

## **O BIODIESEL E A TRANSESTERIFICAÇÃO DE ÓLEOS E GORDURAS RESIDUAIS (OGRs) VIA ROTA ETÍLICA: UMA RELEVANTE TEMÁTICA PARA A INSERÇÃO NA EDUCAÇÃO AMBIENTAL**

Autor (1) Pâmela Ribeiro Lopes Soares; Co-autor (1) Daniel Bomfim Lacerda; Orientador (1) Luiz Eloi da Silva.

*(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, pamelaiifba@gmail.com, daniel.lacerda@ifba.edu.br, eloicefet@gmail.com)*

**Resumo:** O artigo teve por objetivo geral “analisar o processo de transesterificação de óleos e gorduras residuais via rota etílica para a produção de biodiesel, utilizando-o como um instrumento temático para a inserção na Educação Ambiental”. Pesquisou-se sobre OGRs, biodiesel, rota etílica e Educação Ambiental. Sendo assim, se fez necessário abordar acerca do conceito e em alguns casos a gênese, evolução histórica e utilização. Quanto à metodologia, optou-se pela revisão bibliográfica e análise documental. A Educação Ambiental foi abordada a partir de um contexto teórico e normativo, apresentando-se como uma das referências legislativas, o arcabouço da Constituição Federal (CF). Em síntese, os diferentes fundamentos teóricos auxiliaram na contextualização do biodiesel e da Educação Ambiental. Neste sentido, foi possível analisar que a Educação ambiental, com seu caráter interdisciplinar demonstrou ser uma estratégia fundamental para a conscientização do cidadão em todos os níveis de ensino. A produção do biodiesel tornou-se indispensável para um viés sustentável, pois o diesel convencional possui um nível de poluição atmosférica elevado para a natureza, sendo que a geração desse biocombustível via rota etílica, pode ser considerado como uma rota verde, uma vez que os OGRs provavelmente teriam um destino ambientalmente incorreto.

**Palavras-chave:** Biodiesel, Rota etílica, Educação Ambiental, Óleos e gorduras residuais.

### **1 Introdução**

A utilização de OGRs tornou-se uma grande ferramenta econômica para a produção do biodiesel, que tem por consequência, o intuito de auxiliar na redução dos impactos ambientais (SAHAR et al., 2018). Deste modo, a produção de biodiesel por meio da transesterificação via rota etílica, ao reutilizar óleos e gorduras residuais, acaba por influenciar no comportamento ambiental do ser humano.

A utilização de OGRs para a produção de biodiesel tem aumentado a cada dia, pelo fato de ser considerado menos poluente do que o diesel e mais sustentável para natureza, chegando a apresentar menos impactos nocivos aos seres vivos (HAJJARI et al., 2017).

O Brasil é um país que apresenta um consumo de óleo vegetal bastante elevado. Após o uso, muitas pessoas acabam por descartar esse óleo de maneira indevida e essa ação pode provocar diversos danos, como por exemplo, o acúmulo do OGR nas paredes das tubulações e entupimentos. Então, para sanar este problema, são utilizados produtos químicos muito concentrados e tóxicos que são liberados nos esgotos. Além deste problema, existem outros, como a impermeabilização do solo, e quando em contato com outras matérias orgânicas, sua

decomposição gera a formação do gás metano que é altamente contribuinte para o aquecimento global (NOGUEIRA et al., 2016).

Sabe-se que a transesterificação de OGRs para a produção deste combustível de relevância sustentável, que também possui intermédio via rota etílica, contribui para as diversas questões ambientais e está interligada a vários campos do saber, a exemplo da Química, Tecnologia e Educação.

A aplicação da rota etílica tornou-se mais relevante para a Química Verde, ou seja, a manipulação do etanol para a produção do biodiesel foi considerada mais vantajosa para o desenvolvimento sustentável e industrial (DE MELLO et al., 2017).

Neste sentido, o presente artigo direcionou-se para a seguinte questão-problema: como o biodiesel e a transesterificação de óleos e gorduras residuais via rota etílica pode influenciar como um instrumento temático para a inserção na Educação Ambiental? No entanto, a pesquisa foi direcionada para os seguintes objetivos específicos: (a) Pesquisar acerca do biodiesel, de forma a evidenciar a sua gênese, evolução histórica, conceito e utilização; (b) Pesquisar acerca da rota etílica, bem como seu conceito e utilização; (c) Pesquisar acerca da Educação Ambiental, de forma a evidenciar a sua gênese, evolução histórica e conceito; (d) Analisar os liames envolvidos entre a transesterificação de óleos e gorduras residuais para a produção do biodiesel via rota etílica e a Educação Ambiental.

## **2 Metodologia**

A opção metodológica adotada teve como base a sua revisão bibliográfica decorrente dos referenciais teóricos e, em alguns aspectos, a análise documental.

Quando a metodologia é correspondente à pesquisa bibliográfica, é percebido que a mesma é essencial para o levantamento de ideias, sendo ela bastante utilizada. Este tipo de pesquisa convém pela união de referências bibliográficas, a exemplo de livros, artigos ou fontes em que podem ser referenciáveis, e tem por objetivo fazer um levantamento de estudo sobre uma temática científica (RUIZ, 2014).

## **3 Resultados e Discussão**

Levando em conta a metodologia adquirida para a pesquisa, na qual se obteve fundamentos em referenciais teóricos, a mesma foi situada em uma perspectiva de revisão bibliográfica para o desenvolvimento das discussões do artigo.

Tornou-se necessária a disposição da contextualização dos seguintes itens: (a) Biodiesel; (b) Rota etílica; (c) Educação Ambiental; e (d) Liames entre a transesterificação e óleos e gorduras residuais (OGRs) para a produção do biodiesel via rota etílica e a Educação Ambiental.

### 3.1 Biodiesel

O biodiesel é um combustível alternativo semelhante ao diesel convencional. Geralmente é produzido a partir de óleo vegetal direto, gordura animal, sebo, óleo vegetal não comestível e óleo de cozinha usado (GEBREMARIAM; MARCHETTI, 2018).

Quimicamente, o biodiesel refere-se aos mono-alquil ésteres de cadeia longa, especialmente, os metílicos e etílicos de ácidos graxos tais como láurico, palmítico, esteárico, oleico dentre outros, derivados de fontes biológicas renováveis, principalmente, através do processo de transesterificação (TAN; ABDULLAH; NOLASCO-HIPOLITO, 2015).

Portanto, no que diz respeito à vantagem do custo, o mesmo depende do tipo de matéria-prima aplicada (GEBREMARIAM; MARCHETTI, 2018). A gordura residual de alimentos é um material renovável que pode ser utilizado para uma produção eficaz do biodiesel (HAJJARI et al., 2017).

A queima do componente fóssil não renovável gera maior emissão de carbonos, que acarreta em um grande impacto ambiental. Já o biodiesel, é um produto renovável, sendo também caracterizado como uma alternativa moderna (RASTOGI et al., 2018).

#### 3.1.1 Gênese e evolução histórica

Através dos referenciais teóricos abordados, é possível identificar que por meio do petróleo, surgiu o conhecimento de que essa matéria-prima derivada de componentes fósseis poderia ser utilizada para a produção do diesel. Porém, a partir da evolução do mundo moderno, identificou que esse combustível empregado para alguns meios de transporte, emite excesso de gases poluentes ao ar atmosférico. No entanto, na atualidade, o biodiesel é pensado como um combustível substituto do diesel, pois é menos poluente e pode ser produzido até mesmo por intermédio de óleos e gorduras residuais. O descarte inadequado de OGRs refletem em consequências danosas do homem sobre a natureza, por isso, o uso destes, para a produção do biocombustível faz com que a poluição diminua.

Sabe-se que o biodiesel é um combustível derivado de fontes renováveis, no qual se tornou favorável para uma geração de energia sustentável (DE OLIVEIRA et al., 2018).

### 3.1.2 Conceito

O significado da palavra biodiesel indica o seu conceito como sendo um “combustível biodegradável, não tóxico e pouco poluente, produzido a partir de óleos vegetais, e que pode ser usado em motores diesel” (HOUAISS, 2015, p. 136). Recursos energéticos renováveis têm atraído a atenção de governos, empresas e cientistas em todo o mundo por causa do rápido desenvolvimento tecnológico, dos benefícios econômicos óbvios e aumento do aquecimento global e da poluição ambiental (ŽIVKOVIĆ et al., 2017).

Portanto, o biodiesel é definido como sendo um biocombustível e deste modo, biodegradável, em que possui a capacidade de substituir o diesel (MAHMUDUL et al., 2017). Quimicamente, o biodiesel refere-se aos mono-álquil ésteres de cadeia longa, especialmente, os metílicos e etílicos de ácidos graxos tais como láurico, palmítico, esteárico, oleico dentre outros, derivados de fontes biológicas renováveis, principalmente, através do processo de transesterificação (TAN; ABDULLAH; NOLASCO-HIPOLITO, 2015).

### 3.1.3 Utilização

A produção de biodiesel através do óleo de cozinha, pode gerar grande renda e menos impactos ambientais para a sociedade, sendo que o seu fator influenciável, se dá pela menor liberação de carbonos. Além disso, pode ser utilizado como combustível de grandes meios de transporte ou até mesmo em máquinas. No entanto, sua produção implica na geração de glicerina que, por sua vez, tem diversas finalidades comerciais (MIRANDA et al., 2018). Mas, por conta de alguns resíduos na produção, a glicerina acaba por não ser tão pura, influenciando em suas propriedades, mas, mesmo assim, a técnica ainda é caracterizada como sendo benéfica (MONTEIRO et al., 2018).

Sua biodegradabilidade, não-toxicidade e ser livre de enxofre e aromáticos o tornam vantajoso em relação ao diesel convencional e gasolina. Emite menos poluentes do ar e gases de efeito estufa que não sejam óxidos de azoto. Além disso, é mais seguro de manusear e tem benefícios de lubrificação do que diesel fóssil (GEBREMARIAM; MARCHETTI, 2018).

Outro fator benéfico para influenciar em sua utilização é que não há necessidade do uso do petróleo para a sua produção e, que consiste também, em um produto renovável que pode vir de diferentes matérias-primas (AMBAT; SRIVASTAVA; SILLANPÄÄ, 2018).

## 3.2 Rota ética

Para uma melhor compreensão do que é a rota etílica, é necessário entender a transesterificação. O processo de transesterificação envolve uma série de reações sequenciais e reversíveis, comportando-se como uma pseudo reação de primeira ordem, com o equilíbrio posicionado no sentido do produto quando realizado na presença do excesso de álcool (KUMAR et al., 2018).

Em sua produção, é comum encontrar dois tipos de álcoois quando se envolve o biodiesel. Então, Mello et al. (2017) descrevem a comparação da produção de biodiesel através do uso de metanol (rota metílica) com catalisador alcalino e o uso do etanol (rota etílica) com catalisador enzimático. No entanto, chega à conclusão de que a utilização da rota etílica enzimática é a mais apropriada no ponto de vista ambiental, pois contempla mais pontos positivos de acordo com os 12 princípios da Química Verde. Além disso, a adoção da integração energética pode fazer uma grande diferença em relação à economia de energia (DE MELLO et al., 2017).

### 3.2.1 Conceito

A palavra rota possui em seu contexto, o significado de um percurso a ser seguido. Já a expressão do conceito etílico, apresenta correspondência à presença do álcool (HOUAISS, 2015).

Neste segmento, a partir destes conceitos, a união da palavra rota etílica indica que o caminho a ser traçado em uma determinada reação química, pode ser caracterizado pela presença da molécula alcóolica, em que é composta por carbonos, hidrogênios e oxigênio.

### 3.2.2 Utilização

Considera-se um alerta no que se remete à extrapolação do uso de combustíveis fósseis. Então, a utilização de combustíveis alternativos tem chamado atenção para a sustentabilidade. Devido à sua natureza ecológica, o biodiesel tem atraído cada vez mais interesse (AMBAT; SRIVASTAVA; SILLANPÄÄ, 2018). Sendo que, a rota etílica é considerada como uma das melhores formas de se produzir o biodiesel, pois esta vem sendo largamente empregada (DE MELLO et al., 2017).

## 3.3 Educação Ambiental



No art. 205, *caput*, da Constituição Federal (CF/1988), enuncia que todos os cidadãos possuem direito à educação, para o seu próprio exercício na sociedade, sendo assim, dever do Estado e da família propiciar o seu incentivo (BRASIL, 1988).

Ainda sobre o contexto do viés normativo, a Lei de Diretrizes e Bases (LDB), as Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de Química (DCN) e os Parâmetros Nacionais Curriculares (PCN) do Ensino Médio, identificam a Educação Ambiental como sendo interdisciplinar, o que condiz em ser indispensável na abordagem educacional (BRASIL, 1996; BRASIL, 2001; MENEZES, 2017).

Da mesma forma, no art. 225, *caput*, da CF/1988, menciona que o meio ambiente preservado de maneira ecológica, é um direito de todos (BRASIL, 1988).

Nesta perspectiva, a Educação Ambiental em prol do cuidado com o meio ambiente, ocorre a partir de um desenvolvimento de aprendizado, sustentada no respeito a toda comunidade de vida. Algumas modificações indispensáveis para o cuidado com o planeta, podem ser associadas através da solução de alguns problemas, a exemplo da superprodução (ONU, 1992).

Neste sentido, de acordo com algumas pesquisas, tornou-se possível identificar que a Educação Ambiental consegue influenciar na atitude sustentável dos seres humanos, refletindo por consequência, no meio ambiente (VARELA-CANDAMIO; NOVO-CORTI; GARCÍA-ÁLVAREZ, 2018). Neste contexto, é evidenciada a importância da Educação Ambiental.

Dessa maneira, é identificável que a Educação Ambiental é necessária para que o ser humano tenha uma percepção ambiental relacionada à consciência sustentável (VINCENZI et al., 2018).

### 3.3.1 Gênese e evolução histórica

Sabe-se que os seres vivos estão incluídos no meio ambiente e, então, por volta do século XX, manifestou-se a sua importância. A Educação Ambiental foi considerada como relevante, uma vez que é obrigatória em todos os níveis de ensino, sendo ela tratada de maneira formal ou não, e compreendida como interdisciplinar em que obtém um caráter necessário para a formação dos indivíduos (BRITO et al., 2017).

Em 1970, a regulamentação internacional já se referia à Educação Ambiental e ao cuidado com o meio ambiente (BRITO et al., 2017).

Foram assinados Tratados em defesa da sustentabilidade e do meio ambiente, ao mesmo tempo em que houve o incentivo da Educação Ambiental. Por essa razão, houve a

Conferência da Sociedade Civil ao longo do Rio-92. Neste cenário, se tornou importante o envolvimento de movimentos como a Organização das Nações Unidas (ONU), Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), dentre outras (ONU, 1992).

Considera-se que os regulamentos normativos e o contexto teórico da Educação Ambiental, decorreram a partir de movimentos ambientalistas. A crise ambiental moderna desde a revolução industrial intimida o equilíbrio ambiental, então, deste modo, considerou-se necessária a análise dos comportamentos consumistas (BRITO; BRITO, 2017).

Ao longo do tempo, surgiram diferentes atribuições legais que possuem uma conexão com a Educação Ambiental. No qual, induz o cidadão em respeitar toda a espécie viva (BRITO et al., 2017).

### 3.3.2 Conceito

A Educação é conceituada como “um processo para o desenvolvimento físico, intelectual e moral de um ser humano”, podendo ela ser alcançada mediante os diferentes níveis de ensino (HOUAISS, 2015, p. 357).

A definição de meio é determinado por um local ou comunidade em que pode ser vivido. Uma vez que, a palavra ambiente tem o significado parecido com o meio, pois indica um espaço em que é habitado, classificado também como natural (HOUAISS, 2015).

De acordo com as definições das palavras educação, meio e ambiente, as mesmas podem ser vinculadas e correspondentes ao significado do conceito sobre a Educação Ambiental.

Então, a Educação Ambiental é definida como sendo praticada de forma individual ou mediante a coletividade. Têm como intuito a formação do cidadão com pensamentos críticos através de ideias em que são focadas na relação com o ser humano/natureza (ONU, 1992).

### 3.4 Liames entre a transesterificação de óleos e gorduras residuais para a produção do biodiesel via rota etílica e a Educação Ambiental

Nestas circunstâncias, é perceptível que a transesterificação de óleos e gorduras residuais para a produção do biodiesel via rota etílica, tornou-se uma maneira viável para a proteção do meio ambiente, o que inclui a abrangência da preservação de todos os seres vivos. Desta forma, essa atitude é correspondente na influência da Educação Ambiental.

Uma vez que, a produção desse biocombustível está conectada à Educação Ambiental, visto que no art. 225, *caput*, da CF/1988 menciona que todos têm direito ao acesso do meio ambiente preservado, como também se torna o dever de todos atuarem em sua conservação, bem como o coletivo e o Poder Público (BRASIL, 1988).

A Educação Ambiental é caracterizada como um mecanismo viável para o respeito aos seres vivos (BRITO; BRITO, 2017).

Sendo assim, a atitude da frequente utilização do biodiesel a partir de OGRs, é convertida em uma maneira de educar ambientalmente a sociedade, para o benefício de todos e que contribui para a promoção da saúde humana.

Nesta lógica, esse compromisso com os seres vivos, não exclui o comprometimento com a sustentabilidade, no que se refere à reutilização de materiais que têm um descarte inadequado ao meio ambiente. Com essa finalidade, há uma expectativa da diminuição de poluentes visando o benefício de todos, pois através desta atitude é possível compreender o papel da Educação Ambiental.

#### **4 Conclusões**

A produção do biodiesel torna-se indispensável para um viés sustentável, pois o diesel convencional possui um nível de poluição atmosférica elevado para a natureza, sendo que a geração desse biocombustível, renovável e biodegradável, via rota ética e a partir dos OGRs, é considerada uma rota verde.

Tornou-se pertinente ressaltar que o ser humano está atrelado ao meio ambiente, pois se sabe que a poluição gerada acarreta em seu próprio prejuízo.

Neste ponto de vista, é fundamental destacar que a Educação Ambiental possui importância neste processo, pois com a sua percepção, o cidadão é conscientizado ambientalmente, e isso acaba por ser retratado em sua atitude.

No mais, é preciso reconhecer que a Educação Ambiental, assim como a sua prática sustentável, é essencial para a formação do cidadão.

#### **5 Agradecimentos**

Ao PIBIC/IFBA.

#### **6 Referências**

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: A review. **Renewable and Sustainable**



**Energy Reviews**, v. 90, n. March, p. 356–369, 2018.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, 5 de outubro de 1988. Disponível em:

<[https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88\\_Livro\\_EC91\\_2016.pdf](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf)>.

Acesso em: 27 out. 2018.

BRASIL, **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Disponível em:

<[http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/529732/lei\\_de\\_diretrizes\\_e\\_bases\\_1ed.pdf](http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/529732/lei_de_diretrizes_e_bases_1ed.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2017.

BRASIL. **Parecer CNE/CP nº 1.303/2001**. Disponível em:

<<http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/130301Quimica.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2017.

BRITO, A. de A. A. et al. Direito ambiental e proteção dos animais. In: PURVIN, G. (Org.). **Direito ambiental e proteção dos animais**. São Paulo: Letras jurídicas, 2017.

BRITO, F. de A. A.; BRITO, A. de A. A. Direito ambiental, recursos hídricos e saneamento. In: PURVIN, G. (Org.). **Direito ambiental, recursos hídricos e saneamento**. São Paulo: Letras jurídicas, 2017.

DE MELLO, M. et al. Biodiesel production by the methylic-alkaline and ethylic-enzymatic routes: Discussion of some environmental aspects. **Journal of Cleaner Production**, v. 144, p. 347–357, 2017.

DE OLIVEIRA, C. V. K. et al. Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes. **Industrial Crops and Products**, v. 123, n. January, p. 192–196, 2018.

GEBREMARIAM, S. N.; MARCHETTI, J. M. Economics of biodiesel production: Review. **Energy Conversion and Management**, v. 168, n. February, p. 74–84, 2018.

HAJJARI, M. et al. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. January, p. 445–464, 2017.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S.; FRANCO, F. M. de M. Pequeno dicionário houaiss da língua portuguesa. In: HOUAISS, A. (Org.). **Pequeno dicionário houaiss da língua portuguesa**. São Paulo: Moderna, 2015.

KUMAR, D. et al. Cement wastes as transesterification catalysts for the production of biodiesel from Karanja oil. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 26–34, 2018.

MAHMUDUL, H. M. et al. Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. January, p. 497–509, 2017.

MENEZES, L. C. de (Coord.). Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. In: MEC. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Disponível em:<<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

MIRANDA, A. C. et al. Analysis of the costs and logistics of biodiesel production from used cooking oil in the metropolitan region of Campinas (Brazil). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, n. January 2017, p. 373–379, 2018.

MONTEIRO, M. R. et al. Glycerol from biodiesel production: Technological paths for sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, n. February, p. 109–122, 2018.

NOGUEIRA, M. E. et al. **Óleo de cozinha**: preserve sua saúde com descarte consciente. (XVIII Encontro de Iniciação Científica e III Mostra de Extensão da UninCor). Disponível em: < <http://periodicos.unincor.br/index.php/iniciacaocientifica/article/viewFile/4135/3109>>. Universidade Vale do Rio Doce, 2016.

ONU. Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global. 1992. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/secad/arquivos/pdf/educacaoambiental/tratado.pdf>>. Acesso em 27 out. 2018.

RASTOGI, R. P. et al. Algal Green Energy – R&D and technological perspectives for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. October 2017, p. 2946–2969, 2018.

RUIZ, J. A. **Metodologia científica**: guia para eficiência nos estudos. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

SAHAR et al. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, n. May, p. 220–226, 2018.

TAN, Y. H.; ABDULLAH, M. O.; NOLASCO-HIPOLITO, C. The potential of waste cooking oil-based biodiesel using heterogeneous catalyst derived from various calcined eggshells coupled with an emulsification technique: A review on the emission reduction and engine performance. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 589–603, jul. 2015.

VARELA-CANDAMIO, L.; NOVO-CORTI, I.; GARCÍA-ÁLVAREZ, M. T. The importance of environmental education in the determinants of green behavior: A meta-analysis approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1565–1578, 2018.

VINCENZI, S. L. et al. Assessment of environmental sustainability perception through item response theory: A case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1369–1386, 2018.

ŽIVKOVIĆ, S. B. et al. Technological, technical, economic, environmental, social, human health risk, toxicological and policy considerations of biodiesel production and use. **Renew Sustain Energy Rev**, v.79, p. 222-247, 2017.