujo objetivo era obter um combustível alternativo ao diesel a partir de óleos vegetais. Porém, o programa foi abandonado em 1986 com a diminuição do preço do petróleo (CANDEIA, 2008). É interessante notar como a história do biodiesel em muitos aspectos se assemelha com a do etanol no Brasil, cujos altos e baixos marcaram os anos 70 e 80.

Em 1983 o governo criou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG), testando o uso de biodiesel e de misturas combustíveis em veículos que percorreram mais de 1 milhão de quilômetros. Esses testes mostraram a viabilidade técnica do biocombustível, no entanto, os altos custos de produção impediram o uso em escala comercial (BIODIESELBR, 2014).

Em 2002, o governo criou o Probiodiesel, cujo objetivo, novamente, era a substituição do diesel por um combustível renovável. A princípio, a proposta era universalizar o uso da mistura B5 em todo o território nacional até 2005, e B20 até 2020 (BIODIESELBR, 2014).

A implementação vem ocorrendo, embora não no ritmo inicialmente proposto, como mostra a Figura 3.2. Atualmente a ANP estima que a produção brasileira de biodiesel seja de aproximadamente 176 milhões de litros anuais (BIODIESELBR, 2014).

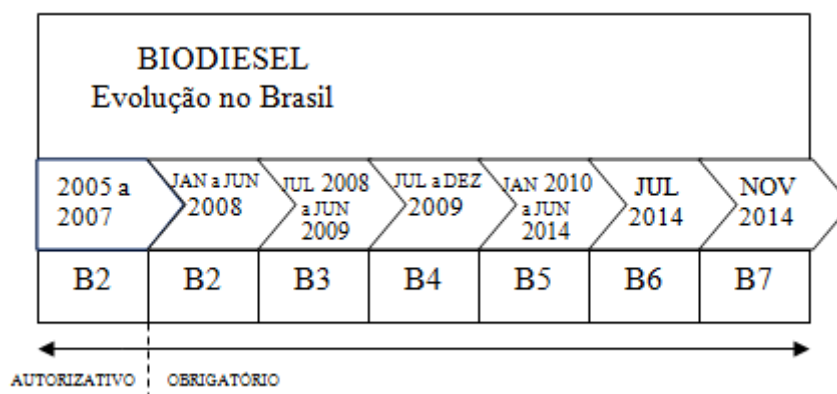


Figura 3.2: Cronograma dos teores de biodiesel. Fonte: BIODIESELBR, 2014

3.3.1.3.2 - Mundo

A produção mundial de biodiesel está aumentando devido às legislações favoráveis aos combustíveis renováveis (SEBRAE). Destaca-se que apesar deste crescimento, tal produção ainda é menor que aquela observada para o etanol (SEBRAE). Os maiores produtores de biodiesel não se concentram em uma região geográfica específica. Países como Estados Unidos, Brasil e alguns países da União Europeia, como Alemanha e França, apresentam produção significativa. Essa distribuição de produção pelo mundo estimula o mercado global de biodiesel (BIODIESELBR, 2014).

A União Europeia começou a produzir biodiesel em escala industrial em 1992. Com destaque para a Alemanha, que junto com a Itália, França, Reino Unido e Espanha, respondem por cerca de 76% da produção mundial. Sua principal matéria-prima é a canola ou colza, que também nitrogena o solo para cultivos agrícolas (SEBRAE).

Os Estados Unidos são outro grande produtor mundial de biodiesel. A matéria-prima mais utilizada é o óleo de soja, depois óleos residuais e sebo animal (SEBRAE).

Na América do Sul, o Brasil se destaca como o maior produtor, porém Argentina e Colômbia também estabeleceram porcentagens mínimas obrigatórias de biodiesel no diesel consumido no mercado interno. Na Colômbia, espera-se que até 2020, 2 milhões de hectares de dendê sejam plantados. Na Argentina, a produção de soja tem crescido devido a investimentos, mas visa principalmente a exportação de biodiesel, e não o mercado interno (BIODIESELBR, 2014).

Na Ásia, a Malásia e a Índia têm se destacado, e obrigaram a adição de 5% de biodiesel ao diesel (BIODIESELBR, 2014).

3.3.1.4 - Impactos ambientais

O uso de biocombustíveis apresenta como principal vantagem a redução dos gases relacionados a teoria do chamado “efeito estufa”. Considerando a utilização de biodiesel puro ou em mistura com o diesel, tem-se a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂); a diminuição das emissões de dióxido de enxofre (SO₂); a

diminuição na emissão de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e a diminuição na emissão de material particulado. Em contrapartida, há aumento nas emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) e de monóxido de carbono (CO) – além da geração de glicerina (KRAUSE, 2008).

Tais benefícios ambientais podem resultar em vantagens econômicas, como a venda de cotas e de créditos de carbono (BIODIESELBR, 2014). Além disso, tem-se o aproveitamento de resíduos, por exemplo ao utilizar sebo animal (KRAUSE, 2008).

3.3.1.5 - Impactos econômicos

Além dos aspectos positivos sociais como geração de renda e emprego para a população rural, o crescimento da produção de biodiesel no Brasil é importante para a exportação e para a independência energética brasileira, já que o país importa aproximadamente 40 milhões de barris de diesel por ano (KRAUSE, 2008).

3.3.1.6 – Vantagens

Em resumo, a produção e o consumo de biodiesel estão constantemente ligados a inúmeros benefícios, tanto econômicos quanto ambientais.

É uma fonte de energia renovável. Por ser biodegradável, não tóxico e consideravelmente livre de enxofre e aromáticos, é considerado um combustível ecológico. O seu uso em um motor diesel gera uma diminuição de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos não queimados, quando comparado com a queima de diesel. Outra grande vantagem é que, no ciclo de vida da planta, o gás carbônico do ar é absorvido. Também é possível o uso de créditos de carbono relacionados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo resultantes do Protocolo de Kyoto.

No Brasil existem muitas terras férteis que podem ser utilizadas para a produção de diversas oleaginosas, especialmente nos solos menos produtivos, com um baixo custo de produção, o que gera emprego e renda (BIODIESELBR, 2014).

O biodiesel é completamente miscível no óleo diesel, podendo ser usado em motores do ciclo diesel sem a necessidade de adaptações significativas. Além disso, o biodiesel pode atuar como lubrificante e pode até mesmo aumentar a vida útil do motor (BIODIESELBR, 2014).

3.3.1.7 - Desvantagens

A grande quantidade de glicerina gerada é um dos principais pontos negativos do emprego do biodiesel em grande escala (BIODIESELBR, 2014). Porém, essa glicerina pode ser utilizada como fonte de carbono para o cultivo de microalgas e bactérias.

Outra questão que precisa ser avaliada é que as plantações de soja e dendê, que são utilizadas como matéria-prima para o biodiesel, têm elevado potencial de ocupar áreas de florestas tropicais. A geração de emprego e renda no campo provido pelo biodiesel poderia vir a ser construído a partir da destruição de áreas de floresta, afetando a biodiversidade (BIODIESELBR, 2014).

Em regiões de clima mais frio o emprego deste combustível pode ser difícil, pois sua viscosidade aumenta. Pequenos cristais podem ser formados, e ao se juntarem, impedem o bom funcionamento do motor. Algumas precauções podem ser tomadas para evitar este problema, como a mistura de biodiesel de óleo vegetal e de sebo animal, ou a adição de aditivos que diminuem a viscosidade do biodiesel (MILLI et al, 2011).

O uso do biodiesel também eleva a emissão de NOx quando comparado com o diesel tradicional. A emissão de óxido de nitrogênio pode aumentar em até 15% no uso de B100 (VEDANA, 2006).

3.4 – Bibliometria

A bibliometria é uma análise quantitativa que apresenta vantagens de oferecer informações necessárias para a tomada de decisão. Essa análise oferece dados sobre as atividades na área científica sobre o tema, resume esse tema e fornece uma perspectiva da pesquisa e seu desempenho (THOMSON REUTERS A, 2008).

O rastreamento é feito a partir de buscas de palavras-chave, indicando a evolução de uma tecnologia específica. Isso facilitaria a tomada de decisão e a escolha da melhor estratégia para o processo em análise (YOSHIDA, 2010).

A intuição é um processo de tomada de decisão que está relacionado a bibliometria, visto que quando a tecnologia pesquisada é nova, os termos utilizados não

têm hierarquia entre eles e são escolhidos de forma subjetiva.

Como a bibliometria rastreia determinadas palavras-chave, é um método que quantifica as publicações em que esses termos aparecem e não que analise o conteúdo de tais publicações (YOSHIDA, 2010). Essa quantificação de publicações com os termos determinados corresponde às tendências de pesquisa desse assunto (PORTER, 2007).

Na bibliometria, é necessário que os termos a serem pesquisados sejam determinados para que garantam abrangência sobre o tema que está sendo analisado. De forma que as combinações entre eles correspondam a todas as referências possíveis da tecnologia.

A bibliometria, como qualquer outra metodologia baseada em análise de palavras-chave em bases de dados, possui alguns cuidados que devem ser considerados. O primeiro cuidado que deve ser tomado é a escolha da base de dados a ser utilizada. Isso porque nem todas as informações importantes estão disponíveis por questões de confidencialidade, por exemplo. Além disso, deve-se escolher a base de dados que possui maior abrangência sobre o tema analisado, sendo necessário em alguns casos utilizar mais de uma base de dados. Outro problema é relacionado ao idioma, já que muitas bases de dados utilizam o inglês como idioma de pesquisa, por isso deve-se conhecer os termos que serão buscados nesse idioma. Um outro cuidado que deve ser considerado é que algumas publicações somente citam o assunto específico em estudo e por isso devem ser desconsideradas através de uma análise atenciosa do resultado obtido.

Capítulo 4 –Metodologia

Neste estudo, foi utilizada a pesquisa bibliográfica, identificando o número de publicações que contém os termos relacionados à tecnologia em questão. Logo, a bibliometria foi aplicada para rastrear a produção de biodiesel utilizando o óleo produzido por microalgas ou bactérias para acompanhar a evolução desse processo, considerando assim o tipo de publicações como artigos.

Foi utilizada a base de dados Web of Science® (WoS), considerando sua principal coleção e utilizando os recursos de busca do próprio site. Por meio da pesquisa avançada, os termos pesquisados foram microalga ou bactéria como tópico (TS), que inclui o título, o resumo, o autor e as palavras-chave, e biodiesel como título (TI). Para abranger uma maior quantidade de publicações foi considerado o idioma inglês, e os termos utilizados para pesquisa foram microalgae, bacteria e biodiesel, já que este é o idioma oficial da base de dados. O tempo estipulado foi de 1945 a 2014, analisando somente anos inteiros. Como índice de citações considerou-se apenas o Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) de 1945 até o presente momento, pois é o mais importante no meio científico.

Foi utilizada a base de dados WoS, porque ela conecta publicações e pesquisadores através de citações em seu banco de dados abrangendo diversas áreas do conhecimento, disponibilizando o acesso a mais de 12000 periódicos. Além disso, ao realizar a pesquisa, o resultado obtido pode ser salvo para análise posterior (BIBENG).

A WoS é um conjunto de bases de dados também conhecida como Science Citation Indexes (Science Citation Index, Social Science Citation Index, Arts and Humanities Citation Index), reunidas pelo ISI (Institute for Scientific Information). Seu

mecanismo de busca fornece como resultado informações de citações de determinados artigos, como quantas vezes foi citado e por quem. A WoS possui livros, revistas, anais ou patentes, sendo uma base de dados completa para uma pesquisa mais confiável, integrada e multidisciplinar. Conteúdos de qualidade e informações sobre novas tendências são primordiais para uma pesquisa que atenda a todas as necessidades. Apresenta como características a alta qualidade, acurácia, multidisciplinaridade, pesquisas bem específicas, muitas opções de pesquisa, ferramentas de análise para descobrir tendências e padrões, pesquisas de referência citada para encontrar artigos citados em outros trabalhos e representações visuais e gráficas das citações. É uma base que considera as atividades de citação mais impactantes globalmente e regionalmente em revistas, livros e documentos para a comunidade acadêmica. A avaliação objetiva e critérios de seleção asseguram que o conteúdo obtido seja o mais relevante (THOMSON REUTERS B).

A escolha correta da palavra-chave é muito importante, porque é o que define a amostra da pesquisa. Foram escolhidas microalga, bactéria e biodiesel como palavras-chave, visto que o objetivo era restringir os resultados ao uso de microalgas e bactérias na produção de biodiesel.

Para a busca foi escolhida a pesquisa avançada, porque permite combinar resultados de pesquisa, no caso publicações que abordem o biodiesel de microalgas e publicações que abordem o biodiesel de bactérias, como mostra a Figura 4.1. Para isso, a WoS utiliza operadores booleanos, o operador AND busca todos os termos, o OR indica que pelo menos um dos termos digitados será encontrado, já o operador NOT não considera as palavras-chave determinadas. Além dos rótulos dos campos, como TS para tópico e TI para título, mostrados na Figura 4.2.

Foi escolhido somente as publicações em inglês, porque permite maior visibilidade, além de serem mais importantes do que as publicações em idiomas mais restritos como o japonês e o alemão, por exemplo, como pode ser observado na Figura 4.3.

Pesquisa Principal Coleção do Web of Science™

Pesquisa avançada

Utilize rótulos de campo, operadores booleanos, parênteses e resultados de consultas para criar sua consulta. Os resultados aparecerão na Tabela do histórico de busca, na parte inferior da página. (Saiba mais sobre a Pesquisa avançada)

Exemplo: TS=(nanotub* AND carbon) NOT AU=Smalley RE
#1 NOT #2 [mais exemplos](#) | [visualizar o tutorial](#)

TS=(microalgae OR bacteria) AND TI=(biodiesel)

Pesquisa

Figura 4.1: Pesquisa avançada na base de dados WoS.

| Booleanos: AND, OR, NOT, SAME, NEAR | |
|--|-------------------------------|
| Rótulos do campo: | |
| TS= Tópico | SA= Endereço da Rua |
| TI= Título | CI= Cidade |
| AU= Autor [Índice] | PS= Província/Estado |
| AI= Identificadores de autor | CU= País |
| GP= Autor grupo [Índice] | ZP= CEP/Código postal |
| ED= Editor | FO= Agência financiadora |
| SO= Nome da publicação [Índice] | FG= Número do subsídio |
| DO= DOI | FT= Texto sobre financiamento |
| PY= Ano de publicação | SU= Área de pesquisa |
| CF= Conferência | WC= Categoria Web of Science |
| AD= Endereço | IS= ISSN/ISBN |
| OG= Organização - Consolidada [Índice] | UT= Número de acesso |
| OO= Organização | PMID= ID PubMed |
| SG= Suborganização | |

Figura 4.2: Operadores booleanos e rótulos do campo na base de dados WoS.

Restringir os resultados por idiomas e tipos de documentos:

| | |
|---------------|----------------------------|
| All languages | All document types |
| English | Article |
| Afrikaans | Abstract of Published Item |
| Arabic | Art Exhibit Review |

TEMPO ESTIPULADO

Todos os anos

De 1945 até 2014

MAIS CONFIGURAÇÕES

Principal Coleção do Web of Science: Índice de citações

- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) --1945-presente
- Social Sciences Citation Index (SSCI) --1956-presente
- Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) --1975-presente
- Conference Proceedings Citation Index - Science (CPCI-S) --1991-presente
- Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH) --1991-presente

Últimos dados atualizados: 2015-06-22

(Para salvá-los permanentemente, [entre ou registre-se.](#))

Figura 4.3: Ferramentas de busca da pesquisa avançada na base de dados WoS.

Neste caso, avaliou-se o uso da bibliometria para monitorar a evolução dos estudos sobre tal tecnologia e não o seu sucesso comercial.

Foi realizada uma busca na quantidade de publicações contendo as palavras-chaves relacionadas ao processo analisado. Não foi realizada a busca da quantidade de ocorrências dentro de uma mesma publicação.

O resultado obtido na pesquisa realizada na base de dados WoS apresenta os artigos e suas informações, como título do documento, autores e ano de publicação, como mostra a Figura 4.4. Além dessas informações, também estão disponíveis resumo, tipo de publicação (jornal, livro, livro em séries ou patente), nome da publicação, idioma, tipo de documento, palavras-chave, endereço dos autores, e-mail entre outras.

| | | |
|--------------------------|---|---|
| <input type="checkbox"/> | 15. Selection of microalgae for biodiesel production in a scalable outdoor photobioreactor in north China Por: Xia, Ling; Song, Shaoxian; He, Qiaoning; et al. BIORESOURTE TECHNOLOGY Volume: 174 Páginas: 274-280 Publicado: DEC 2014  Texto integral do editor Visualizar resumo | Número de citações: 0 (da Principal Coleção do Web of Science) |
| <input type="checkbox"/> | 16. Rapid alkali catalyzed transesterification of microalgae lipids to biodiesel using simultaneous cooling and microwave heating and its optimization Por: Teo, Chee Loong; Idris, Ani BIORESOURTE TECHNOLOGY Volume: 174 Páginas: 311-315 Publicado: DEC 2014  Texto integral do editor Visualizar resumo | Número de citações: 0 (da Principal Coleção do Web of Science) |
| <input type="checkbox"/> | 17. Growth and lipid accumulation characteristics of Scenedesmus obliquus in semi-continuous cultivation outdoors for biodiesel feedstock production Por: Feng, Pingzhong; Yang, Kang; Xu, Zhongbin; et al. BIORESOURTE TECHNOLOGY Volume: 173 Páginas: 406-414 Publicado: DEC 2014  Texto integral do editor Visualizar resumo | Número de citações: 1 (da Principal Coleção do Web of Science) |
| <input type="checkbox"/> | 18. Two-step process for production of biodiesel blends from oleaginous yeast and microalgae Por: McCurdy, Alex T.; Higham, Andrew J.; Morgan, Michael R.; et al. FUEL Volume: 137 Páginas: 269-276 Publicado: DEC 1 2014  Texto integral do editor Visualizar resumo | Número de citações: 0 (da Principal Coleção do Web of Science) |
| <input type="checkbox"/> | 19. Treatment of cattle-slaughterhouse wastewater and the reuse of sludge for biodiesel production by microalgal heterotrophic bioreactors Por: Maroneze, Mariana Manzoni; Barin, Juliano Smanioto; de Menezes, Cristiano Ragagnin; et al. SCIENTIA AGRICOLA Volume: 71 Edição: 6 Páginas: 521-524 Publicado: NOV-DEC 2014   Texto integral do editor Visualizar resumo | Número de citações: 0 (da Principal Coleção do Web of Science) |

Figura 4.4: Resultado da pesquisa na base de dados WoS.

Na pesquisa, foi obtido um resultado com 492 artigos na base de dados WoS, que estão listados no Anexo 1. Esse resultado foi organizado no formato de uma planilha no Excel e pôde ser analisado estatisticamente de maneira mais fácil e detalhada. Ao realizar a seleção desses artigos a partir da leitura minuciosa dos títulos e resumos, alguns foram descartados já que não abrangiam a produção de biodiesel a partir de microalgas e bactérias, assim foram obtidos 297 artigos. Esses artigos descartados em sua maioria abordavam o uso de microalgas e bactérias no tratamento de resíduos da produção de biodiesel a partir de plantas oleaginosas ou sebo bovino, como por exemplo o uso do glicerol como fonte de carbono para o cultivo de microalgas e bactérias sem estar relacionado com a produção de biodiesel.

Capítulo 5 – Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta os resultados das análises dos artigos científicos. A pesquisa realizada na base de dados WoS forneceu os dados apresentados, que são relacionados a uma avaliação de cada documento relativo à produção de biodiesel a partir de microalga e bactéria.

A pesquisa bibliométrica realizada nesse trabalho tem caráter investigativo do perfil da tecnologia desenvolvida nas pesquisas científicas e do avanço da mesma. Essa análise permite conhecer o enfoque que tem sido dado nas pesquisas de forma a determinar quão avançadas as pesquisas sobre a tecnologia se encontram. O perfil da pesquisa científica relativa à tecnologia de produção de biodiesel a partir de microrganismos está sendo desenvolvido a partir da análise do número de publicações por ano, por assunto (microalgas ou bactérias), por país, por região, por origem (universidade, centro de pesquisa, empresa ou pessoa física) e pelo foco das pesquisas (tratamento da matéria-prima, processo de produção, avaliação do processo ou subproduto do processo/reutilização da matéria-prima).

5.1 – Perfil Temporal das Publicações

Os artigos selecionados foram separados pelo ano em que foram publicados, apresentados na Figura 5.1.

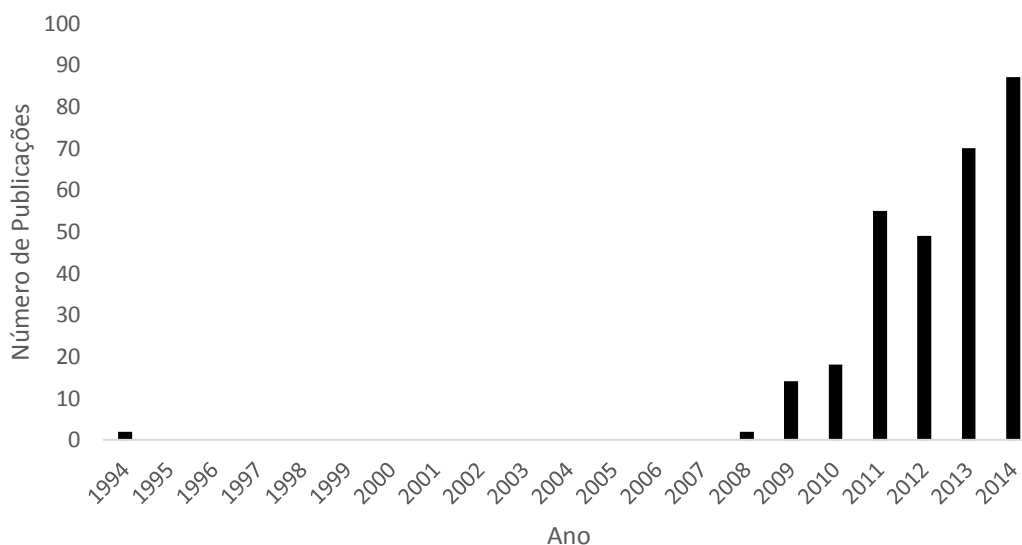


Figura 5.1: Perfil de publicações por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

A pesquisa foi realizada utilizando o intervalo de 1945 a 2014 e as primeiras publicações foram identificadas em 1994. Isso mostra que essa tecnologia é recente e está sendo desenvolvida de forma crescente, como pode ser observado na evolução do

número de publicações, apesar da ausência de publicação entre 1995 e 2007.

Um dos artigos publicados em 1994 foi “Genetic-engineering approaches for enhanced production of biodiesel fuel from microalgae” de Roessler, P.G. dos EUA, que aborda a bioquímica e biologia molecular da biossíntese de lipídios nas microalgas e o desenvolvimento de cepas geneticamente modificadas, aprimorando suas características para a produção de biodiesel.

Já o outro artigo foi “Microalgae are possible source of biodiesel fuel” de Baum, R. dos EUA, que aborda o uso de microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel.

Esses dois artigos podem ser considerados os pioneiros da tecnologia de produção de biodiesel a partir de microrganismos na pesquisa realizada na WoS. Os dois realizaram seus estudos em centros de pesquisa, o primeiro no National Renewable Energy Laboratory e o segundo no American Chemical Society.

A Figura 5.1 mostra que houve um aumento no número de publicações entre 2008 e 2009. Esse fato pode estar relacionado à crise de petróleo e crise financeira de 2008 (UOL ECONOMIA, 2008). A pequena capacidade excedente da produção mundial fez com que a oferta não se adequasse à demanda, gerando um choque de demanda, assim o preço dos barris de petróleo aumentou drasticamente e surgiu o risco de escassez a longo prazo (BLOOMBERG, 2011). Além disso, a crise financeira, que surgiu com a explosão da bolha especulativa no mercado imobiliário e a expansão do crédito bancário, gerou uma recessão mundial e forte retração econômica que contribuiu para que o problema da demanda de petróleo fosse amenizado, visto que a demanda teve que diminuir, porém a crise de petróleo mesmo assim ainda perdurou por um tempo (INFOPETRO, 2011). Motivados pela crise de petróleo, diversos estudos de novas fontes de energia foram desenvolvidos. Mostrando que por trás de cada crise está escondida uma oportunidade. Como é o caso do surgimento do computador, do micro-ondas e dos foguetes após a Segunda Guerra Mundial.

Possivelmente o aumento de forma geral de publicações ao longo dos anos é que a dependência da humanidade por energia de baixo custo e de grande disponibilidade gerou uma busca por combustíveis alternativos, visto que as fontes de combustíveis fósseis são finitas, além da maior preocupação com o meio ambiente, já que seus gases são poluentes. Além do biodiesel, outras tecnologias vêm sendo desenvolvidas para a diminuição da dependência da fonte fóssil como combustível, como o etanol e o carro

elétrico. No caso do Brasil, aproximadamente 18% do total de combustível utilizado é proveniente de fontes renováveis, porém com os programas criados pelo governo como forma de incentivo aos biocombustíveis esse número tende a crescer (ANP, 2015).

5.2 – Perfil de Publicações sobre Biodiesel de Microalgas e Bactérias

Os dados do número de publicações por assunto que abordam, ou seja, biodiesel a partir de microalgas, bactérias ou ambos são apresentados na Figura 5.2.

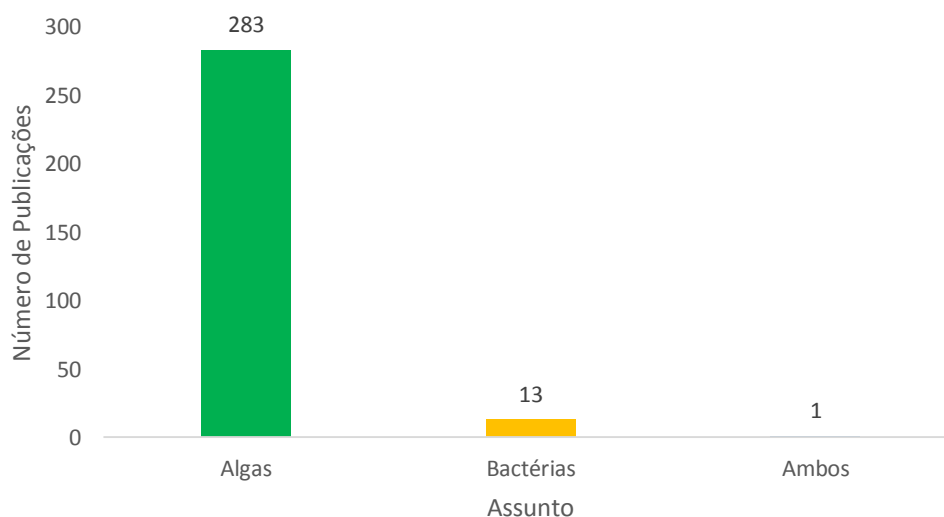


Figura 5.2: Perfil do número de publicações sobre biodiesel de microalgas, bactérias e ambos. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

A figura mostra que a maioria dos artigos resultantes da pesquisa abordam o estudo do biodiesel a partir de microalgas, isso se deve ao fato de as pesquisas de biodiesel de bactérias serem muito recentes e ainda não terem se desenvolvido e sido muito exploradas. Esse fato é comprovado ao perceber que o primeiro artigo sobre bactérias foi publicado em 2008 e mesmo nos anos seguintes a quantidade de publicações permaneceu baixa. As dificuldades na utilização de bactérias para a produção de biodiesel que podem explicar esse baixo número de publicações são a ampliação para escala industrial e o uso de biologia molecular para aumentar a quantidade de óleo produzido, o que pode encarecer o processo e torná-lo mais demorado, além da retirada dos óleos da bactéria para que nenhuma impureza seja

utilizada tornando o biodiesel inadequado às especificações.

5.3 – Perfil de Publicações sobre Biodiesel de Microalgas e Bactérias por Ano

Com a constatação do aumento do número de publicações por ano, é interessante analisar o perfil de número de publicações sobre biodiesel de microalgas e de bactérias separadamente e ambos ao longo do tempo, como mostra a Figura 5.3.

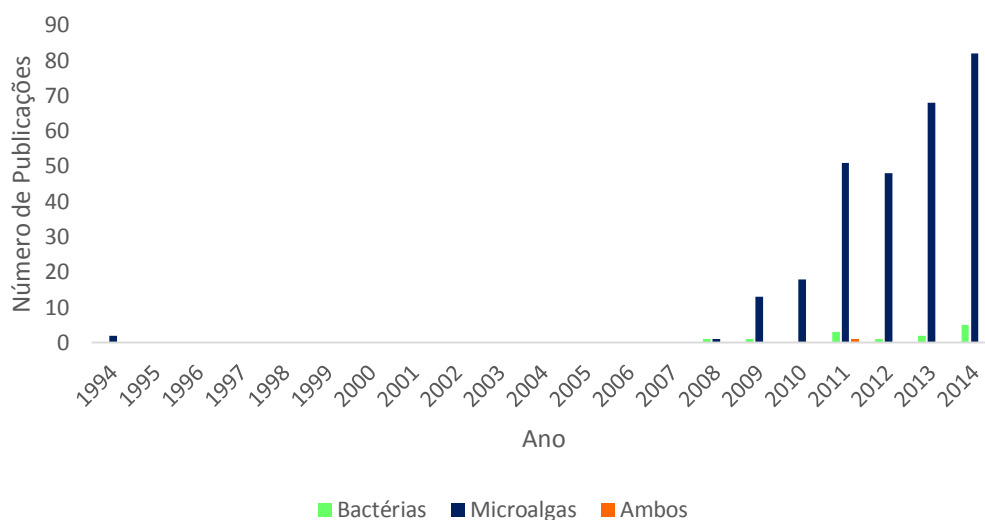


Figura 5.3: Perfil de publicações sobre biodiesel de microalgas e bactérias por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

Os resultados indicam que o número de publicações sobre biodiesel de microalgas cresce ao longo dos anos, enquanto que o biodiesel de bactérias começa a ser desenvolvido. O surgimento de publicações de biodiesel de bactérias em 2008 mostra que é uma tecnologia muito recente e deve-se ao fato de uma busca por mais opções de matérias-primas para a produção de biodiesel.

A Figura 5.4 mostra a taxa de crescimento de publicações sobre biodiesel de microalgas ao longo dos anos mais significativos (2009 a 2014).

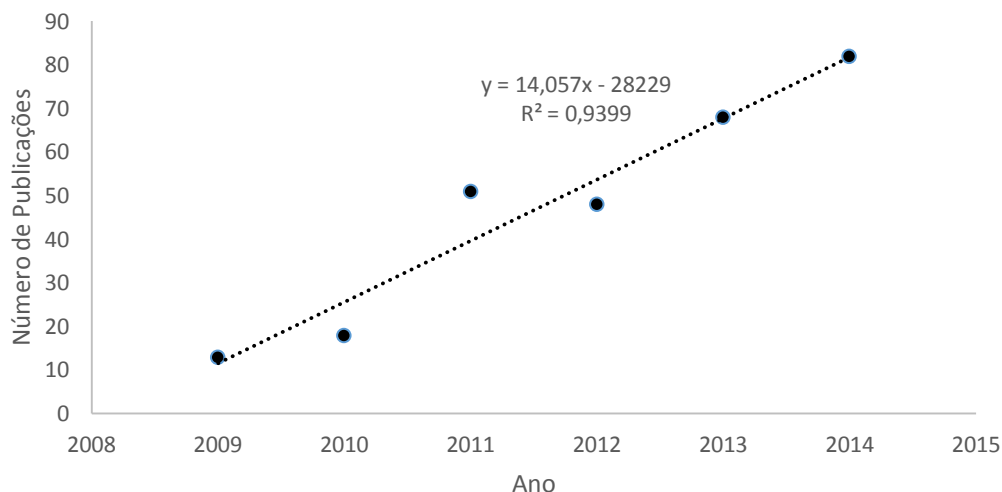


Figura 5.4: Perfil de publicações sobre biodiesel de microalgas por ano com linha de tendência. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014

As publicações sobre biodiesel de microalgas aumentaram um pouco mais de 6 vezes em 2014 comparado a 2009 ($82/13=6,3$). O crescimento do número de artigos sobre biodiesel de microalgas identificado entre 2009 e 2014 é de aproximadamente 14 artigos por ano. Esses resultados mostram que o crescimento obtido na Figura 5.1 é justificado pelo número de artigos sobre biodiesel de microalgas.

Nos artigos analisados foram utilizadas as bactérias *Escherichia coli* e algumas cepas de cianobactérias, como *Synechococcus sp.*, *Cyanmobacteriu aponinum*, *Phormidium sp.*, *Oscillatoria annae BDU6*, *Microcystis aeruginosa cepa NPCD-1*, *Lyngbya sp.*, *Trichormus*, *Leptolyngbya*, *Chlorogloea* e *Synechococcus sp PCC7942*, mostrando que ainda são explorados poucos tipos de bactérias para a produção de biodiesel.

5.4 – Perfil de Publicações por País

Os artigos resultantes da pesquisa foram separados por país em que foram desenvolvidos. É importante salientar que aqueles artigos científicos cujos autores são de mais de um país, foi considerado apenas o país do primeiro autor. Dessa forma, o gráfico de número de publicações por país foi gerado, como mostra a Figura 5.5.

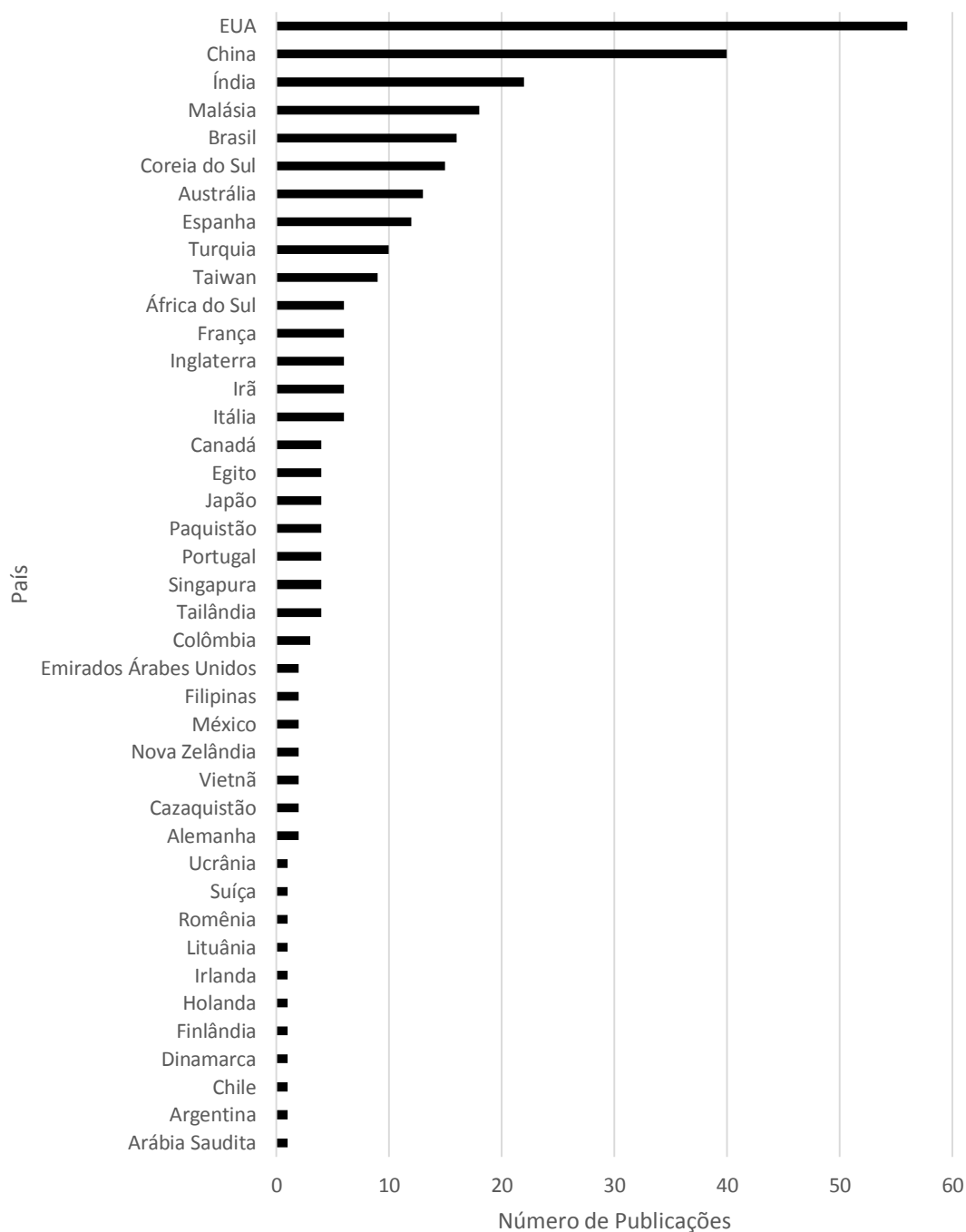


Figura 5.5: Perfil de publicações por país. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

Os EUA e a China foram os países que mais se destacaram em número de publicações. Esses países são as duas maiores economias mundiais e os maiores consumidores de energia e conseqüentemente de petróleo do mundo, o que justifica o grande interesse na pesquisa. Já o Brasil aparece na 5ª posição, totalizando 16 artigos publicados, o que corresponde a 5,4% do total de artigos publicados. Isso mostra a

importância das pesquisas sobre biocombustíveis no Brasil quando comparado com outros países da América do Sul ou mesmo da Europa, confirmando o destaque do Brasil no cenário mundial desse tema.

As tendências de publicações dos EUA e da China por ano são apresentadas nas Figuras 5.6 e 5.7, respectivamente.

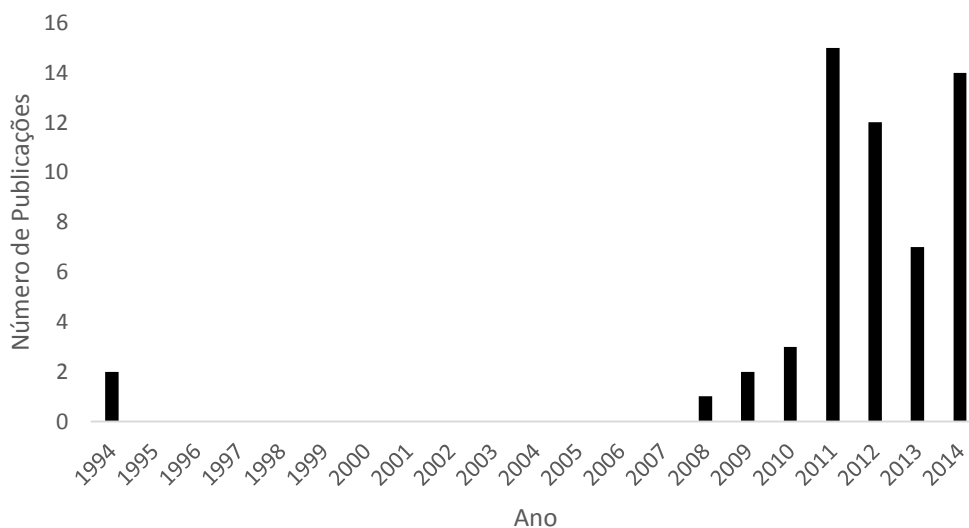


Figura 5.6: Perfil de publicações dos EUA por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

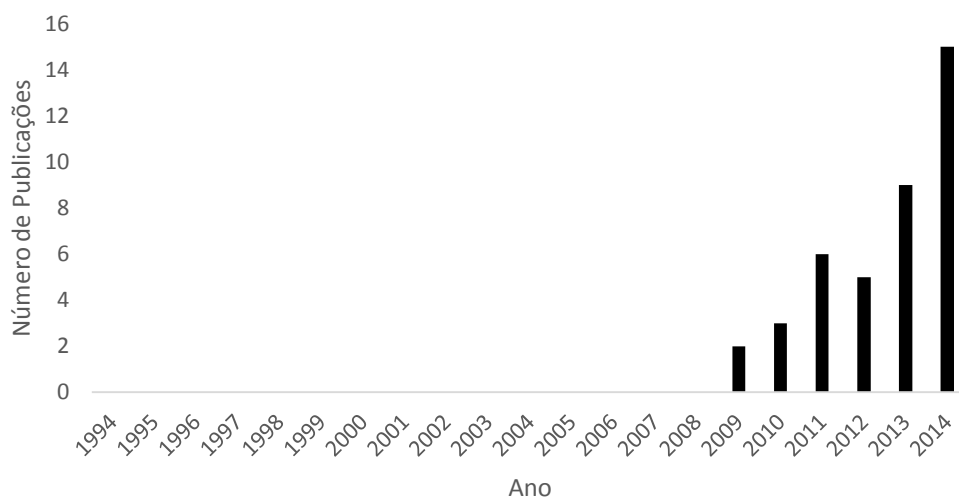


Figura 5.7: Perfil de publicações da China por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

A China começou a publicar artigos sobre biodiesel de microalgas e bactérias em 2009, já os EUA começaram em 1994, com um período de ausência de artigos entre 1995 e 2007. Logo, a China é um país novo na área de pesquisas e publicações de artigos desse tema por ser um país com crescimento econômico recente. Diferente dos EUA que possui destaque na área de pesquisas há muitos anos. Assim, as publicações da China superam as dos EUA somente em 2013 e 2014.

5.5 – Perfil de Publicações por Região

Após a separação dos artigos em país, os países foram separados em região ou continente. A Turquia e o Cazaquistão, como são países transcontinentais, ou seja, que estão em mais de um continente, Europa e Ásia, foram considerados do continente asiático, visto que a maior parte de seus territórios pertencem a esse continente e esse é o continente político. Dessa forma, o perfil de publicações por região foi gerado, como pode ser visto na Figura 5.8.

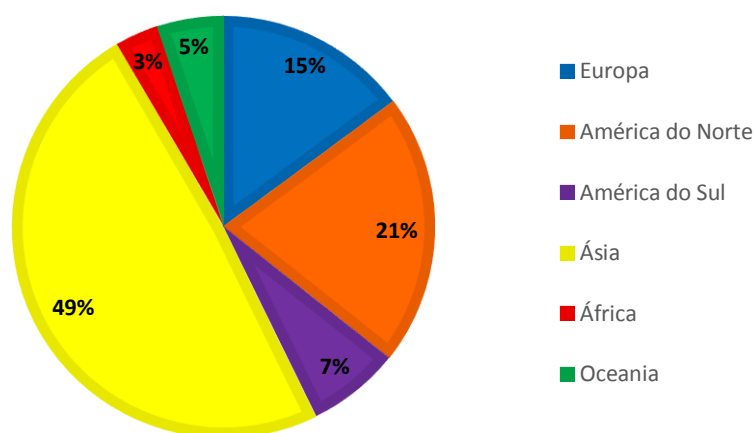


Figura 5.8: Perfil de publicações por região. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014

As regiões que mais se destacam na publicação de artigos são a Ásia e a América do Norte, fato facilmente explicado por serem continentes com os países que possuem as três maiores economias do mundo, EUA, China e Japão, e que são os maiores consumidores de energia, estando em busca de novas fontes de energia para atender às

suas demandas. Os EUA publicaram o correspondente a 90% das publicações da América do Norte e 19% do total publicado no mundo. Já a China publicou 28% do número de artigos da Ásia e 14% do total publicado no mundo. Como a tecnologia é recente e ainda está sendo desenvolvida, a perspectiva desse biodiesel chegar ao mercado ainda é pequena em todas as regiões.

5.6 – Perfil de Publicações por Origem

Os artigos encontrados foram separados por origem, isto é, o tipo de instituição que os publicou, como universidades, centros de pesquisa, empresas ou simplesmente pessoas físicas, representados na Figura 5.9.

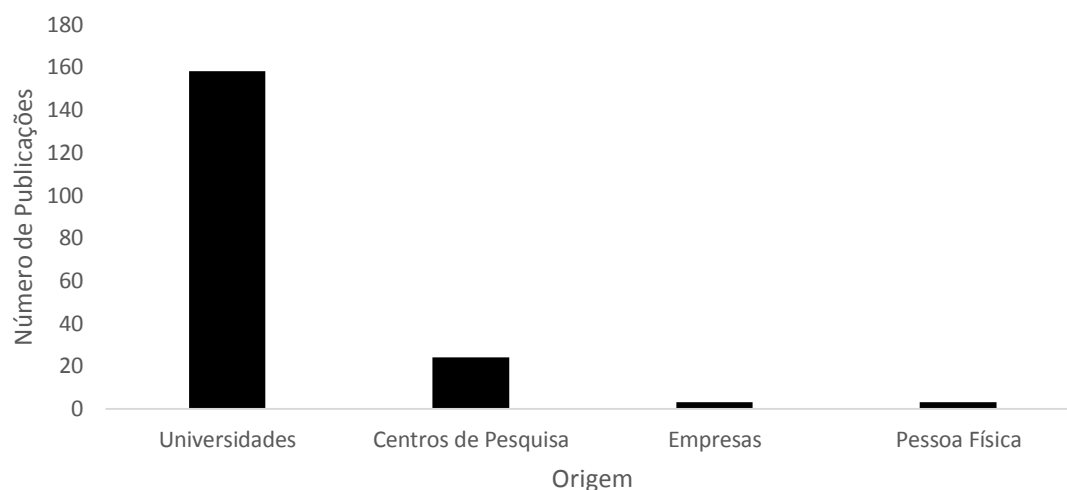


Figura 5.9: Perfil de publicações por origem. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

Pode-se perceber que a grande maioria das publicações é oriunda de universidades, o que é de se esperar, visto que as universidades estão muito engajadas com pesquisas e consequentemente com publicações de artigos. A universidade que mais se destacou foi a University of the Chinese Academic of Sciences com 13 artigos publicados, mostrando o interesse da China em novos combustíveis alternativos. Além disso, quanto mais as empresas investem nessas pesquisas, mais a tecnologia é aprimorada e maior é a possibilidade de o produto entrar no mercado, o que não é muito notável nesse caso, visto que apenas 3 empresas publicaram sobre esse assunto. Isso era

esperado, porque a análise foi feita sobre artigos e não patentes. Assim como no caso da divisão por países, foi considerado o primeiro autor e consequentemente a origem deste autor.

A Tabela 5.1 lista as empresas que publicaram sobre biodiesel a partir de microrganismos. Duas das três empresas que publicaram são dos Estados Unidos e uma é na verdade um centro de pesquisa da empresa Toyota do Japão. Isso mostra o interesse dos EUA em desenvolverem novas tecnologias para obtenção de combustíveis que possam substituir o petróleo e seus derivados. Já o Japão também tem interesse no ramo de energia, visto que é uma economia crescente e também um grande consumidor de energia.

Tabela 5.1: Empresas que publicaram artigos por país.

| Empresa | País |
|--------------------------------|-------------|
| EarthShift LLC | EUA |
| Toyota Cent Res & Dev Labs Inc | Japão |
| SarTec Corp | EUA |

A empresa EarthShift LLC é uma empresa recente que iniciou suas atividades em 2000. Tem como objetivo desmistificar o caminho para a sustentabilidade e incorporar práticas sustentáveis para decisões de negócios cotidianos de uma forma produtiva que melhora o desempenho. Apresenta como clientes empresas como GE Global Research, Dow Chemical Company, PepsiCo International e Johnson & Johnson entre muitas outras. Seu artigo trata do uso de microalgas autotróficas para a produção de biodiesel, extrapolando a escala de laboratório.

Toyota Central Research & Development Labs Inc é um centro de pesquisa, porém trabalha em conjunto com o Grupo Toyota, fornecendo inovações tecnológicas. Seu objetivo é aplicar conceitos pioneiros e tecnologias para serem utilizados pela indústria. Seu artigo aborda a análise de componentes de uma cepa de microalga produtora de biodiesel e o uso de resíduos de biomassa de microalga como fonte de nutrientes para redução dos custos de produção de biodiesel.

A empresa SarTec Corp foi fundada em 1983. Apresenta como objetivo produzir uma linha de produtos à base de mandioca que têm uma ampla utilização desde campo de golfe a indústria do gado. No entanto, em 2006, descobriu um óleo para a produção de biodiesel, pelo processo denominado "Processo de Mcgyan." O processo compreende

uma conversão catalítica de triglicerídeos e ácidos graxos livres em biodiesel. Seu estudo trata do uso de algas para a produção de biodiesel utilizando um processo catalítico contínuo.

Outras empresas puderam ser identificadas como parceiras nos estudos de universidades e centros de pesquisas, porém como não correspondiam ao primeiro autor não estão na Tabela 5.1. São elas: Phycal Inc, NPA Coatings e BrioBiotech em parceria com Johns Hopkins University, EADS Innovat Works, PSA Peugeot Citroen e Alpha Biotech com o centro de pesquisa INRA, MicroBio Engn Inc e Life Cycle Associates LLC com California Polytech State University San Luis Obispo, Pan Pacific Technologies com University Penn, POSCO com o centro de pesquisa Korea Advanced Institute of Science & Technology, Anasys Instruments com University Paris 11, CmcI Innovations com University Cambridge, American Refining Group Inc com New Mexico State University, Solut Recovery System Inc, GAIA Consulting Services e Seambiotic Inc com empresa EarthShift LLC, AECOM DB com Khon Kaen University, ENN Science & Technology Development Ltd com Tsinghua University, Electric Power Development Company Ltd com Tokyo University of Agriculture & Technology e Thermax Ltd Chinchwad com RJSPMs College.

Já os centros de pesquisa são intermediários entre as universidades e as empresas, mostrando que as pesquisas podem estar mais avançadas e por isso a tecnologia pode chegar ao mercado. Na Tabela 5.2, pode-se notar que como já esperado os Estados Unidos, com quatro centros de pesquisa, é o país com mais centros de pesquisa envolvidos com o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao biodiesel de microrganismos. Porém foram publicados 24 artigos por 24 centros de pesquisa, o que mostra uma descentralização no estudo e confirma o fato de a tecnologia ser recente e ainda com pouca participação industrial.

Tabela 5.2: Centros de pesquisa que publicaram artigos por país.

| Centro de Pesquisa | País |
|--|-------------|
| ABRIL | Iran |
| American Chemical Society | USA |
| ARS | USA |
| CAEP | China |
| CEA | France |
| CSIC | Spain |
| CSIRO | Australia |
| Ctr Brasileiro Pesquisas Fisicas (CBPF) | Brazil |
| Indian Inst Chem Technol (CSIR) | India |
| INRA | France |
| Inst Chem & Engn Sci | Singapore |
| IROST | Iran |
| ITM CNR | Italy |
| Korea Inst Energy Res | South Korea |
| KRIBB | South Korea |
| LNEG | Portugal |
| Minist Educ, Engn Res Ctr Sustainable Dev & Utilizat Biomass E | China |
| Natl Acad Sci Ukraine | Ukraine |
| Natl Environm Engn Res Inst | India |
| Natl Inst Technol (INT) | Brazil |
| NATL RENEWABLE ENERGY LAB | USA |
| Natl Res Ctr | Egypt |
| Sandia Natl Labs | USA |
| Viet Nam Acad Sci & Technol (VAST) | Vietnam |

5.7 – Perfil de Publicações pelo Foco da Pesquisa

Os artigos encontrados foram separados considerando o foco da pesquisa, isto é, tratamento e preparação da matéria-prima, processo de produção de biodiesel, avaliação e análise do biodiesel ou do processo e subproduto do processo de produção de biodiesel ou reutilização da matéria-prima, apresentado na Figura 5.10.

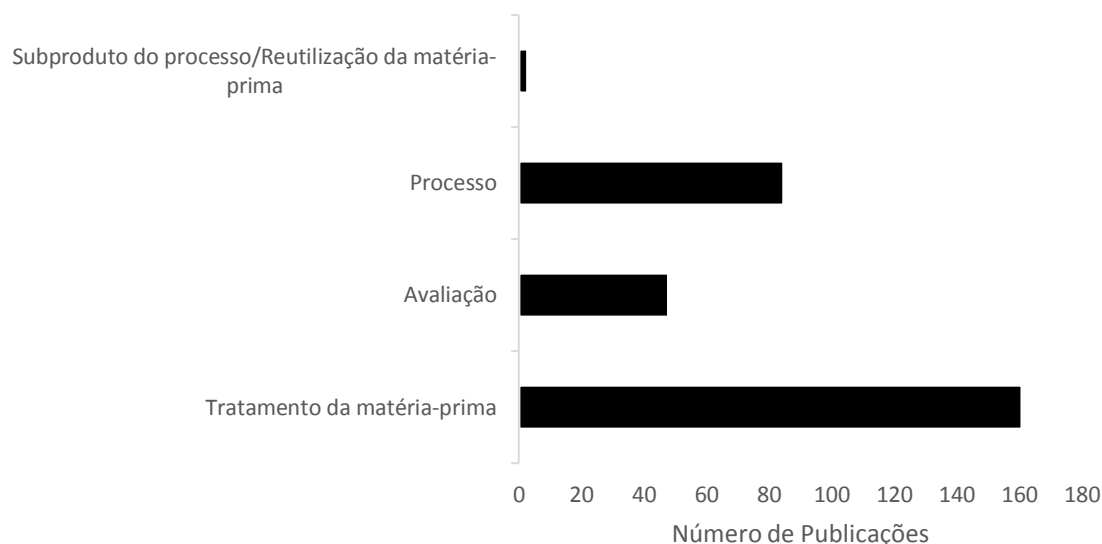


Figura 5.10: Perfil de publicações pelo foco da pesquisa. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014

Ao analisar as publicações quanto a etapa em que o estudo se encontra, conclui-se que a grande maioria delas trata da matéria-prima, o que confirma o fato de ser uma tecnologia nova e as pesquisas abordarem o início do processo. Essa categoria fala da matéria-prima, no caso microalgas e bactérias, como o processo de extração dos seus óleos ou as mudanças genéticas para aumentar o teor de óleo produzido. Já as publicações que tratam do processo enfatizam a produção de biodiesel a partir desses óleos, como a transesterificação. Os artigos que abordam a avaliação fazem uma análise do biodiesel ou do processo como um todo, desde a preparação da matéria-prima até a comercialização do produto, comparando com outros combustíveis por exemplo. Já os artigos que tratam do subproduto ou reutilização da matéria-prima abordam o uso de subprodutos da produção de biodiesel de microrganismos ou o reaproveitamento da matéria-prima, microalgas e bactérias, após seus óleos terem sido utilizados na produção de biodiesel.

As publicações, considerando o foco da pesquisa, foram separadas por ano, como é mostrado na Figura 5.11.

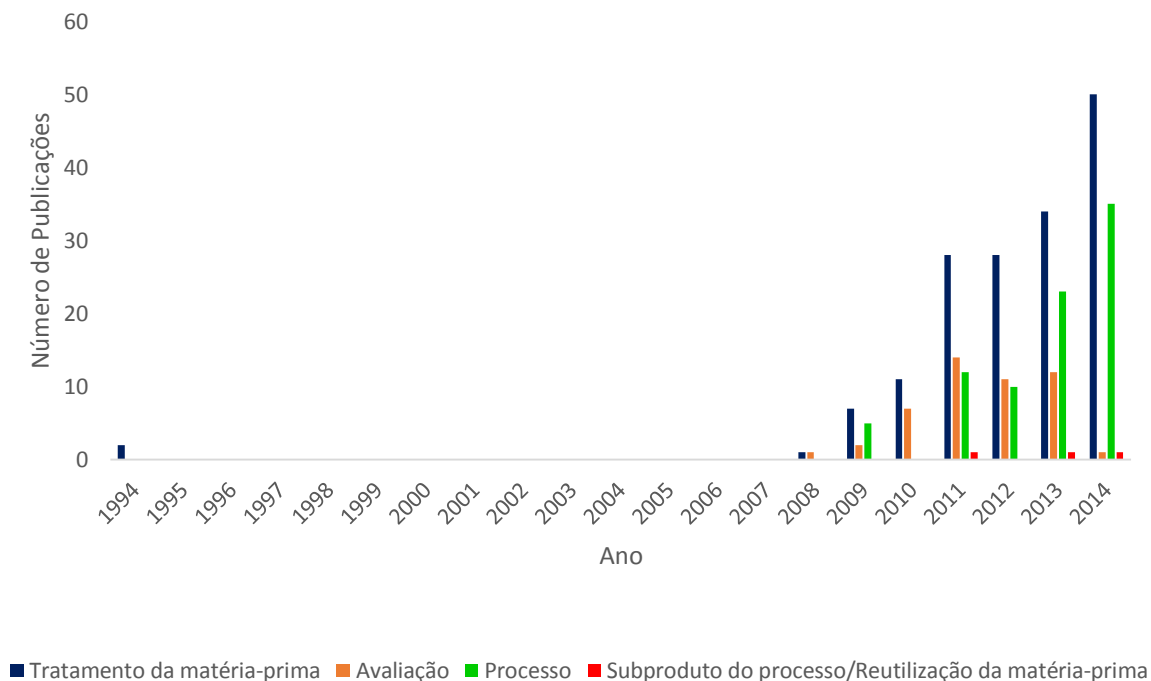


Figura 5.11: Perfil de publicações pelo foco da pesquisa por ano. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 - 2014

As publicações que abordam o tratamento da matéria-prima e o processo de produção de biodiesel tiveram posição de destaque principalmente nos anos de 2013 e 2014, e no ano de 2009 em uma menor escala. Já as que abordam a avaliação do biodiesel de microrganismos ou do processo se destacaram em 2010 e 2011 juntamente com as de tratamento da matéria-prima. Enquanto que as publicações sobre o subproduto do processo de produção de biodiesel ou reutilização da matéria-prima ficaram dissolvidas entre 2011, 2013 e 2014. Portanto, o tratamento da matéria-prima ainda é o foco das pesquisas de biodiesel a partir de microalgas e bactérias ao longo dos anos.

As publicações, considerando o foco da pesquisa, também foram separadas por país que as publicaram, como é apresentado na Figura 5.12.

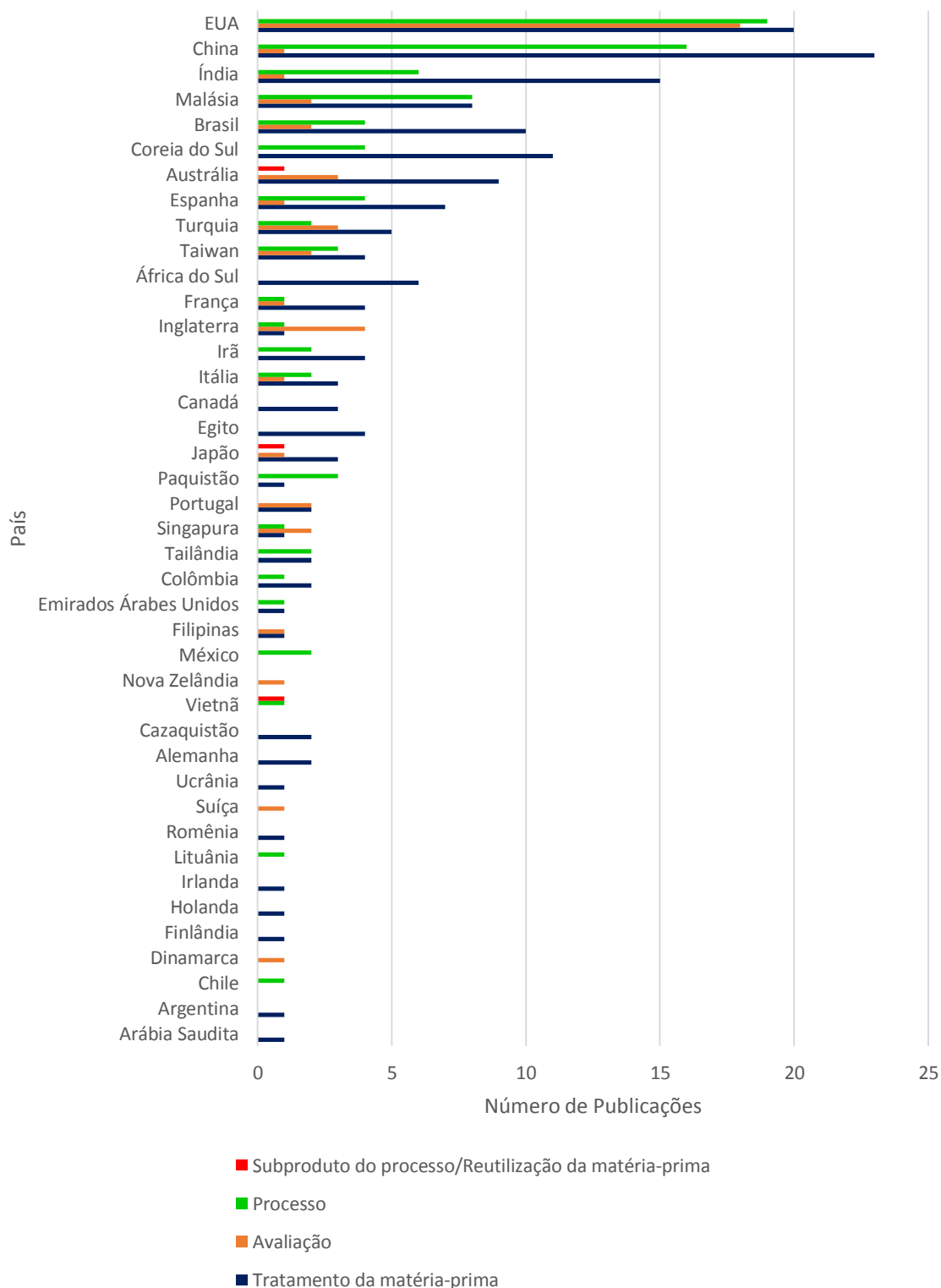


Figura 5.12: Perfil de publicações pelo foco da pesquisa por país. Dados de uma seleção de 297 artigos resultante da busca avançada na base WoS das palavras-chaves biodiesel, bactéria e microalga (TS=microalgae OR bacteria AND TI=biodiesel) entre os anos 1945 – 2014

As publicações que abordam o tratamento da matéria-prima e o processo de produção de biodiesel foram as que mais se destacaram na maioria dos países. Com

raras exceções como é o caso da Dinamarca, Nova Zelândia e Suíça que somente publicaram artigos sobre a avaliação do biodiesel obtido a partir de microrganismos ou do processo de produção desse biodiesel.

Nos EUA, as publicações sobre tratamento da matéria-prima e o processo de produção de biodiesel tiveram destaque, porém 18 artigos sobre a avaliação do biodiesel de microalgas e bactérias ou do processo foram publicados, um número bem expressivo.

Já na China, foi publicado somente um artigo sobre a avaliação do biodiesel ou do processo, enquanto que o tratamento da matéria-prima e o processo de produção de biodiesel foram etapas muito abordadas.

Considerando as empresas que publicaram artigos sobre o biodiesel de microalgas e bactérias, seus artigos também foram separados por etapa em que o processo tecnológico se encontra.

A empresa Earthshift LLC publicou um artigo que foi considerado na etapa de avaliação do processo ou biodiesel produzido, visto que trata da extrapolação da escala de produção laboratorial para a industrial, utilizando dados teóricos, analisando também os gases de efeito estufa liberados pelo biodiesel de microalgas e sua produtividade.

A empresa Toyota Central Research & Development Labs Inc publicou um artigo que foi considerado como tratamento da matéria-prima, já que aborda o uso de resíduos de biomassa de microalgas após a extração de seus óleos como fonte de nutrientes para o crescimento de outras microalgas, diminuindo os custos de produção de biodiesel.

A empresa SarTec Corporation publicou um artigo que foi considerado abordando o processo de produção de biodiesel a partir de microalgas, visto que trata do processo catalítico contínuo de Macgyan® para a produção de biodiesel a partir de microalgas.

Como poucos artigos abordam o biodiesel a partir de bactérias, é interessante também analisar seus dados. Assim, a Tabela 5.3 mostra as informações de ano, país, origem e etapa em que o processo tecnológico se encontra desses 13 artigos.

Tabela 5.1: Informações dos artigos sobre biodiesel a partir de bactéria.

| Ano | País | Origem | Etapa em que o processo tecnológico se encontra |
|------|---------|---------------|---|
| 2008 | EUA | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2009 | China | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2011 | Índia | Universidade | Processo |
| 2011 | Turquia | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2011 | China | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2012 | Brasil | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2013 | Brasil | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2013 | Índia | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2014 | Índia | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2014 | Índia | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2014 | França | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2014 | Itália | Universidade | Tratamento da matéria-prima |
| 2014 | Brasil | Pessoa Física | Tratamento da matéria-prima |

Os artigos que abordam o biodiesel a partir de bactéria se destacam na Índia, com 4 publicações, e no Brasil, com 3 publicações, e são muito recentes, já que a maioria foi publicado em 2014. Além disso, somente um artigo não foi publicado por universidade, mas sim por pessoa física. Também nota-se que um único artigo não aborda o tratamento da matéria-prima, mas sim o processo de produção de biodiesel a partir de bactéria. Logo, é uma tecnologia que está começando a ser desenvolvida e ainda não tem muita perspectiva de chegar ao mercado.

A Tabela 5.4 mostra as informações de ano, país, origem e etapa em que o processo tecnológico se encontra do único artigo que aborda o biodiesel a partir de bactéria e a partir de microalgas simultaneamente.

Tabela 5.2: Informações do artigo sobre biodiesel a partir de bactéria e microalgas simultaneamente.

| Ano | País | Origem | Etapa em que o processo tecnológico se encontra |
|------|------|--------------|---|
| 2011 | EUA | Universidade | Processo |

O artigo que aborda o biodiesel a partir de bactéria e microalga simultaneamente foi publicado pelos EUA em 2011 por uma universidade, e trata do processo de produção desse biodiesel a partir de microrganismos.

Capítulo 6 – Conclusão

Considerando os resultados da pesquisa realizada pela bibliometria, percebe-se que houve um aumento no número total de artigos publicados ao longo dos anos. Esse aumento se deve às publicações de biodiesel de microalgas com uma taxa de 14 artigos por ano, o que mostra um interesse crescente na tecnologia analisada. Com isso, a bibliometria pode facilitar o processo de tomada de decisão relacionada aos investimentos em tecnologia, diminuindo as incertezas de quem pretende investir nesse estudo.

Em relação aos países em que esses artigos foram publicados, os EUA foi o que mais publicou, com 56 artigos seguido pela China com 40 artigos. Isso se deve ao fato de serem duas das maiores economias do mundo e que por terem grande dependência de energia, estão buscando fontes alternativas ao combustível fóssil. Já o Brasil, apesar da quantidade inferior de artigos quando comparado ao cenário mundial, ocupou a 5ª posição. Logo, os continentes com os maiores números de publicações de artigos foram a Ásia com 49% do total, seguido pela América do Norte com 21%.

No que diz respeito à origem das pesquisas de produção de biodiesel a partir de microalgas e bactérias, foi observado que ela está centralizada nas universidades dos Estados Unidos e da China. A universidade pública Chinese Academic of Sciences foi a que mais se destacou, publicando 13 artigos. Portanto, ainda é uma tecnologia com pouca perspectiva de chegar ao mercado.

Com relação ao tipo de estudo abordado, o tratamento da matéria-prima, no caso microalgas e bactérias, está presente em 162 artigos, seguido pelo processo de produção do biodiesel, em 85 artigos. Isso mostra como a tecnologia é muito recente e a maioria dos estudos são para aumentar a capacidade de produção de óleo em microalgas e bactérias e outros tipos de preparo e tratamento dessas matérias-primas.

Portanto, é uma tecnologia que deve ser mais bem explorada devido às vantagens que apresenta em comparação com outras matérias-primas, e por ser muito recente são grandes os desafios a serem enfrentados e as potencialidades a serem desenvolvidas e exploradas para a produção e futura comercialização desse biodiesel. Como as universidades foram as que mais publicaram artigos sobre essa tecnologia, devem-se adotar políticas públicas que favoreçam a interação universidade-empresa para que a tecnologia possa de fato chegar ao mercado.

Além disso, para obter um resultado mais confiável com relação às decisões a serem tomadas pode-se combinar o uso da bibliometria com métodos de prospecção e pesquisar documentos de patente para obter maior conhecimento sobre a aplicação comercial da tecnologia.

Referências Bibliográficas

- ALVAREZ, H.M.; STEINBÜCHEL, A. Triacylglycerols in prokaryotic microorganisms. **Applied Microbiology Biotechnology**, v.60, p. 367-376. 2002.
- ANP, 2014. RESOLUÇÃO ANP N° 45. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml Acesso em: 09/09/2014
- ANP, 2015. Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?id=470> Acesso em: 05/07/2015
- ARAÚJO, C. D. M.; ANDRADE, C. C.; SILVA, E. S.; DUPAS, F. A. Biodiesel production from used cooking oil: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 27 p. 445–452. 2013.
- ARAÚJO, L. G.; SOUSA, K. C. I. Pinhão manso para produção de biodiesel. **Revista Anhanguera**. v. 9, n.1, p. 95-119. 2008.
- BERGMANN, J.C.; TUPINAMBÁ, D. D; COSTA, O. Y. A.; ALMEIDA, J. R. M.; BARRETO, C. C; QUIRINO, B. F. Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 21. p. 411–420. 2013.
- BIBENG – Biblioteca da Escola de Engenharia da UFRGS. Web of Science tutorial. Disponível em: http://www.ufrgs.br/bibeng/wp-content/uploads/2014/02/WEB_OF_SCIENCE.pdf Acesso em: 28/05/2015
- BIODIESELBR, 2014. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel.htm> Acesso em: 02/09/2104
- BLOOMBERG. Santander asset management. 2011.
- CANDEIA, R. A. Biodiesel de soja: síntese, degradação e misturas binárias. Universidade Federal da Paraíba p. 8. 2008.
- CHARLES, C.; GERASIMCHUK, I.; BRIDLE, R.; MOERENHOUT, T.; ASMELASH, E.; LAAN, T. Biofuels - at what cost? A review of costs and benefits of EU biofuel policies. **Research report**. 2013.
- CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnol. Adv.** v.25, p.294-306. 2007.
- COSTA, R. E. Inventário do ciclo de vida do biodiesel obtido a partir do óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. 2007.
- DAIM, T. U.; RUEDA, G.; MARTIN, H.; GERDSRI, P. Forecasting emerging technologies: use of bibliometrics and patent analysis. **Technological Forecasting & Social Change**. v. 73, p. 981-1012. 2006.

EMBRAPA, 2014. Disponível em:
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn002wx5eo0sawqe38tspejq.html> Acesso em: 02/09/2014

ENCARNAÇÃO, A. P. G. Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008.

FRANCO, A. L. C.; LÔBO, I. P.; CRUZ, R. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; NETO, J. A. A.; MENEZES, R. S. Biodiesel de microalgas: avanços e desafios. **Química Nova**. v. 38, n. 3. São Paulo. 2013.

GENOMIC GLOSSARIES. Pharmaceutical bioprocessing & manufacturing glossary & taxonomy. Disponível em:
<http://www.genomicglossaries.com/content/bioprocessing.asp> Acesso em: 29/07/2015

GUARIEIRO, L. L. N.; RIBEIRO, N. B.; PINTO, A. C. Metodologia analítica para avaliar o teor de misturas diesel: biodiesel utilizando infravermelho. II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel.

INFOPETRO, 2011. A crise no mundo árabe e o preço do petróleo. Disponível em:
<https://infopetro.wordpress.com/2011/02/28/a-crise-no-mundo-arabe-e-o-preco-do-petroleo/> Acesso em: 16/06/2015

KRAUSE, L. C. Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

LIANG, M. H. E JIANG, J. G. Advancing oleaginous microorganisms to produce lipid via metabolic engineering technology. **Progress in Lipid Research**. v.52, p.395-408. 2013.

LÔBO, I. P. E FERREIRA, S. L. C. Biodiesel: Parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**. v.32, n. 6, p.1596-1608. 2009.

MEIRELLES, F. S. Biodiesel. Fórum de Energia. 2003.

MENG, X.; YANG, J.; XU, X.; ZHANG, L.; NIE, Q.; XIAN, M. Biodiesel production from oleaginous microorganisms. **Renewable Energy**. v.34, p.1-5. 2009.

MILLI, B. B., GRIPA, D. C., SIMONELLI, G., MARTINS, M. O. D. Produção de biodiesel a partir da mistura de sebo bovino com óleo vegetal. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia**. v. 7, n. 12. 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2015. Programa de produção sustentável de óleo de palma no Brasil. Disponível em:
http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Palma_de_oleo/1_reuniao/Programa.pdf Acesso em: 07/05/2015

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006. Biodiesel. Disponível em:

http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/cartilha_biodiesel.pdf Acesso em: 19/01/2015

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014. Relatório final do balanço energético final 2014, ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf Acesso em: 27/08/2014

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa> Acesso em: 01/09/2014

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biocombustiveis> Acesso em: 08/01/2015

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P., 2008. Biodiesel: possibilidades e desafios. **Química Nova na Escola**. Sociedade Brasileira de Química. 2008.

OMACHI, I. H.; RODRIGUES, L. G.; STOLF, M.; CANNAVAL, R.; SOBREIRO, R. Produção de biomassa florestal para exportação: o caso da AMCEL. Biomassa & Energia/Rede Nacional de Biomassa para Energia – Viçosa: **RENABIO: UFV**. v. 1, n. 1, p. 29-36. 2004.

PIRES, M. M.; ALVES, J. M.; NETO, J. A. A.; ALMEIDA, C. M.; SOUSA, G. S.; CRUZ, R. S.; MONTEIRO, R.; LOPES, B. S.; ROBRA, S. Biodiesel de mamona: uma avaliação econômica. I Congresso Brasileiro de Mamona. 2004.

PLÁ, J. A. Histórico do biodiesel e suas perspectivas. 2003.

PORTER, A. L. How tech mining can enhance R&D management. **Research Technology Management**. v. 50, n. 2, p. 15. 2007.

RIZZI, B.; SILVA, G.; MAIOR, S. T. Mamona como biocombustível. **Bolsista de Valor: Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobrás e IF Fluminense**. v.1, p. 317-320. 2010.

SANTOS, V. F. Biodiesel: o combustível ecológico. **Bolsista de Valor: Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobrás e IF Fluminense**. v. 2, n. 1, p. 215-219. 2012.

SEBRAE. Biodiesel. Disponível em: [http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/D170D324C7521915832572B200470F63/\\$File/NT00035116.pdf](http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/D170D324C7521915832572B200470F63/$File/NT00035116.pdf) Acesso em: 19/01/2015

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, 2015. Projeto matriz brasileira de combustíveis. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/etanol/matrizbrasileirabiocombustiveis.pdf> Acesso em: 06/05/2015

SILVA, A. E. Estudo do processo enzimático de produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais de fritura. Universidade Federal de Alagoas. 2010.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**. v. 38, n. 3. Santa Maria. 2008.

SUPERINTENDÊNCIA DE ABASTECIMENTO, 2014. IX Seminário de Avaliação do Mercado de Derivados do Petróleo e Biocombustíveis. Disponível em <http://slideplayer.com.br/slide/2660901/#> Acesso em: 12/12/2014

THOMSON REUTERS A, 2008. Whitepaper using bibliometrics: A guide to evaluating research performance with citation data. Disponível em: http://ip-science.thomsonreuteurs.com/m/pdfs/325133_thomson.pdf

THOMSON REUTERS B. Disponível em: <http://thomsonreuteurs.com> Acesso em: 22/06/2015

TURATTI, J. M. Óleos vegetais como fontes de alimentos funcionais. **Simpósio sobre Alimentos Funcionais para o Novo Milênio: Qualidade de Vida e Saúde**. Unicamp (Universidade de Campinas). p.13-14. 2000.

UOL ECONOMIA, 2008. Terceira crise do petróleo: mais violenta e perigosa que as anteriores. Disponível em: <http://economia.uol.com.br/ultnot/2008/06/10/ult35u60222.jhtm> Acesso em: 10/06/2015

VEDANA, 2006. As desvantagens do biodiesel. Blog Biodieselbr. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/blog/vedana/2006/biodiesel-desvantagens/> Acesso em: 18/09/2014

YOSHIDA, N. D. Análise bibliométrica: um estudo aplicado à previsão tecnológica. Tese de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade de São Paulo (USP). **Future Studies Research Journal**. v. 2, n. 1, p. 52-84. 2010.

Anexo 1

| Autor | Título | Nome da Publicação | Ano |
|---|---|--|------|
| Teo, SH Islam, A Yusaf, T Taufiq-Yap, YH | Transesterification of <i>Nannochloropsis oculata</i> microalga's oil to biodiesel using calcium methoxide catalyst | ENERGY | 2014 |
| Martin, M Grossmann, IE | Design of an optimal process for enhanced production of bioethanol and biodiesel from algae oil via glycerol fermentation | APPLIED ENERGY | 2014 |
| Hoang, MH Ha, NC Thom, LT Tam, LT Anh, HTL Thu, NTH Hong, DD | Extraction of squalene as value-added product from the residual biomass of <i>Schizochytrium mangrovei</i> PQ6 during biodiesel producing process | JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING | 2014 |
| Lam, MK Lee, KT | Cultivation of <i>Chlorella vulgaris</i> in a pilot-scale sequential-baffled column photobioreactor for biomass and biodiesel production | ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT | 2014 |
| Ashokkumar, V Agila, E Sivakumar, P Salam, Z Rengasamy, R Ani, FN | Optimization and characterization of biodiesel production from microalgae <i>Botryococcus</i> grown at semi-continuous system | ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT | 2014 |
| Bohutskyi, P Kula, T Kessler, B Hong, Y Bouwer, EJ Betenbaugh, MJ Allnut, FCT | Mixed Trophic State Production Process for Microalgal Biomass with High Lipid Content for Generating Biodiesel and Biogas | BIOENERGY RESEARCH | 2014 |
| Xia, L Song, SX He, QN Yang, HJ Hu, CX | Selection of microalgae for biodiesel production in a scalable outdoor photobioreactor in north China | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Teo, CL Idris, A | Rapid alkali catalyzed transesterification of microalgae lipids to biodiesel using simultaneous cooling and microwave heating and its optimization | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Feng, PZ Yang, K Xu, ZB Wang, ZM Fan, L Qin, L Zhu, SN Shang, CH Chai, P Yuan, ZH Hu, L | Growth and lipid accumulation characteristics of <i>Scenedesmus obliquus</i> in semi-continuous cultivation outdoors for biodiesel feedstock production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| McCurdy, AT Higham, AJ Morgan, MR Quinn, JC Seefeldt, LC | Two-step process for production of biodiesel blends from oleaginous yeast and microalgae | FUEL | 2014 |
| Maroneze, MM Barin, JS de Menezes, CR Queiroz, MI Zepka, LQ Jacob-Lopes, E | Treatment of cattle-slaughterhouse wastewater and the reuse of sludge for biodiesel production by microalgal heterotrophic bioreactors | SCIENTIA AGRICOLA | 2014 |
| Tercero, EAR Domenicali, G Bertucco, A | Autotrophic production of biodiesel from microalgae: An updated process and economic analysis | ENERGY | 2014 |
| Wang, Y Liu, J Gerken, H Zhang, CW Hu, Q Li, YT | Highly-efficient enzymatic conversion of crude algal oils into biodiesel | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Wang, H Ji, CL Bi, SL Zhou, P Chen, L Liu, TZ | Joint production of biodiesel and bioethanol from filamentous oleaginous microalgae <i>Tribonema</i> sp. | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Ashokkumar, V Agila, E Salam, Z Ponraj, M Din, MFM Ani, FN | A study on large scale cultivation of <i>Microcystis aeruginosa</i> under open raceway pond at semi-continuous mode for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Teo, CL Idris, A | Enhancing the various solvent extraction method via microwave irradiation for extraction of lipids from marine microalgae in biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Misra, R Guldhe, A Singh, P Rawat, I Bux, F | Electrochemical harvesting process for microalgae by using nonsacrificial carbon electrode: A sustainable approach for biodiesel production | CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL | 2014 |
| Collet, P Lardon, L Helias, A Bricout, S Lombaert-Valot, I Perrier, B Lepine, O Steyer, JP Bernard, O | Biodiesel from microalgae - Life cycle assessment and recommendations for potential improvements | RENEWABLE ENERGY | 2014 |
| Holbrook, GP Davidson, Z Tataru, RA Ziemer, NL Rosentrater, KA Grayburn, WS | Use of the microalga <i>Monoraphidium</i> sp grown in wastewater as a feedstock for biodiesel: Cultivation and fuel characteristics | APPLIED ENERGY | 2014 |
| Cheng, J Huang, R Li, T Zhou, JH Cen, KF | Biodiesel from wet microalgae: Extraction with hexane after the microwave-assisted transesterification of lipids | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Wu, HQ Miao, XL | Biodiesel quality and biochemical changes of microalgae <i>Chlorella pyrenoidosa</i> and <i>Scenedesmus obliquus</i> in response to nitrate levels | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Ponnusamy, S Reddy, HK | Life cycle assessment of biodiesel production from algal bio- | BIORESOURCE | 2014 |

| | | | |
|---|---|---|------|
| Muppaneni, T Downes, CM Deng, SG | crude oils extracted under subcritical water conditions | TECHNOLOGY | |
| Onay, M Sonmez, C Oktem, HA Yucel, AM | Thermo-resistant green microalgae for effective biodiesel production: Isolation and characterization of unialgal species from geothermal flora of Central Anatolia | BIORESOURCETECHNOLOGY | 2014 |
| Tal, M Ghosh, S Kapadnis, B Kale, S | Isolation and characterization of microalgae for biodiesel production from Nisargruna biogas plant effluent | BIORESOURCETECHNOLOGY | 2014 |
| de la Cruz, V Hernandez, S Martin, M Grossmann, IE | Integrated Synthesis of Biodiesel, Bioethanol, Isobutene, and Glycerol Ethers from Algae | INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH | 2014 |
| Taher, H Al-Zuhair, S Al-Marzouqi, AH Haik, Y Farid, M | Enzymatic biodiesel production of microalgae lipids under supercritical carbon dioxide: Process optimization and integration | BIOCHEMICAL ENGINEERING JOURNAL | 2014 |
| Nascimento, IA Marques, SSI Cabanelas, ITD de Carvalho, GC Nascimento, MA de Souza, CO Druzian, JI Hussain, J Liao, W | Microalgae Versus Land Crops as Feedstock for Biodiesel: Productivity, Quality, and Standard Compliance | BIOENERGY RESEARCH | 2014 |
| Ma, YB Wang, ZY Yu, CJ Yin, YH Zhou, GK | Evaluation of the potential of 9 Nannochloropsis strains for biodiesel production | BIORESOURCETECHNOLOGY | 2014 |
| Rincon, LE Jaramillo, JJ Cardona, CA | Comparison of feedstocks and technologies for biodiesel production: An environmental and techno-economic evaluation | RENEWABLE ENERGY | 2014 |
| Zhu, LD Hiltunen, E Shu, Q Zhou, WZ Li, ZH Wang, ZM | Biodiesel production from algae cultivated in winter with artificial wastewater through pH regulation by acetic acid | APPLIED ENERGY | 2014 |
| Santos, CA Nobre, B da Silva, TL Pinheiro, HM Reis, A | Dual-mode cultivation of Chlorella protothecoides applying inter-reactors gas transfer improves microalgae biodiesel production | JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Dai, YM Chen, KT Chen, CC | Study of the microwave lipid extraction from microalgae for biodiesel production | CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL | 2014 |
| Shin, HY Ryu, JH Bae, SY Crofcheck, C Crocker, M | Lipid extraction from Scenedesmus sp microalgae for biodiesel production using hot compressed hexane | FUEL | 2014 |
| Huang, JJ Xia, J Yang, Z Guan, FF Cui, D Guan, GH Jiang, W Li, Y | Improved production of a recombinant Rhizomucor miehei lipase expressed in Pichia pastoris and its application for conversion of microalgae oil to biodiesel | BIOTECHNOLOGY FOR BIOFUELS | 2014 |
| Jia, ZC Liu, Y Daroch, M Geng, S Cheng, JJ | Screening, Growth Medium Optimisation and Heterotrophic Cultivation of Microalgae for Biodiesel Production | APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Yun, HS Lee, H Park, YT Ji, MK Kabra, AN Jeon, C Jeon, BH Choi, J | Isolation of Novel Microalgae from Acid Mine Drainage and Its Potential Application for Biodiesel Production | APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Chu, FF Shen, XF Lam, PKS Zeng, RJ | Optimization of CO ₂ concentration and light intensity for biodiesel production by Chlorella vulgaris FACHB-1072 under nitrogen deficiency with phosphorus luxury uptake | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2014 |
| Bharti, RK Srivastava, S Thakur, IS | Extraction of extracellular lipids from chemoautotrophic bacteria Serratia sp ISTD04 for production of biodiesel | BIORESOURCETECHNOLOGY | 2014 |
| Wahidin, S Idris, A Shaleh, SRM | Rapid biodiesel production using wet microalgae via microwave irradiation | ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT | 2014 |
| Singh, J Tripathi, R Thakur, IS | Characterization of endolithic cyanobacterial strain, Leptolyngbya sp. ISTDY101, for prospective recycling of CO ₂ and biodiesel production | BIORESOURCETECHNOLOGY | 2014 |
| Teo, CL Jamaluddin, H Zain, NAM Idris, A | Biodiesel production via lipase catalysed transesterification of microalgae lipids from Tetraselmis sp. | RENEWABLE ENERGY | 2014 |
| Guldhe, A Singh, B Rawat, I Ramluckan, K Bux, F | Efficacy of drying and cell disruption techniques on lipid recovery from microalgae for biodiesel production | FUEL | 2014 |
| Girard, JM Roy, ML Ben Hafsa, M Gagnon, J Faucheux, N Heitz, M Tremblay, R Deschenes, JS | Mixotrophic cultivation of green microalgae Scenedesmus obliquus on cheese whey permeate for biodiesel production | ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS | 2014 |
| Hu, Q Zeng, R Zhang, SX Yang, ZH Huang, H | Production of Microalgal Lipids as Biodiesel Feedstock with Fixation of CO ₂ by Chlorella vulgaris | FOOD TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Rattanapoltee, P Kaewkannetra, P | Utilization of Agricultural Residues of Pineapple Peels and Sugarcane Bagasse as Cost-Saving Raw Materials in Scenedesmus acutus for Lipid Accumulation and Biodiesel Production | APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Taher, H Al-Zuhair, S Al-Marzouqi, AH Haik, Y Farid, M | Effective extraction of microalgae lipids from wet biomass for biodiesel production | BIOMASS & BIOENERGY | 2014 |

| | | | |
|--|---|--|------|
| Adesanya, VO Cadena, E Scott, SA Smith, AG | Life cycle assessment on microalgal biodiesel production using a hybrid cultivation system | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Ho, SH Nakanishi, A Ye, XT Chang, JS Hara, K Hasunuma, T Kondo, A | Optimizing biodiesel production in marine <i>Chlamydomonas</i> sp JSC4 through metabolic profiling and an innovative salinity-gradient strategy | BIOTECHNOLOGY FOR BIOFUELS | 2014 |
| Woertz, IC Benemann, JR Du, N Unnasch, S Mendola, D Mitchell, BG Lundquist, TJ | Life Cycle GHG Emissions from Microalgal Biodiesel - A CA-GREET Model | ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | 2014 |
| Salehzadeh, A Naeemi, AS Arasteh, A | Biodiesel Production from <i>Azolla filiculoides</i> (Water Fern) | TROPICAL JOURNAL OF PHARMACEUTICAL RESEARCH | 2014 |
| Gutierrez-Arriaga, CG Serna-Gonzalez, M Ponce-Ortega, JM El-Halwagi, MM | Sustainable Integration of Algal Biodiesel Production with Steam Electric Power Plants for Greenhouse Gas Mitigation | ACS SUSTAINABLE CHEMISTRY & ENGINEERING | 2014 |
| Vello, V Phang, SM Chu, WL Majid, NA Lim, PE Loh, SK | Lipid productivity and fatty acid composition-guided selection of <i>Chlorella</i> strains isolated from Malaysia for biodiesel production | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2014 |
| Teo, CL Atta, M Bukhari, A Taisir, M Yusuf, AM Idris, A | Enhancing growth and lipid production of marine microalgae for biodiesel production via the use of different LED wavelengths | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Song, MM Pei, HY Hu, WR Zhang, S Ma, GX Han, L Ji, Y | Identification and characterization of a freshwater microalga <i>Scenedesmus</i> SDEC-8 for nutrient removal and biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Makareviciene, V Skorupskaite, V Levisauskas, D Andruleviciute, V Kazancev, K | The optimization of biodiesel fuel production from microalgae oil using response surface methodology | INTERNATIONAL JOURNAL OF GREEN ENERGY | 2014 |
| Ahmad, AL Yasin, NHM Derek, CJC Lim, JK | Kinetic studies and thermodynamics of oil extraction and transesterification of <i>Chlorella</i> sp for biodiesel production | ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY | 2014 |
| Silva, C Soliman, E Cameron, G Fabiano, LA Seider, WD Dunlop, EH Coaldrake, AK | Commercial-Scale Biodiesel Production from Algae | INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH | 2014 |
| Dassey, AJ Hall, SG Theegala, CS | An analysis of energy consumption for algal biodiesel production: Comparing the literature with current estimates | ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS | 2014 |
| Wang, JH Yang, HZ Wang, F | Mixotrophic Cultivation of Microalgae for Biodiesel Production: Status and Prospects | APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Ryu, BG Kim, J Yoo, G Lim, JT Kim, W Han, JI Yang, JW | Microalgae-mediated simultaneous treatment of toxic thiocyanate and production of biodiesel | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Abdelaziz, AEM Leite, GB Belhaj, MA Hallenbeck, PC | Screening microalgae native to Quebec for wastewater treatment and biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| O'Neil, GW Knothe, G Williams, JR Burlow, NP Culler, AR Corliss, JM Carmichael, CA Reddy, CM | Synthesis and Analysis of an Alkenone-Free Biodiesel from <i>Isochrysis</i> sp. | ENERGY & FUELS | 2014 |
| Nautiyal, P Subramanian, KA Dastidar, MG | Production and characterization of biodiesel from algae | FUEL PROCESSING TECHNOLOGY | 2014 |
| Dassey, AJ Theegala, CS | Reducing electrocoagulation harvesting costs for practical microalgal biodiesel production | ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY | 2014 |
| Ryu, BG Kim, EJ Kim, HS Kim, J Choi, YE Yang, JW | Simultaneous treatment of municipal wastewater and biodiesel production by cultivation of <i>Chlorella vulgaris</i> with indigenous wastewater bacteria | BIOTECHNOLOGY AND BIOPROCESS ENGINEERING | 2014 |
| Roopnarain, A Gray, VM Sym, SD | Phosphorus limitation and starvation effects on cell growth and lipid accumulation in <i>Isochrysis galbana</i> U4 for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Sapci, Z Morken, J | The effect of algae species on biodiesel and biogas production observed by using a data model combines algae cultivation with an anaerobic digestion (ACAD) and a biodiesel process | ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT | 2014 |
| Muthuraj, M Kumar, V Palabhanvi, B Das, D | Evaluation of indigenous microalgal isolate <i>Chlorella</i> sp FC2 IITG as a cell factory for biodiesel production and scale up in outdoor conditions | JOURNAL OF INDUSTRIAL MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Deniset-Besseau, A Prater, CB Virolle, MJ Dazzi, A | Monitoring TriAcylGlycerols Accumulation by Atomic Force Microscopy Based Infrared Spectroscopy in <i>Streptomyces</i> Species for Biodiesel Applications | JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS | 2014 |

| | | | |
|---|---|---|------|
| Komolafe, O Orta, SBV Monje-Ramirez, I Noguez, IY Harvey, AP Ledesma, MTO | Biodiesel production from indigenous microalgae grown in wastewater | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Sawaengsak, W Silalertruksa, T Bangviwat, A Gheewala, SH | Life cycle cost of biodiesel production from microalgae in Thailand | ENERGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT | 2014 |
| Scaglia, B Cassani, E Pilu, R Adani, F | Expression of Arabidopsis thaliana S-ACP-DES3 in Escherichia coli for high-performance biodiesel production | RSC ADVANCES | 2014 |
| Li, C Ju, LK | Conversion of wastewater organics into biodiesel feedstock through the predator-prey interactions between phagotrophic microalgae and bacteria | RSC ADVANCES | 2014 |
| Gopalakrishnan, V Ramamurthy, D | Dyeing Industry Effluent System as Lipid Production Medium of Neochloris sp for Biodiesel Feedstock Preparation | BIOMED RESEARCH INTERNATIONAL | 2014 |
| Silva, CSP Silva-Stenico, ME Fiore, MF de Castro, HF Da Ros, PCM | Optimization of the cultivation conditions for Synechococcus sp PCC7942 (cyanobacterium) to be used as feedstock for biodiesel production | ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS | 2014 |
| Low, SL Ong, SL Ng, HY | Biodiesel production by microalgae cultivated using permeate from membrane bioreactors in continuous system | WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY | 2014 |
| Sharma, K Li, Y Schenk, PM | UV-C-mediated lipid induction and settling, a step change towards economical microalgal biodiesel production | GREEN CHEMISTRY | 2014 |
| Daghrir, R Igounet, L Brar, SK Drogui, P | Novel electrochemical method for the recovery of lipids from microalgae for biodiesel production | JOURNAL OF THE TAIWAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS | 2014 |
| Kim, GV Choi, W Kang, D Lee, S Lee, H | Enhancement of Biodiesel Production from Marine Alga, Scenedesmus sp through In Situ Transesterification Process Associated with Acidic Catalyst | BIOMED RESEARCH INTERNATIONAL | 2014 |
| Chu, FF Chu, PN Shen, XF Lam, PKS Zeng, RJ | Effect of phosphorus on biodiesel production from Scenedesmus obliquus under nitrogen-deficiency stress | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Im, H Lee, H Park, MS Yang, JW Lee, JW | Concurrent extraction and reaction for the production of biodiesel from wet microalgae | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Surendhiran, D Vijay, M | Exploration on Bioflocculation of Nannochloropsis oculata Using Response Surface Methodology for Biodiesel Production | SCIENTIFIC WORLD JOURNAL | 2014 |
| Azadi, P Brownbridge, G Mosbach, S Smallbone, A Bhave, A Inderwildi, O Kraft, M | The carbon footprint and non-renewable energy demand of algae-derived biodiesel | APPLIED ENERGY | 2014 |
| Cheng, J Huang, R Yu, T Li, T Zhou, JH Cen, KF | Biodiesel production from lipids in wet microalgae with microwave irradiation and bio-crude production from algal residue through hydrothermal liquefaction | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2014 |
| Zayadan, BK Purton, S Sadvakasova, AK Userbaeva, AA Bolatkhon, K | Isolation, mutagenesis, and optimization of cultivation conditions of microalgal strains for biodiesel production | RUSSIAN JOURNAL OF PLANT PHYSIOLOGY | 2014 |
| Sathish, A Smith, BR Sims, RC | Effect of moisture on in situ transesterification of microalgae for biodiesel production | JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2014 |
| Reddy, HK Muppaneni, T Patil, PD Ponnusamy, S Cooke, P Schaub, T Deng, SG | Direct conversion of wet algae to crude biodiesel under supercritical ethanol conditions | FUEL | 2014 |
| Ajayebi, A Gnansounou, E Raman, JK | Comparative life cycle assessment of biodiesel from algae and jatropha: A case study of India | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Passell, H Dhaliwal, H Reno, M Wu, B Ben Amotz, A Ivry, E Gay, M Czartoski, T Laurin, L Ayer, N | Algae biodiesel life cycle assessment using current commercial data | JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT | 2013 |
| Rizwan, M Lee, JH Gani, R | Optimal processing pathway for the production of biodiesel from microalgal biomass: A superstructure based approach | COMPUTERS & CHEMICAL ENGINEERING | 2013 |
| Korkhovoy, VI Blume, YB | Biodiesel from microalgae: Ways for increasing the effectiveness of lipid accumulation by genetic engineering methods | CYTOLOGY AND GENETICS | 2013 |
| Gao, XP Yu, Y Wu, HW | Life Cycle Energy and Carbon Footprints of Microalgal Biodiesel Production in Western Australia: A Comparison of Byproducts Utilization Strategies | ACS SUSTAINABLE CHEMISTRY & ENGINEERING | 2013 |
| Olmstead, ILD Kentish, SE Scales, PJ Martin, GJO | Low solvent, low temperature method for extracting biodiesel lipids from concentrated microalgal biomass | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |

| | | | |
|--|--|--|------|
| Torres, CM Rios, SD Torras, C Salvado, J Mateo-Sanz, JM Jimenez, L | Microalgae-based biodiesel: A multicriteria analysis of the production process using realistic scenarios | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Ho, SH Lai, YY Chiang, CY Chen, CNN Chang, JS | Selection of elite microalgae for biodiesel production in tropical conditions using a standardized platform | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Lee, OK Kim, YH Na, JG Oh, YK Lee, EY | Highly efficient extraction and lipase-catalyzed transesterification of triglycerides from <i>Chlorella</i> sp KR-1 for production of biodiesel | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Park, WK Yoo, G Moon, M Kim, C Choi, YE Yang, JW | Phytohormone Supplementation Significantly Increases Growth of <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> Cultivated for Biodiesel Production | APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY | 2013 |
| Liu, JY Mukherjee, J Hawkes, JJ Wilkinson, SJ | Optimization of lipid production for algal biodiesel in nitrogen stressed cells of <i>Dunaliella salina</i> using FTIR analysis | JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2013 |
| Fu, XB Li, DH Chen, J Zhang, YM Huang, WY Zhu, Y Yang, J Zhang, CW | A microalgae residue based carbon solid acid catalyst for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Nagarajan, S Chou, SK Cao, SY Wu, C Zhou, Z | An updated comprehensive techno-economic analysis of algae biodiesel | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Singh, SK Bansal, A Jha, MK Jain, R | Production of biodiesel from wastewater grown <i>Chlorella minutissima</i> | INDIAN JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY | 2013 |
| Abou-Shanab, RAI Kim, SH Ji, MK Lee, SH Roh, HS Jeon, BH | Municipal wastewater utilization for biomass and biodiesel production by <i>Scenedesmus obliquus</i> HMI103382 and <i>Micractinium reisseri</i> JN169781 | JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY | 2013 |
| Soares, AT Silva, BF Fialho, LL Pequeno, MAG Vieira, AAH Souza, AG Antoniosi, NR | Chromatographic characterization of triacylglycerides and fatty acid methyl esters in microalgae oils for biodiesel production | JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY | 2013 |
| Kothari, R Prasad, R Kumar, V Singh, DP | Production of biodiesel from microalgae <i>Chlamydomonas polypyrrenoideum</i> grown on dairy industry wastewater | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Zhu, LD Wang, ZM Shu, Q Takala, J Hiltunen, E Feng, PZ Yuan, ZH | Nutrient removal and biodiesel production by integration of freshwater algae cultivation with piggery wastewater treatment | WATER RESEARCH | 2013 |
| Olivieri, G Guida, T Salatino, P Marzocchella, A | A techno-economic analysis of biodiesel production from microalgae | ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND MANAGEMENT JOURNAL | 2013 |
| O'Connell, D Savelski, M Slater, CS | Life cycle assessment of dewatering routes for algae derived biodiesel processes | CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY | 2013 |
| Hong, DD Mai, DTN Thom, LT Ha, NC Lam, BD Tam, LT Anh, HTL Thu, NTH | Biodiesel production from Vietnam heterotrophic marine microalga <i>Schizochytrium mangrovei</i> PQ6 | JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING | 2013 |
| Martin, M Grossmann, IE | Optimal engineered algae composition for the integrated simultaneous production of bioethanol and biodiesel | AICHE JOURNAL | 2013 |
| Wang, H Gao, LL Chen, L Guo, FJ Liu, TZ | Integration process of biodiesel production from filamentous oleaginous microalgae <i>Tribonema minus</i> | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Song, MM Pei, HY Hu, WR Ma, GX | Evaluation of the potential of 10 microalgal strains for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Olmstead, ILD Hill, DRA Dias, DA Jayasinghe, NS Callahan, DL Kentish, SE Scales, PJ Martin, GJO | A quantitative analysis of microalgal lipids for optimization of biodiesel and omega-3 production | BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING | 2013 |
| Da Ros, PCM Silva, CSP Silva-Stenico, ME Fiore, MF De Castro, HF | Assessment of Chemical and Physico-Chemical Properties of Cyanobacterial Lipids for Biodiesel Production | MARINE DRUGS | 2013 |
| Talebi, AF Mohtashami, SK Tabatabaei, M Tohidfar, M Bagheri, A Zeinalabedini, M Mirzaei, HH Mirzajanzadeh, M Shafaroudi, SM Bakhtiari, S | Fatty acids profiling: A selective criterion for screening microalgae strains for biodiesel production | ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS | 2013 |
| Soares, FR Martins, G Seo, ESM | An assessment of the economic aspects of CO ₂ sequestration in a route for biodiesel production from microalgae | ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY | 2013 |
| Mandal, S Patnaik, R Singh, AK Mallick, N | Comparative assessment of various lipid extraction protocols and optimization of transesterification process for microalgal biodiesel production | ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY | 2013 |
| Giorno, F Mazzei, R Giorno, L | Purification of triacylglycerols for biodiesel production from <i>Nannochloropsis</i> microalgae by membrane technology | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |

| | | | |
|---|--|--|------|
| Tran, DT Le, BH Lee, DJ Chen, CL Wang, HY Chang, JS | Microalgae harvesting and subsequent biodiesel conversion | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Talebi, AF Tohidfar, M Tabatabaei, M Bagheri, A Mohsenpor, M Mohtashami, SK | Genetic manipulation, a feasible tool to enhance unique characteristic of <i>Chlorella vulgaris</i> as a feedstock for biodiesel production | MOLECULAR BIOLOGY REPORTS | 2013 |
| Dyo, YM Vonlanthen, SE Purton, S Zayadan, BK | Evaluating new isolates of microalgae from Kazakhstan for biodiesel production | RUSSIAN JOURNAL OF PLANT PHYSIOLOGY | 2013 |
| Ahmad, F Khan, AU Yasar, A | Effect of Various Catalysts on Biodiesel Production from Biomass of Freshwater Algae | ASIAN JOURNAL OF CHEMISTRY | 2013 |
| Zhang, XL Yan, S Tyagi, RD Surampalli, RY | Energy balance and greenhouse gas emissions of biodiesel production from oil derived from wastewater and wastewater sludge | RENEWABLE ENERGY | 2013 |
| Pardo-Cardenas, Y Herrera-Orozco, I Gonzalez-Delgado, AD Kafarov, V | Environmental assessment of microalgae biodiesel production in colombia: comparison of three oil extraction systems | CT&F-CIENCIA TECNOLOGIA Y FUTURO | 2013 |
| Zhou, XP Xia, L Ge, HM Zhang, DL Hu, CX | Feasibility of biodiesel production by microalgae <i>Chlorella sp</i> (FACHB-1748) under outdoor conditions | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Salim, S Shi, Z Vermue, MH Wijffels, RH | Effect of growth phase on harvesting characteristics, autoflocculation and lipid content of <i>Ettlia texensis</i> for microalgal biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Shekh, AY Shrivastava, P Krishnamurthi, K Mudliar, SN Devi, SS Kanade, GS Lokhande, SK Chakrabarti, T | Stress-induced lipids are unsuitable as a direct biodiesel feedstock: A case study with <i>Chlorella pyrenoidosa</i> | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Diaz, GC Cruz, YR Leite, GGT Aranda, DAG Arceo, AA Furtado, NC Taft, CA | Hydroesterification of <i>Nannochloropsis oculata</i> Microalga's Biomass to Biodiesel Using as Catalyst Pure Niobium Oxide (Nb ₂ O ₅), Niobium Oxide Supported on Alumina (Nb ₂ O ₅ /Al ₂ O ₃) and Niobium Oxide Impregnated with Phosphoric Acid (Nb ₂ O ₅ /H ₃ PO ₄) | CURRENT ORGANIC CHEMISTRY | 2013 |
| Patil, P Reddy, H Muppaneni, T Ponnusamy, S Sun, YQ Dailey, P Cooke, P Patil, U Deng, SG | Optimization of microwave-enhanced methanolysis of algal biomass to biodiesel under temperature controlled conditions | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Zhu, LD Wang, ZM Takala, J Hiltunen, E Qin, L Xu, ZB Qin, XX Yuan, ZH | Scale-up potential of cultivating <i>Chlorella zofingiensis</i> in piggery wastewater for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Hidalgo, P Toro, C Ciudad, G Navia, R | Advances in direct transesterification of microalgal biomass for biodiesel production | REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY | 2013 |
| Taylor, B Xiao, N Sikorski, J Yong, M Harris, T Helme, T Smallbone, A Bhave, A Kraft, M | Techno-economic assessment of carbon-negative algal biodiesel for transport solutions | APPLIED ENERGY | 2013 |
| Lam, MK Lee, KT | Catalytic transesterification of high viscosity crude microalgae lipid to biodiesel: Effect of co-solvent | FUEL PROCESSING TECHNOLOGY | 2013 |
| Dong, T Wang, J Miao, C Zheng, YB Chen, SL | Two-step in situ biodiesel production from microalgae with high free fatty acid content | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Rios, SD Torres, CM Torras, C Salvado, J Mateo-Sanz, JM Jimenez, L | Microalgae-based biodiesel: Economic analysis of downstream process realistic scenarios | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Dang-Thuan Tran Chen, CL Chang, JS | Effect of solvents and oil content on direct transesterification of wet oil-bearing microalgal biomass of <i>Chlorella vulgaris</i> ESP-31 for biodiesel synthesis using immobilized lipase as the biocatalyst | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Diaz, GC Leite, GGT Cruz, YR Aranda, DAG Arceo, AA Furtado, NC Taft, CA | Biodiesel by Hydroesterification of Oil from the Microalgae <i>Scenedesmus dimorphus</i> | LETTERS IN ORGANIC CHEMISTRY | 2013 |
| Prommuak, C Pavasant, P Quitain, AT Goto, M Shotipruk, A | Simultaneous Production of Biodiesel and Free Lutein from <i>Chlorella vulgaris</i> | CHEMICAL ENGINEERING & TECHNOLOGY | 2013 |
| Moreno, R Aita, GM Madsen, L Gutierrez, DL Yao, SM Hurlburt, B | Identification of naturally isolated Southern Louisiana's algal strains and the effect of higher CO ₂ content on fatty acid profiles for biodiesel production | JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2013 |

| | | | |
|---|--|---|------|
| Brashear, S | | | |
| El-Sheekh, M Abomohra, A Hanelt, D | Optimization of biomass and fatty acid productivity of <i>Scenedesmus obliquus</i> as a promising microalga for biodiesel production | WORLD JOURNAL OF MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY | 2013 |
| Lam, MK Lee, KT | Effect of carbon source towards the growth of <i>Chlorella vulgaris</i> for CO ₂ bio-mitigation and biodiesel production | INTERNATIONAL JOURNAL OF GREENHOUSE GAS CONTROL | 2013 |
| Zhou, XP Ge, HM Xia, L Zhang, DL Hu, CX | Evaluation of oil-producing algae as potential biodiesel feedstock | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Matos, CT Santos, M Nobre, BP Gouveia, L | <i>Nannochloropsis</i> sp biomass recovery by Electro-Coagulation for biodiesel and pigment production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Chu, FF Chu, PN Cai, PJ Li, WW Lam, PKS Zeng, RJ | Phosphorus plays an important role in enhancing biodiesel productivity of <i>Chlorella vulgaris</i> under nitrogen deficiency | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| San Pedro, A Gonzalez-Lopez, CV Acien, FG Molina-Grima, E | Marine microalgae selection and culture conditions optimization for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Rios, SD Castaneda, J Torras, C Farriol, X Salvado, J | Lipid extraction methods from microalgal biomass harvested by two different paths: Screening studies toward biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Cheng, J Yu, T Li, T Zhou, JH Cen, KF | Using wet microalgae for direct biodiesel production via microwave irradiation | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Selvan, BK Revathi, M Priya, PS Vasani, PT Prabhu, DIG Vennison, SJ | Biodiesel production from marine cyanobacteria cultured in plate and tubular photobioreactors | INDIAN JOURNAL OF EXPERIMENTAL BIOLOGY | 2013 |
| Rawat, I Kumar, RR Mutanda, T Bux, F | Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production | APPLIED ENERGY | 2013 |
| Nascimento, IA Marques, SSI Cabanelas, ITD Pereira, SA Druzian, JI de Souza, CO Vich, DV de Carvalho, GC Nascimento, MA | Screening Microalgae Strains for Biodiesel Production: Lipid Productivity and Estimation of Fuel Quality Based on Fatty Acids Profiles as Selective Criteria | BIOENERGY RESEARCH | 2013 |
| Abou-Shanab, RAI Ji, MK Kim, HC Paeng, KJ Jeon, BH | Microalgal species growing on piggery wastewater as a valuable candidate for nutrient removal and biodiesel production | JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT | 2013 |
| Bhatnagar, SK Sengar, RS Singh, A Sengar, K | Global Future Prospects and Problems of Microbial Biofuel: Algal Biodiesel | VEGETOS | 2013 |
| Coelho, MC Dutta, S da Silva, FN | Biodiesel from Lagoon Microalgae Acceptable Alternative Fuel for the Transportation Crunch? | TRANSPORTATION RESEARCH RECORD | 2013 |
| Cao, HC Zhang, ZL Wu, XW Miao, XL | Direct Biodiesel Production from Wet Microalgae Biomass of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> through In Situ Transesterification | BIOMED RESEARCH INTERNATIONAL | 2013 |
| Wahlen, BD Morgan, MR McCurdy, AT Willis, RM Morgan, MD Dye, DJ Bugbee, B Wood, BD Seefeldt, LC | Biodiesel from Microalgae, Yeast, and Bacteria: Engine Performance and Exhaust Emissions | ENERGY & FUELS | 2013 |
| Dassey, AJ Theegala, CS | Harvesting economics and strategies using centrifugation for cost effective separation of microalgae cells for biodiesel applications | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2013 |
| Ahmad, F Khan, AU Yasar, A | The potential of <i>Chlorella vulgaris</i> for wastewater treatment and biodiesel production | PAKISTAN JOURNAL OF BOTANY | 2013 |
| Sanchez, A Maceiras, R Cancela, A Perez, A | Culture aspects of <i>Isochrysis galbana</i> for biodiesel production | APPLIED ENERGY | 2013 |
| Musharraf, SG Ahmed, MA Zehra, N Kabir, N Choudhary, MI Rahman, AU | Biodiesel production from microalgal isolates of southern Pakistan and quantification of FAMES by GC-MS/MS analysis | CHEMISTRY CENTRAL JOURNAL | 2012 |
| Sholkamy, EN Abdel-Megeed, A Elnakieb Fatma, AA Al-Arfaj, A | Biodiesel Production and Biotechnological Applications from Microalgae Isolated from Water System of Riyadh, Saudi Arabia | JOURNAL OF PURE AND APPLIED MICROBIOLOGY | 2012 |
| Ahn, JW Hwangbo, K Lee, SY Choi, HG Park, YI Liu, JR Jeong, WJ | A new Arctic <i>Chlorella</i> species for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Hempel, N Petrick, I Behrendt, F | Biomass productivity and productivity of fatty acids and amino acids of microalgae strains as key characteristics of suitability for biodiesel production | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2012 |
| Da Ros, PCM Silva, CSP Silva-Stenico, ME Fiore, MF de Castro, HF | <i>Microcystis aeruginosa</i> lipids as feedstock for biodiesel synthesis by enzymatic route | JOURNAL OF MOLECULAR CATALYSIS B-ENZYMATIC | 2012 |

| | | | |
|--|--|---|------|
| Zhang, XY Ma, Q Cheng, BB Wang, J Li, JS Nie, FD | Research on KOH/La-Ba-Al ₂ O ₃ catalysts for biodiesel production via transesterification from microalgae oil | JOURNAL OF NATURAL GAS CHEMISTRY | 2012 |
| Van Vooren, G Le Grand, F Legrand, J Cuine, S Peltier, G Pruvost, J | Investigation of fatty acids accumulation in <i>Nannochloropsis oculata</i> for biodiesel application | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Yu, XY Zhao, P He, C Li, JJ Tang, XH Zhou, JP Huang, ZX | Isolation of a novel strain of <i>Monoraphidium</i> sp and characterization of its potential application as biodiesel feedstock | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Gao, MT Shimamura, T Ishida, N Takahashi, H | Investigation of utilization of the algal biomass residue after oil extraction to lower the total production cost of biodiesel | JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING | 2012 |
| Sathish, A Sims, RC | Biodiesel from mixed culture algae via a wet lipid extraction procedure | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Stansell, GR Gray, VM Sym, SD | Microalgal fatty acid composition: implications for biodiesel quality | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2012 |
| Cakmak, T Angun, P Demiray, YE Ozkan, AD Elibol, Z Tekinay, T | Differential effects of nitrogen and sulfur deprivation on growth and biodiesel feedstock production of <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> | BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING | 2012 |
| Soratana, K Harper, WF Landis, AE | Microalgal biodiesel and the Renewable Fuel Standard's greenhouse gas requirement | ENERGY POLICY | 2012 |
| Martin, M Grossmann, IE | Simultaneous Optimization and Heat Integration for Biodiesel Production from Cooking Oil and Algae | INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH | 2012 |
| Popovich, CA Damiani, C Constenla, D Martinez, AM Freije, H Giovanardi, M Pancaldi, S Leonardi, PI | <i>Neochloris oleoabundans</i> grown in enriched natural seawater for biodiesel feedstock: Evaluation of its growth and biochemical composition | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Arudchelvam, Y Nirmalakhandan, N | Optimizing net energy gain in algal cultivation for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Duong, VT Li, Y Nowak, E Schenk, PM | Microalgae Isolation and Selection for Prospective Biodiesel Production | ENERGIES | 2012 |
| Kaewkannetra, P Enmak, P Chiu, TY | The effect of CO ₂ and salinity on the cultivation of <i>Scenedesmus obliquus</i> for biodiesel production | BIOTECHNOLOGY AND BIOPROCESS ENGINEERING | 2012 |
| Wu, LF Chen, PC Huang, AP Lee, CM | The feasibility of biodiesel production by microalgae using industrial wastewater | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Teixeira, CMLL Kirsten, FV Teixeira, PCN | Evaluation of <i>Moringa oleifera</i> seed flour as a flocculating agent for potential biodiesel producer microalgae | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2012 |
| Liao, YF Huang, ZH Ma, XQ | Energy analysis and environmental impacts of microalgal biodiesel in China | ENERGY POLICY | 2012 |
| Lam, MK Lee, KT | Potential of using organic fertilizer to cultivate <i>Chlorella vulgaris</i> for biodiesel production | APPLIED ENERGY | 2012 |
| Lam, MK Lee, KT | Immobilization as a feasible method to simplify the separation of microalgae from water for biodiesel production | CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL | 2012 |
| Sharma, KK Schuhmann, H Schenk, PM | High Lipid Induction in Microalgae for Biodiesel Production | ENERGIES | 2012 |
| Delrue, F Seiter, PA Sahut, C Cournac, L Roubaud, A Peltier, G Froment, AK | An economic, sustainability, and energetic model of biodiesel production from microalgae | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Chen, L Liu, TZ Zhang, W Chen, XL Wang, JF | Biodiesel production from algae oil high in free fatty acids by two-step catalytic conversion | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Bucy, HB Baumgardner, ME Marchese, AJ | Chemical and physical properties of algal methyl ester biodiesel containing varying levels of methyl eicosapentaenoate and methyl docosahexaenoate | ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS | 2012 |
| Zendejas, FJ Benke, PI Lane, PD Simmons, BA Lane, TW | Characterization of the acylglycerols and resulting biodiesel derived from vegetable oil and microalgae (<i>Thalassiosira pseudonana</i> and <i>Phaeodactylum tricornutum</i>) | BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING | 2012 |
| Lai, JQ Hu, ZL Wang, PW Yang, Z | Enzymatic production of microalgal biodiesel in ionic liquid (BMIm)(PF ₆) | FUEL | 2012 |
| Gao, YH Gregor, C Liang, YJ Tang, DW Tweed, C | Algae biodiesel - a feasibility report | CHEMISTRY CENTRAL JOURNAL | 2012 |
| El-Arady, O El-Enin, SAA El Semary, NA El Diwani, G | Microalgal culture in photo-bioreactor for biodiesel production: case studies from Egypt | AFINIDAD | 2012 |
| Praveenkumar, R Johncy, K MubarakAli, D Vijayan, D Thajuddin, N Gunasekaran, M | Demonstration of Increased Lipid Accumulation Potential of <i>Stigeoclonium</i> sp., Kutz. BUM11007 Under Nitrogen Starved Regime: A New Source of Lipids for Biodiesel Production | JOURNAL OF BIOBASED MATERIALS AND BIOENERGY | 2012 |
| Moazami, N Ashori, A Ranjbar, R Tangestani, M | Large-scale biodiesel production using microalgae biomass of <i>Nannochloropsis</i> | BIOMASS & BIOENERGY | 2012 |

| | | | |
|---|---|--|------|
| Eghtesadi, R Nejad, AS | | | |
| Ofori-Boateng, C Keat, TL JitKang, L | Feasibility study of microalgal and jatropha biodiesel production plants: Exergy analysis approach | APPLIED THERMAL ENGINEERING | 2012 |
| Singh, A Pant, D Olsen, SI Nigam, PS | Key issues to consider in microalgae based biodiesel production | ENERGY EDUCATION SCIENCE AND TECHNOLOGY PART A-ENERGY SCIENCE AND RESEARCH | 2012 |
| Chen, YH Huang, BY Chiang, TH Tang, TC | Fuel properties of microalgae (<i>Chlorella protothecoides</i>) oil biodiesel and its blends with petroleum diesel | FUEL | 2012 |
| Lohrey, C Kochergin, V | Biodiesel production from microalgae: Co-location with sugar mills | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Tran, DT Yeh, KL Chen, CL Chang, JS | Enzymatic transesterification of microalgal oil from <i>Chlorella vulgaris</i> ESP-31 for biodiesel synthesis using immobilized <i>Burkholderia lipase</i> | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Rosch, C Skarka, J Wegerer, N | Materials flow modeling of nutrient recycling in biodiesel production from microalgae | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Prabakaran, P Ravindran, AD | Scenedesmus as a potential source of biodiesel among selected microalgae | CURRENT SCIENCE | 2012 |
| Kaur, S Sarkar, M Srivastava, RB Gogoi, HK Kalita, MC | Fatty acid profiling and molecular characterization of some freshwater microalgae from India with potential for biodiesel production | NEW BIOTECHNOLOGY | 2012 |
| Praveenkumar, R Shameera, K Mahalakshmi, G Akbarsha, MA Thajuddin, N | Influence of nutrient deprivations on lipid accumulation in a dominant indigenous microalga <i>Chlorella</i> sp., BUM11008: Evaluation for biodiesel production | BIOMASS & BIOENERGY | 2012 |
| Blatti, JL Burkart, MD | Releasing Stored Solar Energy within Pond Scum: Biodiesel from Algal Lipids | JOURNAL OF CHEMICAL EDUCATION | 2012 |
| Khola, G Ghazala, B | Biodiesel production from algae | PAKISTAN JOURNAL OF BOTANY | 2012 |
| Baunillo, KE Tan, RS Barros, HR Luque, R | Investigations on microalgal oil production from <i>Arthrospira platensis</i> : towards more sustainable biodiesel production | RSC ADVANCES | 2012 |
| Ofori-Boateng, C Lee, KT Lim, J | Sustainability assessment of microalgal biodiesel production processes: an exergetic analysis approach with Aspen Plus | INTERNATIONAL JOURNAL OF EXERGY | 2012 |
| Gog, A Senila, L Roman, M Luca, E Roman, C Irimie, FD | Oil extraction and fatty acid characterization of <i>nannochloropsis oculata</i> microalgae for biodiesel applications | STUDIA UNIVERSITATIS BABES-BOLYAI CHEMIA | 2012 |
| Liu, XW Clarens, AF Colosi, LM | Algae biodiesel has potential despite inconclusive results to date | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2012 |
| Patil, PD Reddy, H Muppaneni, T Mannarswamy, A Schuab, T Holguin, FO Lammers, P Nirmalakhandan, N Cooke, P Deng, SG | Power dissipation in microwave-enhanced in situ transesterification of algal biomass to biodiesel | GREEN CHEMISTRY | 2012 |
| Sanchez, E Ojeda, K El-Halwagi, M Kafarov, V | Biodiesel from microalgae oil production in two sequential esterification/transesterification reactors: Pinch analysis of heat integration | CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL | 2011 |
| Kim, EJ Park, S Hong, HJ Choi, YE Yang, JW | Biosorption of chromium (Cr(III)/Cr(VI)) on the residual microalga <i>Nannochloris oculata</i> after lipid extraction for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Li, YC Zhou, WG Hu, B Min, M Chen, P Ruan, RR | Integration of algae cultivation as biodiesel production feedstock with municipal wastewater treatment: Strains screening and significance evaluation of environmental factors | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Montero, MF Aristizabal, M Reina, GG | Isolation of high-lipid content strains of the marine microalga <i>Tetraselmis suecica</i> for biodiesel production by flow cytometry and single-cell sorting | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2011 |
| Cenciani, K Bittencourt-Oliveira, MC Feigl, BJ Cerri, CC | Sustainable production of biodiesel by microalgae and its application in agriculture | AFRICAN JOURNAL OF MICROBIOLOGY RESEARCH | 2011 |
| Yuan, C Liu, JH Fan, Y Ren, XH Hu, GR Li, FL | <i>Mychonastes</i> afer HSO-3-1 as a potential new source of biodiesel | BIOTECHNOLOGY FOR BIOFUELS | 2011 |
| Cha, TS Chen, JW Goh, EG Aziz, A Loh, SH | Differential regulation of fatty acid biosynthesis in two <i>Chlorella</i> species in response to nitrate treatments and the potential of binary blending microalgal oils for biodiesel application | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Carvalho, RM Vargas, JVC Ramos, LP Marino, CEB Torres, JCL | Microalgae biodiesel via in situ methanolysis | JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2011 |

| | | | |
|---|--|---|------|
| Vimalarasan, A Pratheeba, N Ashokkumar, B Sivakumar, N Varalakshmi, P | Production of biodiesel from cyanobacteria (<i>Oscillatoria annae</i>) by alkali and enzyme mediated transesterification | JOURNAL OF SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH | 2011 |
| Karatay, SE Donmez, G | Microbial oil production from thermophile cyanobacteria for biodiesel production | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Uduman, N Bourniquel, V Danquah, MK Hoadley, AFA | A parametric study of electrocoagulation as a recovery process of marine microalgae for biodiesel production | CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL | 2011 |
| Haas, MJ Wagner, K | Simplifying biodiesel production: The direct or in situ transesterification of algal biomass | EUROPEAN JOURNAL OF LIPID SCIENCE AND TECHNOLOGY | 2011 |
| Shirvani, T Yan, XY Inderwildi, OR Edwards, PP King, DA | Life cycle energy and greenhouse gas analysis for algae-derived biodiesel | ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE | 2011 |
| Tang, HY Chen, M Garcia, MED Abunasser, N Ng, KYS Salley, SO | Culture of Microalgae <i>Chlorella minutissima</i> for Biodiesel Feedstock Production | BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING | 2011 |
| Sydney, EB da Silva, TE Tokarski, A Novak, AC de Carvalho, JC Woiciechowski, AL Larroche, C Soccol, CR | Screening of microalgae with potential for biodiesel production and nutrient removal from treated domestic sewage | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Abou-Shanab, RAI Hwang, JH Cho, Y Min, B Jeon, BH | Characterization of microalgal species isolated from fresh water bodies as a potential source for biodiesel production | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Li, YS Lian, SA Tong, DM Song, RL Yang, WY Fan, Y Qing, RW Hu, CW | One-step production of biodiesel from <i>Nannochloropsis</i> sp on solid base Mg-Zr catalyst | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Tang, HY Abunasser, N Garcia, MED Chen, M Ng, KYS Salley, SO | Potential of microalgae oil from <i>Dunaliella tertiolecta</i> as a feedstock for biodiesel | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Rasoul-Amini, S Montazeri-Najafabady, N Mobasher, MA Hoseini-Alhashemi, S Ghasemi, Y | <i>Chlorella</i> sp.: A new strain with highly saturated fatty acids for biodiesel production in bubble-column photobioreactor | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Amaro, HM Guedes, AC Malcata, FX | Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Li, YG Xu, L Huang, YM Wang, F Guo, C Liu, CZ | Microalgal biodiesel in China: Opportunities and challenges | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Ehimen, EA Sun, ZF Carrington, CG Birch, EJ Eaton-Rye, JJ | Anaerobic digestion of microalgae residues resulting from the biodiesel production process | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Takeshita, T | Competitiveness, role, and impact of microalgal biodiesel in the global energy future | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Razon, LF Tan, RR | Net energy analysis of the production of biodiesel and biogas from the microalgae: <i>Haematococcus pluvialis</i> and <i>Nannochloropsis</i> | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Demirbas, A | Biodiesel from oilgae, biofixation of carbon dioxide by microalgae: A solution to pollution problems | APPLIED ENERGY | 2011 |
| Clarens, AF Nassau, H Resurreccion, EP White, MA Colosi, LM | Environmental Impacts of Algae-Derived Biodiesel and Bioelectricity for Transportation | ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | 2011 |
| Brentner, LB Eckelman, MJ Zimmerman, JB | Combinatorial Life Cycle Assessment to Inform Process Design of Industrial Production of Algal Biodiesel | ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | 2011 |
| Liu, AY Chen, W Zheng, LL Song, LR | Identification of high-lipid producers for biodiesel production from forty-three green algal isolates in China | PROGRESS IN NATURAL SCIENCE-MATERIALS INTERNATIONAL | 2011 |
| Csavina, JL Stuart, BJ Riefler, RG Vis, ML | Growth optimization of algae for biodiesel production | JOURNAL OF APPLIED MICROBIOLOGY | 2011 |
| Mohammady, NGE | Characterization of the Fatty Acid Composition of <i>Nannochloropsis salina</i> as a Determinant of Biodiesel Properties | ZEITSCHRIFT FUR NATURFORSCHUNG SECTION C-A JOURNAL OF BIOSCIENCES | 2011 |
| Thi, TYD Sivaloganathan, B Obbard, JP | Screening of marine microalgae for biodiesel feedstock | BIOMASS & BIOENERGY | 2011 |
| Carrero, A Vicente, G Rodriguez, R Linares, M del Peso, GL | Hierarchical zeolites as catalysts for biodiesel production from <i>Nannochloropsis</i> microalga oil | CATALYSIS TODAY | 2011 |
| Yan, D Lu, Y Chen, YF Wu, QY | Waste molasses alone displaces glucose-based medium for microalgal fermentation towards cost-saving biodiesel | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |

| | | | |
|--|---|--|------|
| | production | | |
| Olivieri, G Marzocchella, A Andreozzi, R Pinto, G Pollio, A | Biodiesel production from Stichococcus strains at laboratory scale | JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2011 |
| Lee, SJ Go, S Jeong, GT Kim, SK | Oil production from five marine microalgae for the production of biodiesel | BIOTECHNOLOGY AND BIOPROCESS ENGINEERING | 2011 |
| Duan, YK Zhu, Z Cai, K Tan, XM Lu, XF | De novo Biosynthesis of Biodiesel by Escherichia coli in Optimized Fed-Batch Cultivation | PLOS ONE | 2011 |
| Khoo, HH Sharratt, PN Das, P Balasubramanian, RK Narahariseti, PK Shaik, S | Life cycle energy and CO2 analysis of microalgae-to-biodiesel: Preliminary results and comparisons | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Li, YC Chen, YF Chen, P Min, M Zhou, WG Martinez, B Zhu, J Ruan, R | Characterization of a microalga Chlorella sp well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Hobuss, CB Rosales, PF Venzke, D Souza, PO Gobbi, PC Gouvea, LP Santos, MAZ Pinto, E Jacob-Lopes, E Pereira, CMP | Cultivation of algae in photobioreator and obtention of biodiesel | REVISTA BRASILEIRA DE FARMACOGNOSIA-BRAZILIAN JOURNAL OF PHARMACOGNOSY | 2011 |
| Rios, SD Clavero, E Salvado, J Farriol, X Torras, C | Dynamic Microfiltration in Microalgae Harvesting for Biodiesel Production | INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH | 2011 |
| Wahlen, BD Willis, RM Seefeldt, LC | Biodiesel production by simultaneous extraction and conversion of total lipids from microalgae, cyanobacteria, and wild mixed-cultures | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Soh, L Zimmerman, J | Biodiesel production: the potential of algal lipids extracted with supercritical carbon dioxide | GREEN CHEMISTRY | 2011 |
| Levine, RB Costanza-Robinson, MS Spatafora, GA | Neochloris oleoabundans grown on anaerobically digested dairy manure for concomitant nutrient removal and biodiesel feedstock production | BIOMASS & BIOENERGY | 2011 |
| Harun, R Davidson, M Doyle, M Gopiraj, R Danquah, M Forde, G | Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility | BIOMASS & BIOENERGY | 2011 |
| Lee, DH | Algal biodiesel economy and competition among bio-fuels | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Campbell, PK Beer, T Batten, D | Life cycle assessment of biodiesel production from microalgae in ponds | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Krohn, BJ McNeff, CV Yan, BW Nowlan, D | Production of algae-based biodiesel using the continuous catalytic Mcgyan (R) process | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Patil, PD Gude, VG Mannarswamy, A Deng, SG Cooke, P Munson-McGee, S Rhodes, I Lammers, P Nirmalakhandan, N | Optimization of direct conversion of wet algae to biodiesel under supercritical methanol conditions | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Pruvost, J Van Vooren, G Le Gouic, B Couzinet-Mossion, A Legrand, J | Systematic investigation of biomass and lipid productivity by microalgae in photobioreactors for biodiesel application | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Yang, J Xu, M Zhang, XZ Hu, QA Sommerfeld, M Chen, YS | Life-cycle analysis on biodiesel production from microalgae: Water footprint and nutrients balance | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Halim, R Gladman, B Danquah, MK Webley, PA | Oil extraction from microalgae for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Mohan, SV Devi, MP Mohanakrishna, G Amarnath, N Babu, ML Sarma, PN | Potential of mixed microalgae to harness biodiesel from ecological water-bodies with simultaneous treatment | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2011 |
| Demirbas, A Demirbas, MF | Importance of algae oil as a source of biodiesel | ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT | 2011 |
| Knothe, G | A technical evaluation of biodiesel from vegetable oils vs. algae. Will algae-derived biodiesel perform? | GREEN CHEMISTRY | 2011 |
| Nayak, M Jena, J Bhakta, S Rath, SS Sarika, C Rao, BVSK Pradhan, N Thirunavoukkarasu, M Mishra, SK Panda, PK Prasad, RBN Sukla, LB | Screening of fresh water microalgae from eastern region of india for sustainable biodiesel production | INTERNATIONAL JOURNAL OF GREEN ENERGY | 2011 |

| | | | |
|---|--|--|------|
| Mishra, BK | | | |
| Fulke, AB Mudliar, SN Yadav, R Shekh, A Srinivasan, N Ramanan, R Krishnamurthi, K Devi, SS Chakrabarti, T | Bio-mitigation of CO ₂ , calcite formation and simultaneous biodiesel precursors production using <i>Chlorella</i> sp. | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2010 |
| Ho, SH Chen, WM Chang, JS | <i>Scenedesmus obliquus</i> CNW-N as a potential candidate for CO ₂ mitigation and biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2010 |
| Batan, L Quinn, J Willson, B Bradley, T | Net Energy and Greenhouse Gas Emission Evaluation of Biodiesel Derived from Microalgae | ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | 2010 |
| Afify, AEMR Shalaby, EA Shanab, SMM | Enhancement of biodiesel production from different species of algae | GRASAS Y ACEITES | 2010 |
| Lu, Y Zhai, Y Liu, MS Wu, QY | Biodiesel production from algal oil using cassava (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) as feedstock | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2010 |
| Sorguven, E Ozilgen, M | Thermodynamic assessment of algal biodiesel utilization | RENEWABLE ENERGY | 2010 |
| Sander, K Murthy, GS | Life cycle analysis of algae biodiesel | INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT | 2010 |
| Oh, SH Kwon, MC Choi, WY Seo, YC Kim, GB Kang, DH Lee, SY Lee, HY | Long-term outdoor cultivation by perfusing spent medium for biodiesel production from <i>Chlorella minutissima</i> | JOURNAL OF BIOSCIENCE AND BIOENGINEERING | 2010 |
| Stephenson, AL Kazamia, E Dennis, JS Howe, CJ Scott, SA Smith, AG | Life-Cycle Assessment of Potential Algal Biodiesel Production in the United Kingdom: A Comparison of Raceways and Air-Lift Tubular Bioreactors | ENERGY & FUELS | 2010 |
| Pokoo-Aikins, G Nadim, A El-Halwagi, MM Mahalec, V | Design and analysis of biodiesel production from algae grown through carbon sequestration | CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY | 2010 |
| Matsumoto, M Sugiyama, H Maeda, Y Sato, R Tanaka, T Matsunaga, T | Marine Diatom, <i>Navicula</i> sp Strain JPCC DA0580 and Marine Green Alga, <i>Chlorella</i> sp Strain NKG400014 as Potential Sources for Biodiesel Production | APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY | 2010 |
| Demirbas, MF | Microalgae as a feedstock for biodiesel | ENERGY EDUCATION SCIENCE AND TECHNOLOGY PART A-ENERGY SCIENCE AND RESEARCH | 2010 |
| Mahajani, S Chavan, S Mahajani, S Raman, VK | Biodiesel Production from Algae Exposed to Stressful Conditions | JOURNAL OF PURE AND APPLIED MICROBIOLOGY | 2010 |
| Gao, CF Zhai, Y Ding, Y Wu, QY | Application of sweet sorghum for biodiesel production by heterotrophic microalga <i>Chlorella protothecoides</i> | APPLIED ENERGY | 2010 |
| Morowvat, MH Rasoul- Amini, S Ghasemi, Y | <i>Chlamydomonas</i> as a "new" organism for biodiesel production | BIORESOURCE TECHNOLOGY | 2010 |
| Francisco, EC Neves, DB Jacob-Lopes, E Franco, TT | Microalgae as feedstock for biodiesel production: Carbon dioxide sequestration, lipid production and biofuel quality | JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2010 |
| Huang, GH Chen, F Wei, D Zhang, XW Chen, G | Biodiesel production by microalgal biotechnology | APPLIED ENERGY | 2010 |
| Ehimen, EA | Energy Balance of Microalgal-derived Biodiesel | ENERGY SOURCES PART A-RECOVERY UTILIZATION AND ENVIRONMENTAL EFFECTS | 2010 |
| Vijayaraghavan, K Hemanathan, K | Biodiesel Production from Freshwater Algae | ENERGY & FUELS | 2009 |
| Johnson, MB Wen, ZY | Production of Biodiesel Fuel from the Microalga <i>Schizochytrium limacinum</i> by Direct Transesterification of Algal Biomass | ENERGY & FUELS | 2009 |
| Griffiths, MJ Harrison, STL | Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2009 |
| Lee, AK Lewis, DM Ashman, PJ | Microbial flocculation, a potentially low-cost harvesting technique for marine microalgae for the production of biodiesel | JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY | 2009 |
| Lardon, L Helias, A Sialve, B Steyer, JP Bernard, O | Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae | ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY | 2009 |
| Fuentes-Grunewald, C Garces, E Rossi, S Camp, J | Use of the dinoflagellate <i>Karlodinium veneticum</i> as a sustainable source of biodiesel production | JOURNAL OF INDUSTRIAL MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY | 2009 |
| Mandal, S Mallick, N | Microalga <i>Scenedesmus obliquus</i> as a potential source for biodiesel production | APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2009 |
| Danquah, MK Ang, L | Dewatering of microalgal culture for biodiesel production: | JOURNAL OF CHEMICAL | 2009 |

| | | | |
|--|---|--|------|
| Uduman, N Moheimani, N Fordea, GM | exploring polymer flocculation and tangential flow filtration | TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | |
| Umdu, ES Tuncer, M Seker, E | Transesterification of Nannochloropsis oculata microalga's lipid to biodiesel on Al ₂ O ₃ supported CaO and MgO catalysts | BIORESOURCETECHNOLOGY | 2009 |
| Converti, A Casazza, AA Ortiz, EY Perego, P Del Borghi, M | Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of Nannochloropsis oculata and Chlorella vulgaris for biodiesel production | CHEMICAL ENGINEERING AND PROCESSING | 2009 |
| Cheng, Y Zhou, WG Gao, CF Lan, K Gao, Y Wu, QY | Biodiesel production from Jerusalem artichoke (Helianthus Tuberosus L.) tuber by heterotrophic microalgae Chlorella protothecoides | JOURNAL OF CHEMICAL TECHNOLOGY AND BIOTECHNOLOGY | 2009 |
| Dinh, LTT Guo, YY Mannan, MS | Sustainability Evaluation of Biodiesel Production Using Multicriteria Decision-Making | ENVIRONMENTAL PROGRESS & SUSTAINABLE ENERGY | 2009 |
| Gao, B Su, E Lin, J Jiang, Z Ma, Y Wei, D | Development of recombinant Escherichia coli whole-cell biocatalyst expressing a novel alkaline lipase-coding gene from Proteus sp for biodiesel production | JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY | 2009 |
| Demirbas, A | Production of Biodiesel from Algae Oils | ENERGY SOURCES PART A-RECOVERY UTILIZATION AND ENVIRONMENTAL EFFECTS | 2009 |
| Lu, XF Vora, H Khosla, C | Overproduction of free fatty acids in E. coli: Implications for biodiesel production | METABOLIC ENGINEERING | 2008 |
| Schenk, PM Thomas-Hall, SR Stephens, E Marx, UC Mussgnug, JH Posten, C Kruse, O Hankamer, B | Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production | BIOENERGY RESEARCH | 2008 |
| Baum, R | Microalgae are possible source of biodiesel fuel | CHEMICAL & ENGINEERING NEWS | 1994 |
| Roessler, PG Brown, LM Dunahay, TG Heacox, DA Jarvis, EE Schneider, JC Talbot, SG Zeiler, KG | Genetic-engineering approaches for enhanced production of biodiesel fuel from microalgae | ENZYMATIC CONVERSION OF BIOMASS FOR FUELS PRODUCTION | 1994 |