



ANÁLISE CINERGÉTICA FOCADA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E NA CORRELATA PROMOÇÃO DO USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS EM PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

THE SYNERGETIC ANALYSIS TOUCHED ON ENERGY EFFICIENCY AND THE CORRELATIVE IMPROVEMENT OF BIOFUELS USE IN DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES

Laercio Kutianski Romeiro

Doutorando EACH – USP

Pesquisador Senior do GP2-POLI -USP em projetos de ACV.

Mediador do Curso de Engenharia de Produção da Univesp.

Mestre em Engenharia de Materiais - UFSCar

Bacharel em Química Industrial.

André Felipe Simões

Professor Associado da EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - EACH/USP

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - IEE/USP

Atuante nos seguintes cursos:

Bacharelado em Gestão Ambiental - EACH/USP

Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia - IEE/USP

Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade - EACH/USP

Resumo

O papel da Eficiência Energética no contexto mundial de crescimento econômico, o qual demanda cada vez mais energia, incorporou outras exigências simultâneas relativas à necessidade de mitigação da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Mitigações essas que visam atender as metas de redução, ou seja, as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, na sigla em inglês) acordadas em Paris em 2015, no âmbito da COP 15 (15ª Conferência das Partes de Paris). Destarte, a qualidade da energia inclui análise sistêmica ao longo do ciclo de vida em relação à intensidade de carbono. Neste contexto, frisa-se que os países produtores e consumidores estão adotando políticas de redução de emissões de GEE não apenas para os combustíveis fósseis tradicionais, como também, para os renováveis. De fato, as fontes de energia tradicionais deverão sofrer evolução tecnológica para atender os critérios dos programas escalonados de redução de emissões e deverão implicar em novos requisitos socioambientais para as próximas décadas. O Brasil como um dos líderes em produção de biocombustíveis, o qual possui uma matriz energética limpa, está se adequando às exigências de redução de emissões e também aprovou a implantação de programas de biocombustíveis, a partir de 2017, (RenovaBio). Programa esse que visa uma ampla política de estado focada no fomento à produção e uso dos biocombustíveis no Brasil, o qual incentiva a eficiência energética e a capacidade de mitigação das emissões de GEE. É sob esta égide que se edifica o presente estudo e que visou, pragmaticamente, contribuir para a compreensão do efetivo papel da eficiência energética no que se refere ao estabelecimento de uma economia de baixo carbono, em nível global. Para tanto, avaliou-se, sinergicamente e sob o prisma metodológico da revisão bibliográfica sistêmica, eventuais discrepâncias tecnológicas, regulatórias e econômicas entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento.

Palavras Chaves: Biocombustíveis. Economia de Baixo Carbono. Eficiência Energética. Acordo de Paris.

Abstract

The role of Energy Efficiency in the global context of economic growth, which is increasingly demanding energy, is being enriched with other simultaneous requirements related to the need to mitigate GHG emissions, in order to meet reduction targets (i.e., the Nationally Determined Contributions – NDC) agreed in Paris, in 2015, under COP 15 (the 15th Conference of the Parties of the UNFCCC, which, essentially, resulted in the Paris Agreement). Thus, energy quality includes systemic analysis throughout the life cycle in relation to the carbon intensity. In this context, it is stressed that producer and consumer countries are adopting policies to reduce GHG emissions not only for traditional fossil fuels, but also for renewables. In fact, traditional energy sources must undergo technological evolution to meet the criteria of phased emission reduction programs, possibly and ideally, associated with the NDC of each country that has ratified the Paris Agreement (currently, practically all those linked to the United Nations, with the exception of the USA) and should imply new socio-environmental requirements for the coming decades. Brazil, as one of the leaders in biofuel production, which also has a clean energy matrix, is adapting to the emission reduction requirements. In 2017, the country approved the implementation of biofuel programs that encourage energy efficiency and the mitigation of GHG emissions – in

particular, it is urgent to highlight, in this context, the recent RENOVABIO, a broad state policy focused on promoting the production and use of biofuels in Brazil. In such context, the present study aimed, pragmatically, to contribute to the understanding of the effective role of energy efficiency in establishing a low carbon economy at the global level. For this, possible technological, regulatory and economic discrepancies between developed countries and developing countries were evaluated synergistically and under the methodological prism of the systemic bibliographic review.

Key Words: Biofuels. Low Carbon Economy. Energy Efficiency. Paris Agreement.

1 - Introdução

Apesar da crise econômica de 2008 e 2009, que ocorreu principalmente a partir dos EUA, o mundo tem evidenciado um crescimento contínuo da economia e, conseqüentemente, do consumo de energia. De mesmo modo o Brasil, também, apresenta um consumo crescente de energia interrompido pela crise em 2014, conforme Figura 1 (EPE, 2017). Igualmente as emissões de CO₂ pelo uso da energia são crescentes em função do consumo de energia.

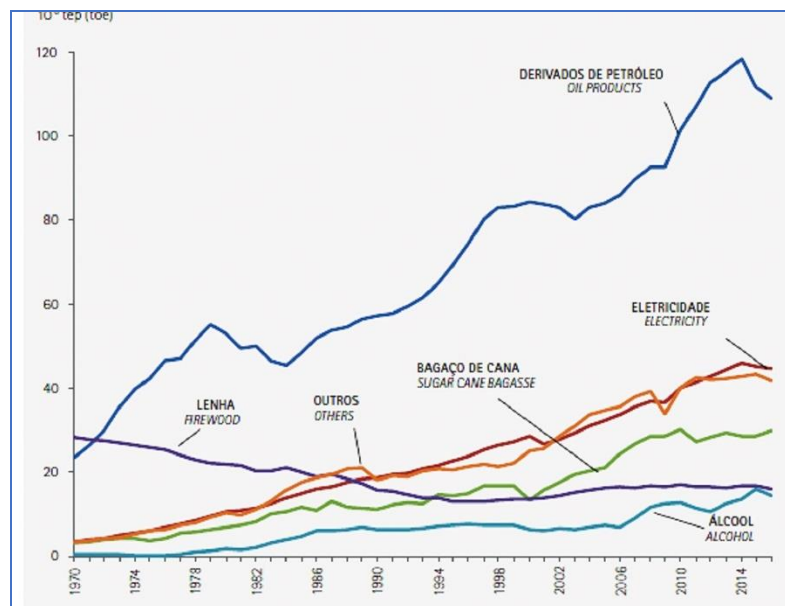


Fig.01 - Consumo Final por Fonte (EPE,2017).

A Eficiência Energética¹ (EE) tem sido mencionada como uma ferramenta de redução de consumo de energia, (desde a publicação do relatório Stern em 2007) e a partir das regulamentações propostas no Acordo de Paris², muitos países incluíram a EE como um requisito adicional do programa de redução de CO₂ de origem fóssil.

Resumidamente as metas do Acordo de Paris indicam que as emissões GEE devem ficar limitadas, até o fim desse século a 1.000 Gt CO_{2e} para manter em mais de 50% as chances de conter o aumento da temperatura do planeta em até 2^oC até 2100. Para isso, é preciso que as emissões mundiais caiam dos atuais 50 Gt CO_{2e} ao ano para a faixa de 30 a 15 Gt CO_{2e} ao ano até 2050. Caso contrário, em duas décadas, já teremos ultrapassado o limite acordado (COALIZÃO BRASIL, 2018).

O Brasil está inserido em um pequeno grupo de países que possuem uma matriz energética (oferta de energia primária, no caso) mais limpa, diferentemente da matriz média mundial que se caracteriza por uma matriz basicamente de origem fóssil. Inicialmente é importante considerar que apesar da importância crescente que diversos países têm mostrado ao inserir em seus programas econômicos objetivos de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) o combustível de origem fóssil ainda é um “*driver*” para maioria dos polos econômicos.

Cada vez mais os países que assinaram e ratificaram o Acordo de Paris sinalizam que vão internalizar as metas de redução de GEE nos programas nacionais e podem ser constatadas nas políticas de Baixo Carbono.

As metas de redução de emissões GEE não são baseadas em um único programa e para serem atingidas outros programas paralelos devem ser aplicados, sendo um deles o aumento do uso de biocombustíveis e bioeletricidade ambos interligados com a EE.

Após o acordo de Paris em 2015 muitos países implementaram programas visando atender os objetivos nacionais, denominado Contribuições Nacionalmente

¹ Definição tradicional de EE: melhorar a eficiência energética significa reduzir o consumo de energia necessário para produzir um determinado serviço de energia; (Ref:Patterson, M. (1996), 'What is Energy Efficiency? – Concepts, Indicators and Methodological Issues', Energy Policy 24(5), 377–390).

² Coalizão Brasil, Ipam, Nasa Earth Observatory, Scripps CO₂ Program e SEEG,2016.

Determinadas (NDC, na sigla em inglês). Dentre outros a mitigação da emissão de GEE através de redução no uso de fontes fósseis, e, também substituindo parte do correlato consumo de combustíveis fósseis por fontes renováveis. Historicamente, os países em desenvolvimento têm contribuído pouco com o aumento das emissões de GEE e, conseqüentemente, com o potencial aquecimento global. A partir do Acordo de Paris, os países em desenvolvimento, além dos BRICS³ (especialmente China, Índia e Brasil) também se posicionaram em relação à mitigação dos GEE e, assim, as emissões de GEE per capita deverão ser reduzidas também por esses países, para atender as metas do Acordo, conforme Figura 2.

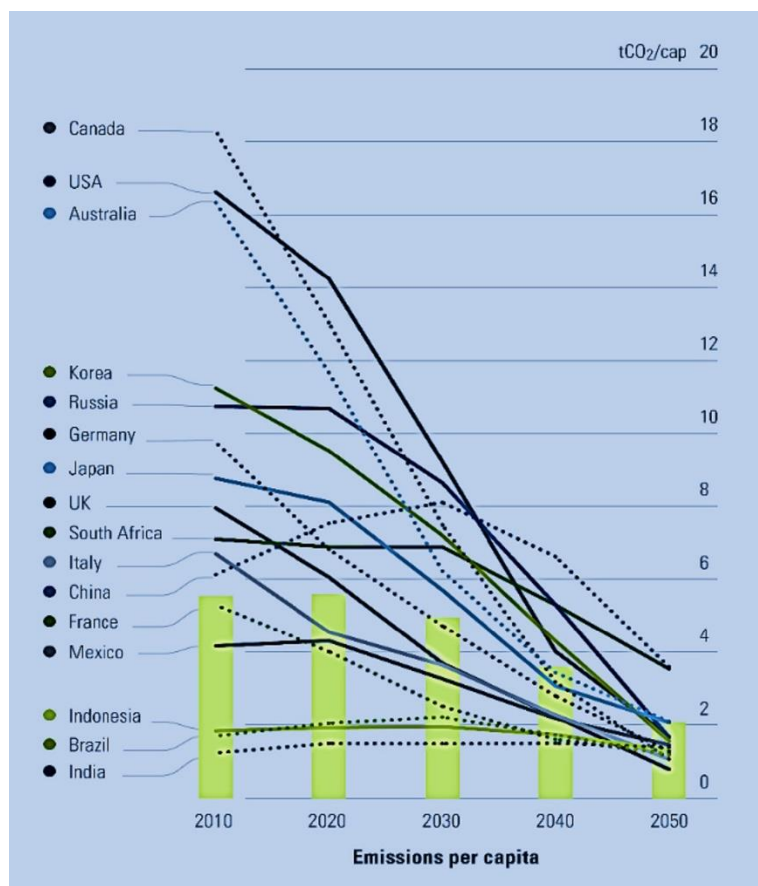


Fig.02 – Emissões de CO₂ per capita dos 17 países do projeto DDDP¹ (Bataille et al, 2016)

³ Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

Diversos países incluíram nos programas nacionais projetos de descarbonização da energia visando avançar na transição para uma economia de baixo carbono a partir de um projeto colaborativo entre 16 países denominado “*DDPP -The Deep Decarbonization Pathways Project*” (BATAILLE et al, 2016). Como exemplo, a Índia apesar de possuir a terceira maior reserva de carvão, aumentou a produção de bioenergia produzida a partir de biomassa como alternativa mais sustentável, principalmente a adoção de bioetanol a partir de cana de açúcar, (IEA, 2015) cujo potencial de energia é estimado em 18 GW em 2015, onde ocorreu uma transição do comércio de hidrocarbonetos para economia de carbo-hidratatos (GAURAV, 2017).

2 – Discussão

2.1 – Intensidade de Carbono na Economia

A transição para economia de baixo carbono inclui por um lado uma melhoria contínua de processos e por outro uma redução da intensidade de carbono na energia, cujo objetivo é atingir de modo simultâneo uma efficientização energética associada a redução de emissões.

Os caminhos para redução de carbono na economia necessitam de uma reestruturação e cada país deve fazê-lo de acordo com as circunstâncias próprias, incluindo um programa de EE associado a uma substituição parcial dos recursos fósseis por fontes renováveis ou baixa emissão. A necessidade de inclusão de países em desenvolvimento no acordo de redução de emissões de GEE se justifica pelas evidências de aumento da intensidade energética na economia associado com a intensidade de carbono na energia, ao contrário de alguns países de maior renda conforme figura 3, a seguir.

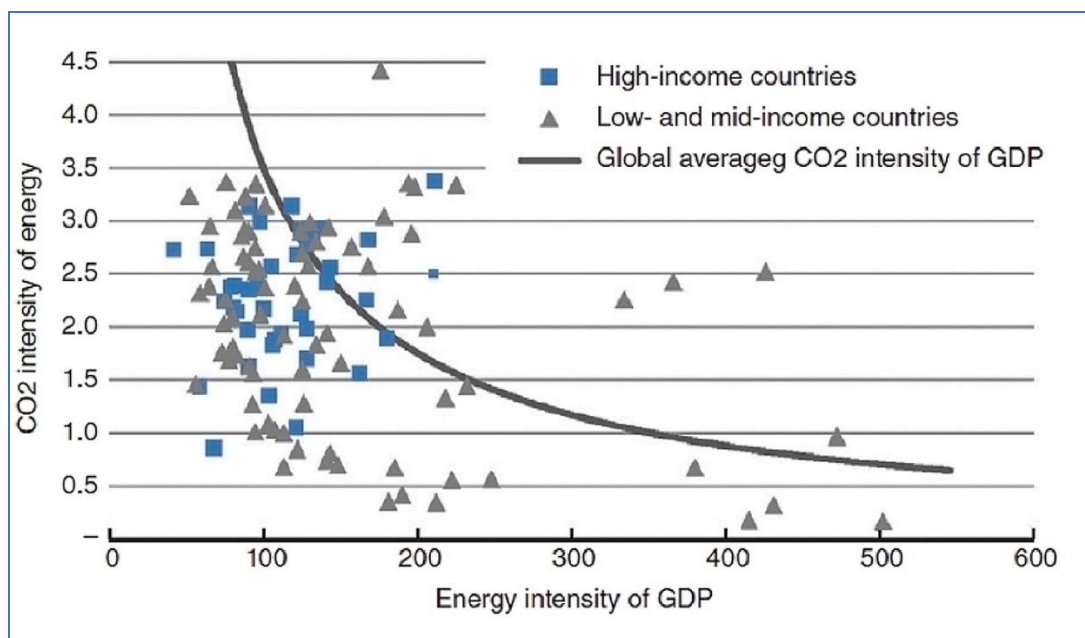


Fig.03 – Intensidade de energia na economia versus intensidade de Carbono na energia, 2011. Dados para 100 maiores países populosos, excluindo os países com dados indisponíveis (Fankhauser, 2018).

Historicamente, a intensidade energética vem aumentando na média. No entanto, o estudo (FANKHAUSER, 2018) mostra que há uma maior contribuição nos países de baixa e média renda, conforme vemos na Figura 4. Grandes reduções foram observadas em economias de transição, mas a intensidade de carbono está mais frequente na maioria dos países, pois poucos países diminuíram suas correlatas intensidade de carbono. A figura 3 mostra um significativo número de países em desenvolvimento cuja performance de carbono está pior que a média, pois a estrutura econômica difere entre eles (p.ex.: indústria pesada versus indústria leve; intensificação de carbono na energia versus recursos energéticos naturais; e disponibilidade de recursos), além das decisões políticas. Em alguns países, a infraestrutura de transporte está baseada nos combustíveis derivados de petróleo e representa 25% das emissões de CO₂ relativos a energia (KOPONEN, 2017).

A intensidade de carbono é dada pela relação entre o crescimento econômico, consumo energético e emissões de GEE. Pode ser medido pela relação de Yoichi Kaya⁴:

⁴ Ref 20 - Lester,R.; Finan, A. - Quantifying the Impact of Proposed Carbon Emission Reductions on the U.S. Energy Infrastructure – Industrial Performance Center – MIT – 2009.

$$C = Y \cdot \frac{C}{E} \cdot \frac{E}{Y} \quad (01)$$

Onde temos: C / E = Intensidade Carbono (kg CO₂ / kg toe);
 E / Y = Intensidade Energética (kg toe / 1000 US GDP);
 Y = Produção Econômica (1000 US GDP)

A média da intensidade energética na economia foi de E/Y = 134 kg toe/1000 USD, com um máximo de 300 e a média de intensidade de carbono na energia foi de C/E = 2,6 kg CO₂ / kg toe), com máximo de 3,0. E o valor médio de carbonização da economia foi de C = 347 kg de CO₂ /1000 USD. No entanto, esse mesmo estudo (FANKHAUSER, 2018) mostra, que os países que estão acima da curva média, na sua maioria, são países de baixa e média renda. Os países de alta renda, em média, reduziram 20% a intensidade energética e 17% a intensidade de carbono. Mas a avaliação na década confirmou a contribuição dos países de baixa e média renda no aumento da intensidade energética da economia, conforme figura 04.

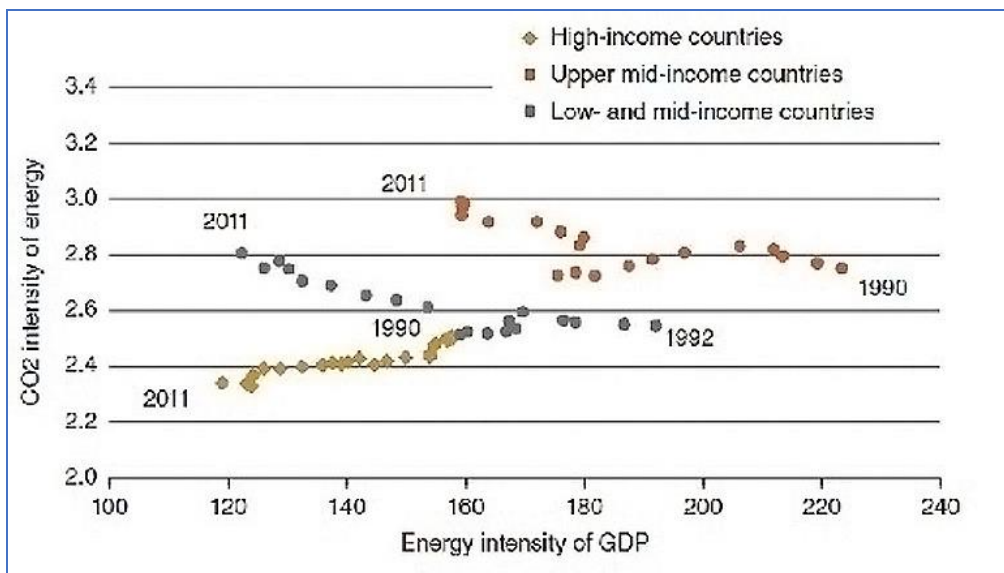


Fig. 04 - Trajetória da intensidade energética na economia versus intensidade de carbono na energia. Dados para 100 maiores países populosos, excluindo os países com dados indisponíveis (Fankhauser,2018).

Na década de 1990, os países de alta renda reduziram a intensidade de energética em até 4% e os países de média e alta renda indicaram crescimento econômico, mas ocorreu de

forma adicional um aumento de carbono na energia e aumento de energia na economia. As justificativas são devido ao crescente uso de carvão na produção de eletricidade e transporte por diesel. Outro fator agravante é o crescente aumento da disponibilidade de gás de xisto (*shale gas*) que alterou a disponibilidade de combustíveis fósseis nos EUA e derrubou os preços desde o início desta década e favoreceu a disponibilidade de recursos de origem fóssil no mercado internacional, indicando uma crescente demanda nas próximas décadas, conforme figura 5, a seguir.

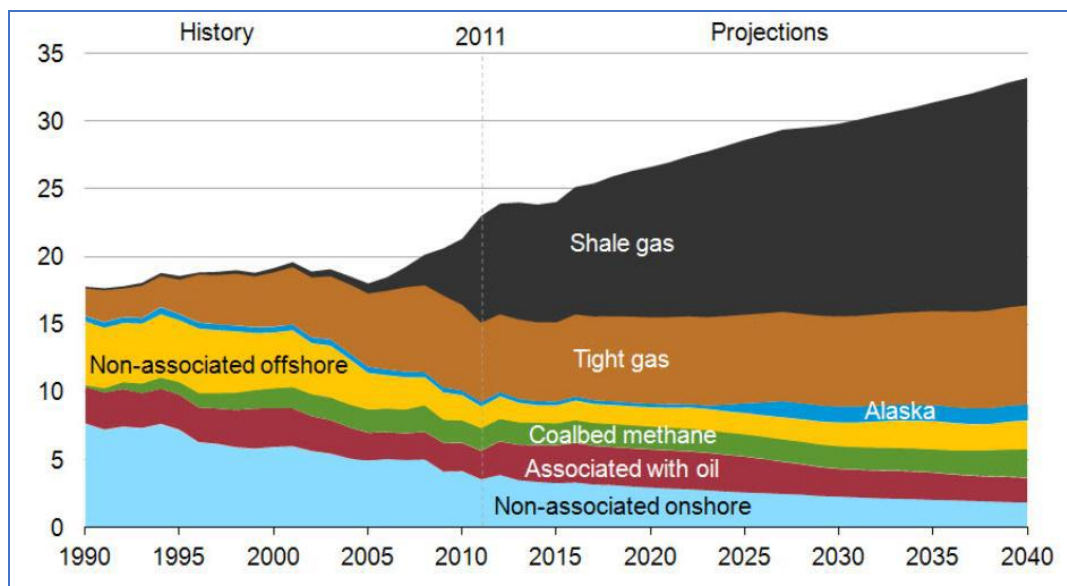


Fig.05 – Projeções para o gás natural nos EUA (IEA, 2013).

2.2 – Evolução da regulação das diferentes fontes de energia

A regulação prevista para biocombustíveis e biomateriais baseiam-se em normas⁵ que se tornaram uma ferramenta de governança, pois cada membro da comunidade realiza esse controle através de agências reguladoras que se utilizam de fundamentos científicos para propor políticas públicas com base em técnicas que se alicerçam em requisitos jurídicos.

Alguns autores entendem que a deficiência da governança pública em relação a sustentabilidade do setor de biocombustíveis ainda não está implementada de modo a cobrir critérios sócio ambientais. Especialmente citados estão o Brasil (como potencial fornecedor de biomateriais), os Estados Unidos e a Comunidade Europeia,

⁵ Norma: conhecimento acumulado na forma de regras conforme: Lewandowski I, Faaij A. Steps towards the development of a certification system for sustainable bio-energy trade. *Biomass and Bioenergy* 2006; 30:83–104

os quais estão nesse momento com suas recentes políticas de biocombustíveis em fase de implantação e consolidação (GERMAN, 2017).

Os avanços na produção do setor de biocombustíveis estão ocorrendo muito em função do alinhamento dos interesses dos estados em relação a segurança alimentar e energética com as oportunidades das corporações em atender as demandas de energia e transportes utilizando um formato de governança baseado em certificações voluntárias que indicam cumprimento de práticas legítimas pelas empresas.

A base para implantação de certificações de biomassa e resíduos foram os sistemas de certificação (SC) de florestas, de produtos agrícolas e de eletricidade cujos principais tópicos de interesse dos principais *stakeholders* (envolvidos) para uma certificação de biocombustíveis coincidem com os de biomassa. A certificação de florestas denominada “*Forest Stewardship Council*” (FSC) foi introduzida em 1994 e está em dezenas de países, assim como outra certificação denominada “*Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC)*” que inclui a cadeia de custódia no programa de certificação (LEWANDOWSKI, 2006).

Na década passada surgiram as certificações específicas que envolviam os interessados em determinados produtos de origem renovável, tais como *Roundtable on Sustainable Palm Oil - RSPO*, *Better Sugarcane Initiative – BSI*, *BON-SUCRO*, *Roundtable for Responsible Soy Production -RTRS* que correspondem a óleo de palma, cana de açúcar e soja, respectivamente.

Simultaneamente em alguns países criaram-se SCs próprios devido ao crescente aumento de importação de biomassa para geração de bioenergia e biocombustíveis. Dentre vários SCs podemos citar *Roundtable on Sustainable Palm Oil - RSPO*, *Biofuels Sustainability Ordinance - BSO*, *Environmental Choice Program - ECP*, *EcoLogoM*, *IFOAM* que correspondem a Inglaterra, Alemanha, Canadá, EUA, Holanda com suas respectivas exigências.

A partir de um programa da UNEP em 2006, em parceria com o G8 (as oito maiores economias) denominado *Global Bio-Energy Partnership (GBEP)*, foi sugerido a recomendação de incluir critérios de sustentabilidade ao longo de todo ciclo de vida do produto desde a produção, passando pela etapa de conversão até a geração da bioenergia. A inclusão desses critérios culminou com a criação de outro SC

denominado “Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB)” visando atender critérios para geração de bioenergia no âmbito do Tratado de Kyoto, em vigor na ocasião.

Os SCs tem sido utilizados de modo crescente e a tendência é aumentar o rigor a medida que novos indicadores socioambientais são incluídos, principalmente devido à pressão de mercados regulados através de diretivas ou através das diferentes exigências implantadas por diferentes setores consumidores. Na figura 06 podemos observar a evolução dos SCs a partir de 1994, principalmente na Europa, a partir da certificação de madeiras e das diversas associações ocorridas em alguns países criando seus próprios SC. Na última década também ocorreu novas regulações em países fornecedores de biomassa e biocombustíveis, tais como, Brasil e Índia (ainda em fase de implantação da regulamentação).

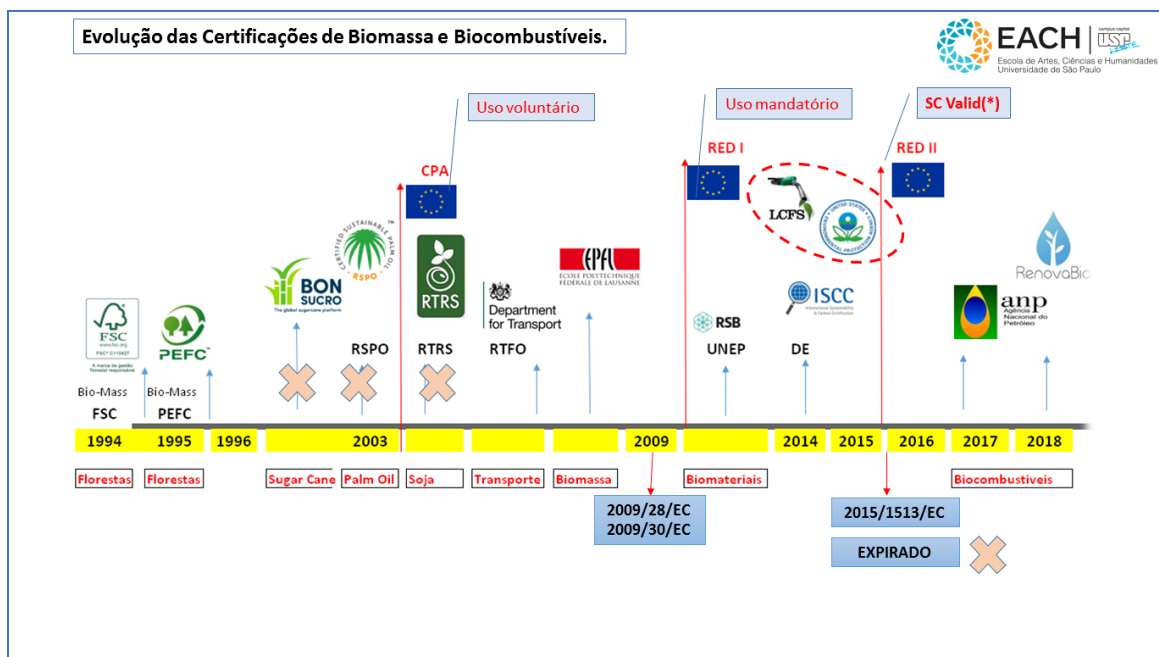


Fig.06 – Evolução das Certificações de Biomassa e Biocombustíveis (Próprio autor, 2018).

A Comunidade Europeia (CE) publicou em 2003 uma primeira diretiva⁶ com sugestão voluntária de adotar o uso de combustíveis de fonte renovável como opção para redução de emissões de GEE e em 2009 publicou uma diretiva (RED I) com metas compulsórias de redução de emissões para o ano de 2020. E em 2016 foi

⁶ Fuel Quality [Directive 2003/30/EC](#)

publicada uma nova diretiva (RED II), alterando as metas de redução e incluindo outras fontes de biomassa, conforme segue na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Resumo das metas das diretivas europeias RED I⁷ versus RED II⁸.

RED I (metas compulsórias para 2020)	RED II (metas para 2030)
Setor: Energia	Setor: Energia
Min. 20% de energia renovável; Min. 20% redução de GEE; Poupar no mínimo 35% carbono Biogênico comparado com combustível fóssil em 2016, 50% em 2017; Para novas instalações deve poupar mínimo 60% ;	Min. 27% de energia renovável; Para novas instalações deve poupar mínimo 70% partir de 2021;
Setor: Transportes	Setor: Transportes
Meta de redução de 6% de GEE na intensidade de carbono dos combustíveis; Meta de redução de 10% de energia renovável em transportes; Fontes: Biocombustíveis de 1 ^a geração / grãos de origem base alimentícia	Inclusão de 6,8% a partir de biocombustíveis avançados; Fontes: Biocombustíveis de 2 ^a geração / excluindo de origem base alimentícia

2.3 –Tecnologia

⁷ Renewable Energy Directive (RED) 2009/28/EC and the revised Fuel Quality Directive (FQD) 98/70/EC4 through Directive 2009/30/EC5

⁸ Renewable Energy Directive (RED) 2015/1513/EC

A crescente demanda por biocombustíveis de primeira geração a base de grãos (milho, cana de açúcar, beterraba, soja e colza) pode acarretar conflitos socioeconômicos devido ao subsequente aumento de escala e afetar a segurança alimentar. Novas alternativas tecnológicas para geração de biocombustíveis de segunda geração (resíduos de agricultura, florestais, etanol de lignocelulose, biometano, em especial) têm sido incentivadas baseadas em grãos não alimentícios associado a processos biotecnológicos e outras fontes de biomassa (Das, 2017). As tecnologias de terceira e quarta geração estão ligadas as características físicas das matérias primas (gasoso, líquido ou peletizado); tecnologias de modificação da estrutura (hidrogenação, captura de gases, enriquecimento) seguido de processos de conversão (óleo de alga seguido de transesterificação) (LIEW, 2014).

a) Enriquecimento com hidrogênio

Biocombustíveis sintéticos a partir de uma quantidade de biomassa quando gaseificado com hidrogênio, pode ampliar o rendimento de modo a se tornar uma nova ferramenta potencial para auxiliar na redução das emissões de GEE. A partir da eletrólise da água como fonte de hidrogênio ocorre uma conversão térmica sintética da biomassa e posteriormente a produção do biocombustível. Importante nesse caso é utilizar eletricidade de fonte renovável ou baixa emissão de carbono fóssil e contabilizar as emissões pelo uso da terra na ocasião de plantio da biomassa.

b) Resíduos ou *pellets* de madeira

A partir de biomassa de madeira (resíduos ou pellets) pode ser produzido vapor e energia elétrica de forma combinada em estações compactas destinadas a polos industriais localizados. O processo consiste produzir vapor através de uma câmara de combustão de leito contínuo onde alimenta-se os resíduos de madeira e produz-se vapor de alta pressão para geração de eletricidade em uma turbina e na sequencia aproveitamento do calor residual pós turbina para geração de vapor baixa pressão ou água quente para processos de modo associado.

c) Resíduos de madeira e dejetos orgânicos fermentados associados.

A partir de biomassa sólida gerados em áreas rurais (madeira, dejetos, restos de grãos, resíduos pre-fermentados) pode-se produzir por digestão anaeróbica em um digestor de biogás para uma estação que alimenta de modo contínuo um gerador de combustão interna para produzir energia elétrica e um tanque de biocombustível (biogás) para veículos e consumo próprio.

d) Bioenergia de lignocelulose com captura de carbono.

Apesar da disponibilidade técnica de atender a demanda de energia com bioenergia obtida de biocombustíveis de 2ª geração, há uma geração de GEE nas etapas de plantio, colheita e transporte, cuja contabilidade de emissão deve ser atribuída ao ciclo de vida da biomassa atribuída. A opção nesses casos será incluir um processo de gaseificação da lignocelulose antecipando a etapa de produção de energia seguido de uma tecnologia eficiente de captura de CO₂ denominada de “Bioenergy with Carbon Capture System-BECCS”.

As tecnologias aplicadas aos processos de descarbonização de energia nos programas do setor energético podem ser aplicados para produção de bioenergia. As novas instalações de produção de energia ou as plantas remodeladas na Europa e EUA devem atender níveis de emissão de Carbono Fóssil mais restritos, mesmo aquelas que utilizam combustível fóssil, necessitando incluir processos adicionais de eficiência de produção e escalonamento na redução de emissões de GEE.

Dentre opções de captura a variação consiste em captura do CO₂ após a combustão por absorção em uma amina com posterior separação e compressão. Outra possibilidade é aumentar o rendimento da combustão utilizando oxigênio na etapa de combustão seguido por captura. Esses processos variam de 90 a 99% de captura CO₂ decorrente da combustão (BATAILLE *et al*, 2016).

A redução é significativa e como exemplo para geração de eletricidade a partir de gás natural em um ciclo combinado com turbina emite 350g CO_{2-e}/kg; quando acoplado ao sistema de captura pode chegar a 100 CO_{2-e}/kg (CCC, 2015). Alguns fatores são apresentados na tabela 2, os quais são utilizados para calcular a emissão por fonte de energia nos inventários de emissão de GEE de plantas e processos. No caso do Brasil o fator de emissão médio para eletricidade fornecida pelo sistema nacional na página do MCTIC (MCTIC, 2018) está bem abaixo dos valores médio

de outros países. No entanto tem sido crescente a carbonização da matriz brasileira em função da necessidade de utilização de eletricidade gerada nas plantas que usam combustível fóssil em períodos de baixa disponibilidade de água nas hidroelétricas.

A partir de 2014 é mais acentuada a carbonização da matriz brasileira, no entanto, é substancialmente menor que a média da Comunidade Europeia, conforme mostra a tabela 2. Em 2016, o fator de emissão da energia elétrica do Brasil foi 81,9g CO_{2-e}/kg comparado com o fator médio da CE 441g CO_{2-e}/kg. E mesmo comparando com países de matriz energética relativamente limpa como a Finlândia, ainda temos uma matriz limpa. Esse valor já chegou a atingir 135,5 g CO_{2-e}/kg no ano de 2014 (MCTIC, 2018). Um aspecto a ser destacado é o fator de emissão reduzido de uma fonte de geração eólica, cuja contribuição a média nacional favorece a redução caso seja substancial a adoção desse tipo de fonte.

Fonte de Energia	Unidade	Valor	Fonte dos Dados
Produção de óleo Diesel	gCO ₂ -eq/MJ	15.4	JEC-study
Combustão/ Diesel	gCO ₂ -eq/MJ	73.2	JEC-study
Fertilizante /Nitrogenado	gCO ₂ -eq/kg	6409	Ecoinvent 2.1 (*)
Zero emission Electricity (**)	gCO ₂ /kWh	10	ELCD database [48]
Average Finnish	gCO ₂ -eq/kWh	172	Statistics Finland
Average EU	gCO ₂ -eq/kWh	441	ELCD database
Average Brazil	gCO ₂ -eq/kWh	81,7	MCTIC.gov.br (2016)
Fossil fuel	gCO ₂ -eq/MJ	83.8	RED I
Fossil fuel	gCO ₂ -eq/MJ	94	RED II

(*) Principal Banco de Dados de ACV usado também no Brasil

(**) On-Shore Wind Turbine

Tabela 2 – Fatores de emissão de fontes de energia (Koponen, 2017, Tab 4 e MCTIC, 2018)

e) Evolução da tecnologia dos biocombustíveis.

As vantagens nos diferentes processos de obtenção de biocombustível são crescentes com o avanço da tecnologia relativo a redução dos GEE, assim como as desvantagens crescente principalmente relativo ao custo, conforme a Tabela 3.

Combustível	Vantagens	Desvantagens
-------------	-----------	--------------

Combustível de petróleo	Alta disponibilidade Tecnologias estabelecidas	Depleção de combustível fóssil Afeta as mudanças climáticas Flutuação do preço do combustível fóssil Maior pegada de carbono
Biocombustível de 1ª geração	Biodegradável. Segurança energética.	Concorrência do uso da terra Mistura com combustível convencional Maior pegada de carbono em comparação com outros tipos de biocombustível
Biocombustível de 2ª geração	Nenhuma competição com alimentos Produção de produtos de alto valor agregado Segurança energética	Processos complexos são necessários Tecnologias de conversão em desenvolvimento Baixa conversão em comparação com o combustível de petróleo
Biocombustível de 3ª geração	Alto rendimento Nenhuma competição com alimentos Nenhum conteúdo tóxico Segurança energética	Alto custo de processamento Tecnologia de produção em desenvolvimento Colheita e processamento difícil
Biocombustível de 4ª geração	Biocombustível com carbono negativo. Segurança energética	Falta de estudo sobre seu desempenho prático em termos aspectos técnicos e econômicos. Ainda em estágio de pesquisa e desenvolvimento

Tabela 3 – Vantagens e Desvantagens dos diferentes tipos de biocombustível (Liew, 2014).

2.4 – Política de Baixo Carbono no Brasil

No caso do Brasil a iniciativa para uma economia de baixo carbono está suportada pelos pilares: metas de redução GEE precificação do carbono e imposto sobre emissões. Em 2016 o Brasil ratificou o Acordo de Paris comprometendo-se a reduzir suas emissões de GEE em 37% em relação aos níveis de 2005 até 2025, e em 43% até 2030, por meio de sua NDC (Magalhães, 2016). E um dos objetivos para 2030 é atingir 18% de participação de biocombustíveis na matriz energética e alcançar 23% de participação de energias renováveis (além da hídrica) no fornecimento de energia elétrica.

Em relação à EE, o Brasil tem um histórico de programas que começa em 1984 com Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE –INMETRO), no ano seguinte o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Em 2005 foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), lançado em 2005. Em 2009, o Programa de Etiquetagem de veículos e de edifícios. Em 2011, o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural

(CONPET) e em seguida o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf). No entanto esses programas não estavam atrelados às metas de redução de emissões de GEE.

Apenas em 2015 com a ratificação do Acordo de Paris e os compromissos de redução de emissões de GEE houve uma decisão de implantar programas com metas de redução de emissões. Entre os programas temos de biocombustíveis (RenovaBio), eficiência de motores veiculares flex (Inovar-Auto), programa de precificação de carbono. Todos em andamento e sem metas e calendário definido. O mais avançado é o RenovaBio que foi promulgado em 2017 (Lei 13.576/2017)⁹ e regulamentado em 2018 (DL 9308/18)¹⁰.

O programa RenovaBio é a primeira iniciativa alinhada às metas assumidas pelo Brasil no contexto do Acordo de Paris sobre mudança do clima e dispõe sobre metas compulsórias anuais de redução de emissões de GEE e que devem entrar em vigor em 2019. A norma prevê a utilização de Crédito de Descarbonização de Biocombustíveis (CBIO), concedidos a produtoras de biocombustível de acordo com a proporção de energia limpa por elas produzida. Quanto maior essa proporção, mais créditos a empresa terá. Os créditos serão negociados na bolsa de valores e comprados por setores que precisem deles como contrapartida pela emissão de carbono de suas próprias produções.

A EE e a redução de emissões serão incentivados através da geração de crédito de descarbonização que será contabilizado em função da emissão ao longo do ciclo de vida comparado com o combustível fóssil conforme figura 07.

⁹ URL: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm#art6

¹⁰ URL: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2018/decreto/D9308.htm

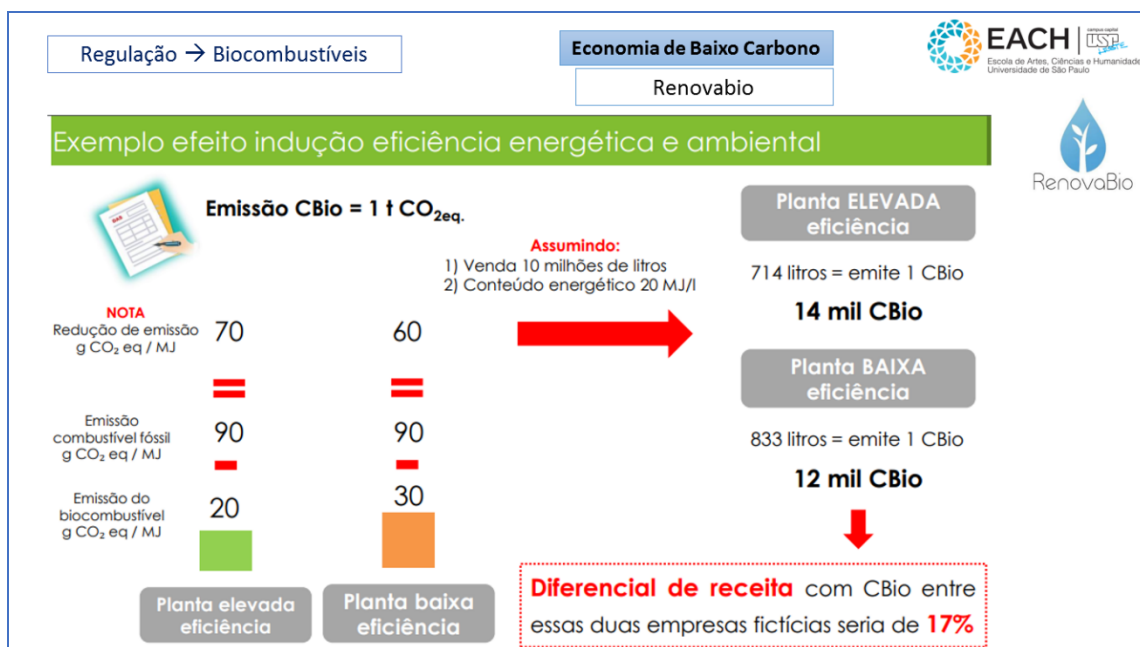


Fig.07 – Exemplo de efeito indução devido eficiência energética (Renovabio, 2017).

A partir da implantação dessas normas o Brasil poderá atender requisitos das normas da CE e dos EUA em relação a biocombustíveis que devem apresentar índices de redução de GEE comparado ao combustível fóssil. Além dos combustíveis de 1ª geração o Brasil também possui plantas com etanol de 2ª geração – chamado etanol 2G ou lignocelulósico – obtido da produção sucroalcooleira (bagaço, palha e ponta). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de Etanol, onde em 2016 produziu 26,85 bilhões de litros seguido pelos EUA com 56,05 bilhões de litros (CNI,2017).

3 – Considerações Finais

Os biocombustíveis têm sido utilizados como uma das soluções estratégicas para uma transição mais segura de um sistema de produção de energia mais sustentável, com uma vantagem de agregar benefícios socioambientais em diversas regiões do planeta. Os biocombustíveis de 2ª e 3ª geração possibilitam uso de diferentes fontes de matérias primas renováveis, exigindo ações de adaptação de plantio, inovação e desenvolvimento de novos cultivares, monitoração do uso do solo.

O uso de combustíveis fósseis no sistema de energia do futuro há de encerrar um sistema de certificação altamente normativo com os objetivos da ONU e um cenário

com novas tecnologias que permitem ampliar o uso desses combustíveis fósseis (Gás Natural – CCS¹¹, Carvão –CCS).

A necessidade política de alguns países que buscam crescimento econômico não permite exclusividade entre os fósseis ou renováveis para atender necessidades energéticas básicas. A vantagem é não optar pelos erros do passado nos quais os países desenvolvidos incorreram. Mas isso não significa que será mais eficiente ou a tecnologia mais limpa adotada, pois o fator econômico tende a definir as escolhas para estes países.

O desafio das novas políticas nacionais em implantação será a equiparação e a convergência entre os objetivos das políticas biocombustíveis e de combustíveis fósseis, seguindo uma forma integrada de planejamento, que possibilite fomentar a competitividade, a eficiência econômica, a consistência e a harmonia do setor energético como um todo, incluindo o abastecimento e a previsibilidade de longo prazo.

Os biocombustíveis apesar de serem considerados como substituto potencial aos combustíveis fóssil, ainda apresenta algumas barreiras relativos ao alto custo de produção, principalmente nas tecnologias mais avançadas, onde o custo do capital é alto. Será necessário avançar na pesquisa aplicada em novos insumos utilizando modificação genética e uma padronização metodológica na avaliação socioambiental que assegure maior sustentabilidade ao longo do ciclo de vida. Mesmo com todas essas limitações, um país não considerado desenvolvido (Índia) vem se destacando como um grande consumidor de biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis.

Outro fator limitante para a adoção de biocombustíveis, principalmente os de primeira e segunda geração é a dependência de unidades fabris limitadas a aquisição de áreas cultiváveis associados com os problemas de posse e preservação da biodiversidade.

Os SCs têm sido usados de forma crescente e com uma tendência de adoção por outros países consumidores e produtores de biomassa, pois ainda é um fator de pesquisa científica a implantação de critérios que possa avaliar os impactos sócio ambientais sobre a biodiversidade.

¹¹ CCS – Carbon Capture Storage

4 – Referências

Bataille, C., H. Waisman, M. Colombier, L. Segafredo, J. Williams & F. Jotzo -The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy, *Climate Policy*, 16:sup1, S7-S26, 2016.

COALIZAÇÃO BRASIL - Pós-Acordo de Paris: Caminhos para implementação da economia de baixo carbono. - Disponível em: <http://www.coalizaobr.com.br/home/index.php/docs/documentos-da-coalizacao> Acesso em: 10 abr 2018.

CCC. Power sector scenarios for the fifth carbon budget. Committee on Climate Change, London. 2015. Disponível em: <https://documents.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2015/10/Power-sector-scenarios-for-the-fifth-carbonbudget.pdf> Acesso em: 19 Jan 2017.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - O setor sucroenergético em 2030: dimensões, investimentos e uma agenda estratégica / Marcos Fava Neves; Felipe Gerardi; Rafael Bordonal Kalaki; Renata Gali. – Brasília : CNI, 2017.399

Das, G.– Science Direct Food–feed–biofuel trilemma: Biotechnological innovation policy for sustainable development - *Journal of Policy Modeling* 39 (2017) 410–442

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) – Publicação Balanço Energético Nacional (B.E.N.2018 - ano base: 2017) - Technical report, Rio de Janeiro. Disponível em: <[URL:http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018)> Acesso em: 10 abr 2018

Fankhauser, S.; Jotzo, F. - Economic growth and development with low-carbon energy, *WIREs Clim Change*, volume 9, 2018

FUNPEC - Economia de baixo carbono: impactos de novos marcos regulatórios e tecnologias sobre a economia brasileira - Ribeirão Preto, SP: FUNPEC Editora, 2014.

Gaurav, N. et al - Utilization of bioresources for sustainable biofuels: A Review - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (2017) 205–214

German, L. et al - Sine-Qua-Nons of sustainable biofuels: Distilling implications of underperformance for national biofuel programm - *Energy Policy* (108) 2017

IEA - International Energy Agency (2013): *Energy Statistics of OECD Countries* - (Edition: 2013). Mimas, University of Manchester. Disponível em: <http://www3.imperial.ac.uk/rcukenergystrategy> Acesso em: 10 abr 2018

IEA - International Energy Agency (2015): *India Energy Outlook* (Edição 2015) – Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IndiaEnergyOutlook_WE_O2015.pdf Acesso em: 10 abr 2018

Koponen, K.; Hannula, I. - GHG emission balances and prospects of hydrogen enhanced synthetic biofuels from solid biomass in the European context - *Applied Energy* 200(2017) 106–118

Lewandowski I, Faaij A.- Steps towards the development of a certification system for sustainable bio-energy trade. Biomass and Bioenergy 2006;

Liew et al. - Review of evolution, technology and sustainability assessments of biofuel Production. - Journal of Cleaner Production 71 (2014) 11e29

Magalhães, A.; Domingues, E. - Aumento da Eficiência Energética no Brasil: uma opção para a economia de baixo carbono? -Economia Aplicada, v. 20, n. 3, 2016

MCTIC – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES – Fator Médio Inventários Corporativos. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html Acesso em 10 abr 2018.

RenovaBio: Biocombustíveis 2030 - Nota Técnica: Sustentabilidade – EPE – Rio de Janeiro – 2017