

**Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade**

**PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL NO USO DE TRATORES DE UMA  
INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR PÚBLICA: UMA SIMULAÇÃO  
COMPUTACIONAL**

Glaucio Oliveira Rodrigues, Eugenio De Oliveira Simonetto, Elijeane Sales, Wellington Furtado,  
Adriano Pereira e Daniel Visentini De Barcelos

**RESUMO**

Este artigo apresenta uma proposta de modelo para aproveitamento do óleo Pós-descarte como alternativa para a redução dos danos causados por este composto vegetal. Através deste óleo será gerado biodiesel, onde o combustível será utilizado em tratores utilizados nas pesquisas do departamento de fitotecnia de uma IES pública. O modelo foi desenvolvido utilizando o software Vensim PLE, simulando 3 cenários. Um cenário representa o processo atual e dois cenários apresentam as propostas de utilização de biodiesel. Dentre os aspectos analisados estão a redução do impacto ambiental em função da redução do descarte inadequado do óleo de cozinha e da redução na geração de CO<sub>2</sub> ocasionada pelo uso do biodiesel. O modelo propõem que o biodiesel produzido seja usado pelos tratores do departamento estudado. Os resultados obtidos através da simulação demonstram que além da grande redução do impacto ambiental, o processo de reciclagem traz um menor custo na compra do diesel mineral.

**Palavras-chave:** Biodiesel, Sustentabilidade, Modelagem Computacional.

**ABSTRACT**

This article presents a proposed model for post-discharge oil use as an alternative to reduce the damage caused by this plant compound. Through this oil will be generated biodiesel, where the fuel will be used in tractors used in plant science research department of a public HEI. The model was developed using the Vensim PLE software, simulating three scenarios. A scenario is the current process and two scenarios present proposals for use of biodiesel. Among the analyzed aspects are reducing the environmental impact due to the reduction of improper disposal of cooking oil and reducing the generation of CO<sub>2</sub> caused by the use of biodiesel. The model proposes that the produced biodiesel is used by tractors studied department. The results obtained by simulation show that in addition to the large reduction of the environmental impact, the recycling process brings a lower cost with the purchase of mineral diesel.

**Keywords:** Biodiesel, Sustainability, Computational Modeling.

## 1. Introdução

A quantidade de gases gerados pela utilização de combustíveis derivados do petróleo detém a atenção de estudiosos no mundo inteiro. As indústrias buscam formas para a reduzir a emissão de poluentes para o meio ambiente, enquanto que pesquisas tentam criar combustíveis com menor impacto ambiental. Uma forma de reduzir o impacto causado pelos combustíveis fósseis é através do uso do óleo vegetal, como mostram os estudos de Demirbas (2009), Zang e Kong (2010), Bechet *et al* (2010), Mendes (2015).

Mendes (2015) aponta o óleo como um potencial poluidor do meio ambiente. Seu mal descarte pode acarretar prejuízos como a contaminação da água. O óleo de cozinha possui densidade diferente em relação à água (ele é mais leve). Assim, quando misturados, ele tende a emergir e formar uma película sobre a massa de água, o que ocasiona a diminuição ou o bloqueio da troca de oxigênio, podendo resultar na morte dos seres vivos que habitam aquele local. Além deste problema, o descarte inadequado pode impermeabilizar solos e entupir tubulações, prejudicando o escoamento e provocando inundações (OLIVEIRA, 2014).

Apesar de o óleo de cozinha ser um produto nocivo ao meio ambiente, ele pode ser um excelente subproduto para a cadeia produtiva, e está disponível para coleta em lanchonetes e cozinhas industriais ou residenciais. O óleo de cozinha queimado pode receber um destino correto por meio do seu reaproveitamento e reciclagem, podendo gerar produtos como o sabão, detergentes, ração animais, resina para colas e biocombustíveis (Oliveira *et Sommerlatte*, 2009). Uma forma de resolver os problemas causados pelo descarte inadequado do óleo é recolocá-lo como matéria prima, evitando, assim, grandes transtornos em sistemas de tratamento de água e, também, diminuindo a poluição do ar.

A utilização de energia limpa e a crescente necessidade de reaproveitamento de produtos de potencial prejuízo ao meio ambiente fazem com que os óleos vegetais residuais transformem-se em uma arma contra a poluição ambiental. Aumentam estudos referentes ao reaproveitamento de óleo, em especial para a produção de biocombustíveis, já que é considerado maléfico para o meio ambiente quando descartado de forma inadequada (CHRISTOFF, 2006).

Dentre as pesquisas atuais, o Biodiesel ganha grande destaque entre as soluções para a substituição do diesel. Eventualmente, empresas acrescentam certa porcentagem de biodiesel ao diesel, tentando reduzir os custos e impactos ambientais. Segundo Muñoz *et al* (2004), a principal característica do biodiesel é a significativa porcentagem de massa de oxigênio em sua composição, em torno de 11%. Apesar de apresentar um menor poder energético, o biodiesel contribui para aumentar a quantidade de cetano, reduzindo as concentrações de gases poluentes emitidos.

A sustentabilidade é a “alma” dos biocombustíveis. O potencial de apresentar vantagens concretas quanto à sustentabilidade é o que faz um biocombustível atraente e promissor como sucedâneo de qualquer combustível fóssil. Boa parte do biodiesel consumido no mundo e, praticamente, todo o bioquerosene passa por esse crivo de forma cada vez mais rigorosa (MENDES, 2015).

Dentro desse contexto, o presente artigo apresenta uma proposta de um modelo de simulação computacional, para a avaliação de cenários de aproveitamento do óleo de cozinha na geração de biodiesel necessário para suprir parcialmente o diesel utilizado nos tratores de projetos de pesquisa de um departamento de fitotecnia Instituição de Ensino Superior Pública.

## 2. ÓLEOS VEGETAIS

Gorduras retiradas de plantas, raízes, galhos e folhas são utilizados para a obtenção do óleo vegetal e, normalmente, as sementes são a fonte base para a formação dos óleos vegetais. Esta gordura é retirada apenas de plantas oleaginosas, formada normalmente por 95% de triacilgliceróis. O Brasil apresenta farta quantidade de plantas oleaginosas, tornando-o, assim, um grande produtor de óleo vegetal (MENDES, 2015).

Dentre as diversas aplicações do óleo vegetal, destacar-se sua utilização como combustível. O óleo vegetal é considerado uma alternativa ambientalmente correta, pois sua queima não libera gases poluentes e também por ser uma fonte totalmente renovável.

## 2.1 Os Destinos do Óleo de Cozinha Usado

O óleo de fritura normalmente é despejado na rede de esgoto dos municípios, segundo Reis *et al* (2007), provocando impactos ambientais como a poluição das redes pluviais e sanitárias. Quando misturado com a matéria orgânica, ocorre entupimento de caixas de gorduras e tubulações, sendo que, em alguns casos, as tubulações necessitam de produtos químicos tóxicos para resolver este problema. Caso o esgoto contaminado pela mistura com o óleo penetre no solo, os lençóis freáticos serão contaminados, resultando em grandes quantidades de água imprópria para uso.

Junior *et al* (2009) afirmam que, em grandes municípios do Brasil, há ligações das redes de esgoto locais às redes pluviais e arroios. Nesses corpos hídricos, em função de imiscibilidade do óleo com a água e sua inferior densidade. A baixa concentração de oxigênio pode acarretar na geração de gás metano, contribuindo, assim, para o aquecimento global. Veremos nas seções a seguir mais detalhes sobre o óleo de cozinha.

### 2.1.1 Impacto ambiental e econômico

O óleo de cozinha, gerado nas residências, no comércio e nas indústrias, pode trazer inúmeros prejuízos para o ambiente se não descartado da maneira correta. De acordo com o Programa de Gestão Ambiental (PGA), a quantidade de um litro de óleo que vai para o corpo hídrico é capaz de contaminar cerca de 18.400 (dezoito mil e quatrocentos) litros de água, equivalente ao consumo de uma pessoa em 14 anos, além de aumentar em 45% os custos no tratamento das redes de esgoto (LIMA *et al.*, 2014). A partir disso, criar alternativas que possam promover a reciclagem deste produto e estabelecer uma cadeia sustentável para sua utilização é merecedor de esforços tanto do âmbito acadêmico quanto empresarial.

Muitas pessoas, agindo por falta de orientação ou má fé, descartam o óleo de cozinha diretamente na pia, o que também pode prejudicar o meio ambiente. De acordo com Lopes e Baldin (2009), se o produto for para as redes de esgoto, o tratamento dos resíduos é encarecido em até 45%, e o que permanece nos rios provoca a impermeabilização dos leitos e terrenos, o que contribui para que ocorram as enchentes. Além disso, a decomposição anaeróbia do óleo, assim como de todo material orgânico, emite metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água na atmosfera, gerando gases de efeito estufa que contribuem para o superaquecimento terrestre (RIBEIRO; MAIA; WARTHA, 2010).

A comunidade científica internacional afirma haver uma relação direta entre o aumento da concentração de gases causadores do efeito estufa e o aumento médio da temperatura da Terra. A predominância dos combustíveis de origem fóssil na matriz de transportes brasileira é ainda significativa, apesar de o Brasil ser uma referência mundial na implementação de programas de biocombustíveis (MENDES, 2015).

A transformação do óleo pós-fritura em biodiesel e a sua integração à matriz energética brasileira contribuem não só para dotar o país de uma nova tecnologia no setor energético, ajudando a reduzir as importações de óleo diesel, como também pode proporcionar o

desenvolvimento de pequenas comunidades no interior, que passarão a contar com uma maior renda familiar resultante do cultivo de oleaginosas capazes de produzir o biodiesel (BNDES, 2004). O petróleo e seus derivados são base na economia moderna, porém têm como cenário a possível finitude de suas reservas, e também possuem uma concentração significativa da produção mundial em áreas de conflito. Essa fonte de energia vem apresentando aumentos substanciais de preços nos últimos anos, em função principalmente desses fatores, somados ao aumento progressivo da demanda energética pela sociedade contemporânea (BNDES, 2004).

### 2.1.2 Alternativas para destinação do óleo de cozinha

Diante de tais dados, pode-se verificar que o descarte inapropriado deste óleo é um problema bastante sério. Assim, é imprescindível alguma forma de reutilização do óleo vegetal, para que possa novamente ser inserido na cadeia produtiva e minimizar o impacto ambiental gerado, podendo ainda agregar valor econômico. Dentre essas utilizações, as mais comuns são transformação em biodiesel ou sabão. Em comparação com o diesel derivado de petróleo, o uso do biodiesel resulta em uma redução do monóxido de carbono e de hidrocarbonetos não queimados, que são liberados pelos motores à combustão. Portanto, a produção desse combustível, em escala comercial, poderá permitir que gradativamente se possa substituir o óleo diesel de origem fóssil, obtendo uma melhoria na qualidade de vida nos grandes centros urbanos, diminuindo a poluição (BNDES, 2004)

O processo de logística reversa, segundo Bizari *et al* (2011), para a obtenção deste óleo usado é um tanto complexa. Algumas iniciativas pontuais são originárias de empresas que oferecem incentivos financeiros para restaurantes e condomínios fornecerem o óleo de cozinha usado, em recipientes, para posterior reciclagem. Após recolhido, para que possa sofrer qualquer processo de transformação, ainda é necessário que seja feita a remoção de resíduos sólidos, geralmente restos de alimentos, bem como remoção da umidade presente no óleo. O primeiro faz-se através da filtragem, já o segundo é realizado pelo processo de decantação, já que o óleo e a água são misturas heterogêneas e, portanto, facilmente separáveis. Apenas após essa separação é possível utilizar o óleo em algum processo de reciclagem.

Nos últimos anos, diversas iniciativas têm surgido para reaproveitar o óleo pós-fritura, desenvolvidas tanto por órgãos públicos quanto privados. Cita-se, como exemplo, o McDonald's, que transforma o óleo de cozinha em biodiesel, utilizando-o em caminhões de entrega às lojas da empresa (CAETANO, 2010). Há, ainda, outros casos de reaproveitamento de óleo de cozinha, por meio de iniciativas do poder público em parceria com ONGs e outras entidades. Nos municípios de Ribeirão Preto, Salvador, Florianópolis, Rio de Janeiro, Porto Alegre e Curitiba, esse produto é recolhido para ser transformado em resina de tintas, sabão, ração animal, além de biodiesel (ZUCATTO; WELLE; SILVA, 2013).

### 2.1.3 Processo da Coleta de Óleo

Segundo Cunha e Caixeta Filho (2002), as fases do processo de coleta de resíduos podem ser descritas da seguinte forma:

- (1) **Geração:** é bastante variável e depende de uma série de fatores, como renda, época do ano, modo de vida, movimento da população nos períodos de férias e fins de semana;
- (2) **Acondicionamento:** é a primeira etapa do processo de remoção de resíduos. Podem ser usados diversos tipos de vasilhames, como tambores, sacos plásticos, sacos de papel, contêineres comuns, contêineres basculantes, entre outros;
- (3) **Coleta:** engloba desde a partida do veículo de sua garagem, compreendendo todo o percurso realizado na viagem para a remoção dos resíduos, dos locais onde foram acondicionados aos locais de descarga, até o retorno ao ponto de partida;

- (4) **Transporte:** é o movimento do resíduo até o seu destino final (aterros, lixões, usinas de reciclagem, etc);
- (5) **Disposição final:** para a disposição final dos resíduos sólidos, os aspectos econômicos muitas vezes sobrepõem-se às questões ambientais. Porém, atualmente, algumas técnicas de disposição, como depósitos a céu aberto (lixões) ou lançamento de resíduos em rios e mares, tornaram-se intoleráveis do ponto de vista ambiental e econômico.

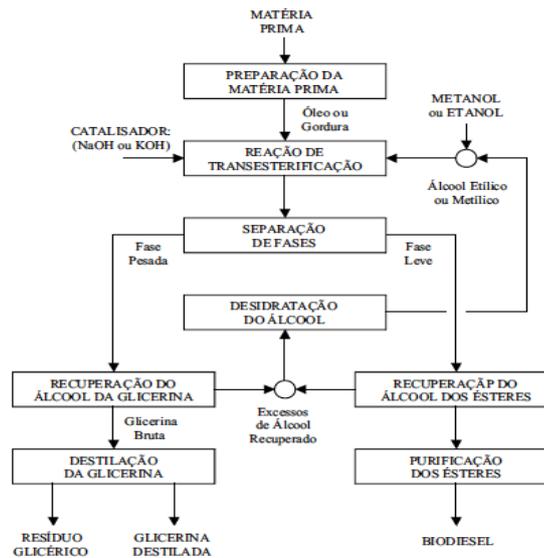
## 2.2 Biodiesel

Tavares e Da Silva (2008) definem o biodiesel como um combustível natural usado em motores a diesel, obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. As matérias-primas vegetais são derivadas de óleos vegetais, tais como soja, mamona, palma (dendê), girassol, pinhão manso, amendoim, entre outros (BIODIESELBR, 2016). Para uma definição mais estendida sobre este combustível natural, classificamos o mesmo como um combustível renovável derivado de óleos vegetais ou gordura animal, utilizado em motores a diesel produzido através da remoção da glicerina, que ocorre através de processos químicos.

O combustível secular (biodiesel) é uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo, emitindo menos gases poluidores. Ele está sendo testado em países como a Argentina, Estados Unidos, Malásia, Alemanha, França, entre outros (TAVARES E DA SILVA, 2008). O biodiesel é definido, segundo a lei nº 11.097 de 13 de setembro de 2005, como um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores à combustão interna com ignição por compressão ou para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente o combustível fóssil. É obtido através de processos, tais como o craqueamento, esterificação, ou pela transesterificação, sendo esse último o processo mais utilizado para a sua produção. Possui viscosidade e características de combustão semelhante às do diesel de petróleo. Essas características são adquiridas através da reação química entre triglicerídeos ou ácidos graxos e um álcool de pequena cadeia carbônica (geralmente, metanol ou etanol). A Figura 1 apresenta o fluxograma da produção do biodiesel.

O biodiesel compõe, junto com o etanol, importante oferta para o segmento de combustíveis. Ambos são denominados de biocombustíveis por derivarem de biomassa e por serem menos poluentes e renováveis. É denominado biodiesel, o biodiesel puro que também é chamado B100. Misturas de biodiesel com diesel mineral são denominadas por “BXX”, onde “XX” refere-se à quantidade de biodiesel na mistura; por exemplo, B10 é uma mistura de 10% de biodiesel em 90% de diesel mineral.

**Figura 1.** Fluxograma do processo de produção de biodiesel



Fonte: Parente(2003).

Segundo Mendes (2015), o conceito de biodiesel adotado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), é de um combustível natural, usados em motores diesel, produzido através de fontes renováveis e que atende a especificações da Resolução ANP nº 14, de 11 de maio de 2011. A ANP define o biodiesel como combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico ANP nº 4 de 2012, anexo da resolução ANP nº 14/2012 (BRASIL, 2008).

### 2.2.1 Vantagens da utilização do Biodiesel

Estudos realizados pelos pesquisadores *Rosiane Correia de Freitas, Cátia Franco e Univaldo Vedana*, publicados na Revista Biodiesel no ano de 2008, comprovam que por ser uma fonte limpa e renovável, a energia do biodiesel irá gerar emprego e renda para o campo. Este fato ocorre devido ao grande território tropical do planeta, possuindo solos de boa qualidade, podendo assim ter boa agricultura. Segundo a pesquisadora Rosiane de Freitas, em uma publicação exposta no site BiodieselBR no ano de 2008, o ciclo da economia auto sustentável favorece principalmente os solos menos produtivos. Normalmente, nestes solos existe enorme variedade de oleaginosas que servem como matéria prima para a produção do biodiesel.

Os motores a diesel que utilizam alguma mistura de biodiesel possuem uma vida útil aumentada. Nestes casos, o biodiesel funciona como lubrificante para o motor e o risco de explosão é muito baixa, devido ao fato de o biodiesel precisar de uma fonte de calor acima de 150 °C para que ocorra um risco de explosão. Este fato facilita o transporte e armazenamento do produto (TAVARES; DA SILVA, 2008).

O efeito estufa se agrava a cada ano. Gases gerados a partir da utilização de combustíveis oriundos do petróleo agravam cada vez mais o ambiente do planeta Terra. Tavares e da Silva (2008) afirmam que o biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono, no qual o CO<sub>2</sub> é absorvido quando a planta cresce e é liberado quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. O uso do biocombustível proporciona ganho ambiental para todo o planeta, colaborando com a diminuição da poluição e conseqüentemente minimizando o efeito estufa.

### 2.2.2 Visão Ambiental e Social

Estudos realizados pelo laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas – LADETEL, da USP, mostram que a substituição do óleo diesel mineral pelo biodiesel resulta em reduções de emissões de 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio (HOLANDA, 2004).

A adoção do uso de biodiesel vem sendo reforçado pelos seus benefícios sociais. Holanda (2004) afirma que a cada 1% de substituição de óleo diesel por biodiesel produzido com a participação da agricultura familiar podem ser gerados cerca de 45 mil empregos no campo. O biodiesel pode ser uma alternativa para diminuir o desemprego mundial, além de melhorar as condições de vida da população. Esta alternativa poderia ser aplicada, por exemplo, para empregar populações de baixo nível de renda na região nordeste do Brasil.

Em 2010, havia cerca de 103 mil famílias inseridas na cadeia produtiva do biodiesel no Brasil, valor abaixo da meta esperada em 2007, com o fornecimento de 20% de toda a matéria prima destinada à produção de biodiesel (FGV Projetos, 2010)

### 2.2.3 Ciclo de Vida do Biodiesel

A sustentabilidade não está relacionada somente ao meio ambiente: ela também analisa as questões econômicas e sociais. Assim, para verificar se o biodiesel é mais sustentável que o óleo diesel, deve-se medir não só os impactos que cada combustível gera ao meio ambiente, mas também verificar os custos de fabricação de cada um, e os ganhos sociais que estes combustíveis podem oferecer à sociedade mundial. Então, para auxiliar na medição do nível de sustentabilidade de cada um destes combustíveis, utilizou-se o método de Análise do Ciclo de Vida, também conhecido como ACV.

A Análise do Ciclo de Vida é uma forma de medir todos os impactos que um determinado produto gera ao meio ambiente desde a retirada dos recursos que serão utilizados (berço), passando pelas etapas de produção, distribuição e uso até a destinação final deste produto (túmulo). Desta maneira, ao medir todas as etapas da vida do diesel e do biodiesel, pode-se realmente comparar a sustentabilidade dos dois combustíveis. Análise de Ciclo de Vida é definida, pela ABNT, como uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto com seguinte procedimento. Ela é uma ferramenta muito importante para a avaliação ambiental das cadeias de produção. Sua utilização vem em uma crescente, sendo, ultimamente, utilizada para auxiliar pesquisas que estudam o impacto ambiental e econômico no emprego de biocombustíveis (ALTAMARIANO, 2013).

Através de uma comissão, a União Européia definiu algumas metas para a diminuição de emissão de gases que afetam o efeito estufa: desde 2013, os biocombustíveis devem emitir 35% menos gases do que sua contraparte fóssil; no ano de 2017, o limite sobe para 50%. Dentro deste contexto, estudos sobre Análise do Ciclo de Vida do biodiesel começaram a ganhar destaque, fazendo com que pesquisas sejam criadas para tentar obter o máximo de energia limpa (BIODIESELBR, 2015).

A ACV tem como proposta identificar e analisar etapas como produção, distribuição, consumo e descarte. No caso do biodiesel, avalia-se desde a produção da semente até o momento onde o biodiesel é utilizado nos veículos. Estas etapas podem identificar oportunidades de melhorias, tanto em aspectos ambientais quando em aspectos econômicos (auxilia em planos de marketing com o objetivo de expandir o mercado do biodiesel).

## 2.2.4 A Utilização de Biodiesel em Motores

Em misturas de óleo diesel e biodiesel em proporção de até 10%, ocorreu uma redução no consumo de combustível, e para proporções maiores que essa ocorreu um aumento no consumo, chegando a 4,77% quando utilizado o biodiesel puro. Esse aumento no consumo é justificado pela diferença no poder calorífico do biodiesel, que em geral se apresenta menor que o poder calorífico do óleo diesel.

Agarwal e Das (2001) verificaram que o uso do combustível B20, testado em um motor a diesel, teve o melhor desempenho entre todas as misturas analisadas, com um benefício de 2,5% na eficiência térmica máxima e uma redução significativa nos teores de fumaça. Dorado *et al* (2002) concluíram que o motor a diesel, analisado sem nenhuma modificação, funcionou de maneira satisfatória com misturas de 10% de biodiesel de óleo de fritura e 90% de óleo diesel. Ferrari *et al.* (2005) realizaram testes utilizando 5% de biodiesel e 95% de diesel convencional (B5) durante um ano, tendo percorrido 19.240 km em condições normais de trabalho, e observaram que o veículo apresentou desempenho normal com redução da emissão de fumaça. Além disso, durante o período de realização dos testes, não foram necessários reparos no motor, o que induziu os pesquisadores a concluir que os óleos vegetais transesterificados se adaptam perfeitamente ao motor. Freitas (2008) descreve uma experiência realizada entre os anos de 2003 e 2006 no sistema de coleta do lixo hospitalar do Rio de Janeiro; neste caso, nove caminhões de lixo da marca Ford, com motores *Cummins* e sistema de injeção *Bosch*, foram divididos da seguinte maneira: cinco destes rodavam com diesel comum, outros dois com B5 de soja e os restantes com B5 de óleo de fritura, ambos passando pelos mesmos problemas e desafios para garantir precisão dos dados. Ao fim da observação, os pesquisadores chegaram a conclusões bastante favoráveis ao óleo de cozinha, descrevendo que o B5 do óleo de cozinha obteve redução de fuligem quatro vezes maior do que o esperado.

## 2.2.5 Emissões de Óxidos de Nitrogênio e Efeitos na Saúde Humana

Mais de 95% das emissões de NO<sub>2</sub> (Dióxido de Nitrogênio) estão sob a forma de óxido nítrico (NO), um gás introduzido no meio ambiente principalmente pelos gases de escapamento dos veículos. É formado, sobretudo, em consequência da alta temperatura na câmara de combustão dos motores e não representa perigos à saúde, mas, reagindo com o oxigênio (O<sub>2</sub>), forma dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). O NO<sub>2</sub> é um gás tóxico, de modo que a pessoa atingida sente imediatamente ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas. Diante da expressiva redução da emissão de diversos gases causadores do efeito estufa, como o gás carbônico, o biodiesel já é um dos principais combustíveis de fontes renováveis, utilizados por países no mundo todo. Ele fixa na fase de produção ao redor de 80% do dióxido de carbono emitido na combustão (NOGUEIRA; DARBELLO, 2009). O ganho decorrente da redução da emissão de CO<sub>2</sub>, por queimar um combustível mais limpo, pode ser estimado em cerca de duas toneladas e meia de CO<sub>2</sub> por tonelada de biodiesel. No mercado europeu, os créditos de carbono são negociados por volta de US\$ 9,25 por tonelada segundo Nogueira e Darbello (2009).

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste projeto, o método de pesquisa para o desenvolvimento do modelo computacional foi baseado na metodologia apresentada por Law (2015) para modelagem e simulação de sistemas, a qual é constituída pelos seguintes passos: (1) estudos exploratórios em artigos científicos, relatórios técnicos, entrevistas com *stakeholders* e observações do ambiente

onde os dados foram coletados. Através desses dados, o problema de pesquisa foi especificado e estruturado; (2) desenvolvimento da solução, pela construção de modelos formais capazes de representar o problema (definição das variáveis e seus relacionamentos); (3) implementação computacional da solução, utilizando o simulador *Vensim* (VENTANA SYSTEMS, 2016) da área de Dinâmica de Sistemas; (4) verificação e validação (v&v) da solução, através de testes em laboratório e análise do comportamento histórico (com os dados que foram possíveis), para verificar se os resultados obtidos representam parte da realidade observada, bem como através da simulação de um experimento utilizando três cenários para tal. Também foram entrevistados gestores das áreas envolvidas para garantir uma maior fidedignidade ao estudo.

---

### 3.1 O Modelo de Simulação e suas Variáveis

Tendo por embasamento a importância dos processos citados para a preservação do meio ambiente e os ganhos ambientais ocasionados por eles, nesse trabalho busca-se o desenvolvimento de um modelo de simulação, o qual permitirá aos gestores ambientais avaliarem políticas de reciclagem/reaproveitamento do óleo de cozinha como matéria-prima para o biodiesel. Serão avaliados os ganhos ambientais gerados, visando ao desenvolvimento sustentável, bem como os benefícios econômicos do processo. No modelo, os ganhos ambientais avaliados foram a redução da poluição da água e a diminuição da emissão de CO<sub>2</sub>. Com relação aos ganhos financeiros, tem-se a redução de gastos com a compra de diesel para os tratores utilizados em um projeto de pesquisa do departamento de fitotecnia de uma IES. As decisões, a partir das análises geradas pelo modelo, poderão envolver a busca pela reciclagem total do óleo de cozinha, redução do uso de óleo diesel, incentivos ao aumento do “consumo verde” (MANSVELT, 2010), bem como outras análises e observações de interesse dos gestores ambientais e/ou acadêmicos, desde que as mesmas sejam exequíveis no modelo de simulação. O modelo foi desenvolvido buscando simplificar a interação usuário-computador, para que análises do tipo “o que se?” (*what-if?*), comuns em modelos de simulação, sejam de rápida e de simples execução.

Para a definição das variáveis do modelo de simulação foram utilizados trabalhos acadêmicos e governamentais da área de resíduos: BNDES (2004), CONAMA (2011), Oliveira *et al* (2014) e Zucatto *et al* (2013). As variáveis selecionadas, bem como suas inter-relações com outras variáveis, as quais influenciam os valores totais do reaproveitamento do óleo de cozinha na produção de biodiesel e utilização como combustível são definidas a seguir:

- A variável **ÓleoEstocado**, obtida a partir da variável **ÓleoColetado**, é a variável com a função de armazenar a variação da coleta de óleo anual. Ela será representada na equação (1) do modelo de equações do quadro 1;
- A variável **ReducaoPoluicaoAgua** é obtida através do produto da quantidade de óleo residual pelo potencial poluidor de cada litro despejado inadequadamente, ou seja, 18.400 litros de água por litro de óleo. A variável é descrita na equação (2) do modelo de equações apresentado no quadro 1;
- A variável **DieseUtilizado** é responsável pelo cálculo do gasto total de diesel no projeto. Os tratores responsáveis possuem um rendimento do motor de 3,03 quilômetros por litro de diesel. A equação (3) do modelo de equações representa a variável descrita;
- A variável **BiodieselGerado** é obtida através do produto da variável **ÓleoEstocado** pela variável **TxOleo**, a qual representa o quanto se aproveita do óleo residual na reciclagem do mesmo. As variáveis descritas são representadas na equação (4) do modelo de equações;

- A variável **GeraçãoGlicerina** representa o total de glicerina gerado pela produção do biodiesel a partir do óleo de cozinha reciclado. A taxa de geração é 10% do total de biodiesel produzido. Cabe ressaltar que essa variável não foi objeto principal deste estudo, mas a partir da glicerina podem ser produzidos outros produtos. Tal fato demonstra a importância do reaproveitamento do óleo, não só pelos ganhos ambientais, mas também pelos financeiros. A variável é descrita na equação (5) do modelo de equações apresentado no quadro 1;
- A variável **GeracaoCO2** consiste na subtração da quantidade de emissão de CO2 por litro de diesel comum (2.66kg/CO2) pela emissão de CO2 gerada pelo biodiesel. A variável é descrita na equação (6) do modelo de equações apresentado no quadro 1;
- A variável **Economia** representa os ganhos financeiros do reaproveitamento do óleo de cozinha e é obtida utilizando-se as variáveis **ConsumoMédioBiodiesel** (que representa o custo estimado por litro de biodiesel produzido), **BiodieselGerado**, **CustoDiesel**, **DieselUtilizado** e **CustoBiodiesel**. A variável é descrita na equação (7) do modelo de equações apresentado no quadro 1.

$$(1) \text{ÓleoEstocado} = \text{ÓleoColetado}$$

$$(2) \text{Red.Poluição.Água} = 18.400 * \text{ÓleoEstocado}$$

$$(3) \text{DieselUtilizado} = \text{DieselAnual}$$

$$(4) \text{BiodieselGerado} = \text{ÓleoEstocado} * \text{TxÓleo}$$

$$(5) \text{GeraçãoGlicerina} = 0.1 * \text{BiodieselGerado}$$

$$(6) \text{GeraçãoCO2} = (2.669 * \text{DieselUtilizado}) - (2.669 * 0.89) * \text{BiodieselGerado}$$

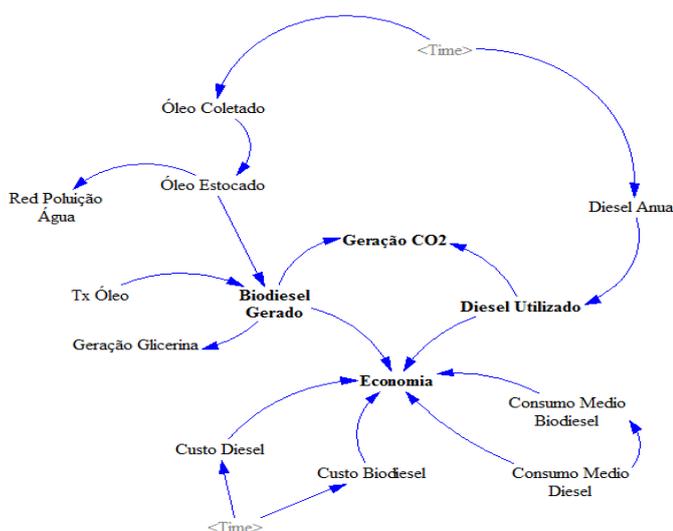
$$(7) \text{Economia} = ((\text{ConsumoMédioBiodiesel} * \text{BiodieselGerado}) + (\text{CustoDiesel} * \text{DieselUtilizado}) / \text{ConsumoDiesel}) - \text{CustoBiodiesel}$$

**Quadro 1.** Equações do modelo de simulação.

Fonte: Autores (2016)

O modelo é constituído de variáveis com funções de estoque e auxiliar, a variável “**óleoestocado**” tem a função de armazenar os valores referentes a quantidade (em litros) de óleo pós-uso coletado, através desta variável foi incluído valores reais da coleta realizada por uma empresa privada de Santa Maria. Já a variável “**dieselutilizado**” tem o objetivo de armazenar a quantidade gasta em diesel no processo total dos tratores da IES estudada, os dados inseridos no sistema fará com que aproxime-se mais da realidade atual. As variáveis auxiliares “**óleocoletado**”, “**dieselanual**”, “**custodiesel**” e “**custobiodieseldiesel**” são conectadas pela variável “**time**”. Esta variável possui a função de simular os dados inseridos no modelo conforme o tempo estipulado pelo usuário, anexando assim as variações anuais de cada componente. Estas variáveis auxiliares possuem a importância de variar os seus valores conforme o tempo proposto pela pesquisa, no caso 4 anos. O modelo está apresentado na figura 2.

**Figura 2.** Modelo de Simulação Proposto



Fonte: Autores (2016)

\*Imagem gerada do Software Vensim.

### 3.2 CENÁRIOS MODELADOS

Para a execução da modelagem da pesquisa, foram gerados 3 (três) cenários. O Cenário(A) representa o gasto atual dos tratores do departamento de Fitotecnia da IES estudada, onde na época o combustível utilizado possui 5 % de biodiesel misturado ao diesel. Os outros dois cenários representam uma proposta de cenários mais sustentáveis. A tabela 1 representa os dados utilizados na modelagem computacional. Nela, estão expostas a quantidade de biodiesel utilizado em cada cenário, o consumo e custo dos componentes do modelo desenvolvido.

	Cenário(A)	Cenário(B)	Cenário(C)
<b>Diesel (%)</b>	95	92	88
<b>Biodiesel (%)</b>	5	8	12
<b>Óleo Utilizado(litros)</b>	3.750	6.000	9.000
<b>Diesel Utilizado(litros)</b>	57.500	55.200	52.800
<b>Biodiesel Utilizado(Litros)</b>	3.000	4.800	7.200
<b>Custo Atual Diesel (R\$)</b>	2.99	2.99	2.99
<b>Varição do custo Diesel(%)</b>	0.6 A.A	0.6 A.A	0.6 A.A
<b>Custo Atual Biodiesel (R\$)</b>	2.18	2.18	2.18
<b>Varição do custo Biodiesel(%)</b>	0.16 A.A	0.16 A.A	0.16 A.A
<b>Consumo do Óleo Diesel (Km/ litro)</b>	3.03	3.03	3.03

**Tabela 1.** Dados utilizados na Modelagem Computacional.

Fonte: Autores (2016)

### 4. ANALISE DOS RESULTADOS

Andrade *et al* (2006, pag. 100) classifica a modelagem computacional como uma ferramenta do Pensamento Sistêmico que adiciona aprendizado ao processo decisório. São através de modelos que se constroem micromundos do sistema real, simulando as passagens de tempo, permitindo um maior aprendizado experiencial. Modelo é a representação abstrata e simplificada de um sistema real, com o qual se pode explicar ou testar o seu comportamento, em seu todo ou em partes. Os modelos são utilizados para a representação dos sistemas a serem analisados, representando da melhor forma possível o sistema real. A escolha apropriada do modelo é fundamental para a qualidade da solução fornecida. Através de métodos matemáticos pode-se chegar à solução desejada, de forma clara e aproximando-se muito da realidade. Deve-se obter grande atenção na formulação matemática, uma vez que

relações matemáticas muito complexas podem obrigar o pesquisador a utilizar combinações de diferentes metodologias, tornando, assim, o trabalho mais longo e complicado.

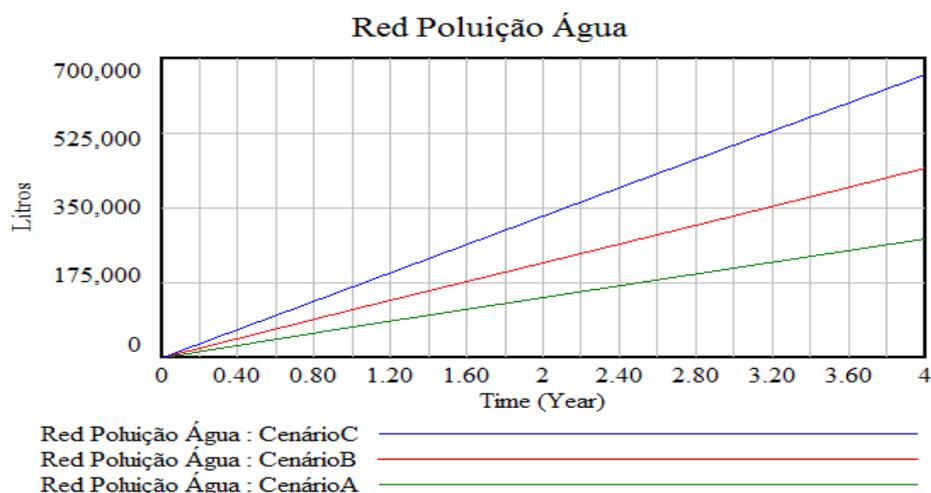
#### 4.1 Resultados da Modelagem Computacional

Após a definição dos três cenários para a experimentação do modelo foram executadas as simulações no simulador Vensim (VENSIM, 2016) em um computador com processador Pentium Core i5 e 8 Gb de memória RAM. O tempo de execução da simulação foi na ordem de milionésimos de segundos. O horizonte de tempo simulado no experimento foi de 4 (dez) anos, porém a configuração dessa variável fica a cargo do projetista/usuário, pois a mesma depende da análise a ser feita.

A variável analisada inicialmente tem por objetivo principal armazenar a quantidade total de redução da poluição da água, os três cenários foram comparados e apresenta-se na figura 4 o potencial redutor de cada um. O cenário C representado com a linha azul na imagem, apresenta uma redução de economia de aproximadamente 412 mil litros de água ao ano, chegando a alcançar 1.650.000,00 litros no ano 4. Quando comparado ao pior cenário, no caso, o Cenário A, proporciona uma diferença de aproximadamente 240 mil litros de água ao ano, lembrando que o Cenário representa o estado atual. O pior cenário no ano 4 irá reduzir a poluição da água em cerca de 172 mil litros de água ao ano, já que o combustível atual apresenta 5 % de biodiesel misturado ao diesel.

O cenário intermediário será capaz de reduzir a poluição da água em aproximadamente 138 mil litros de água a menos que o cenário mais otimista (Cenário C), ele está representado pela cor vermelha na figura abaixo, pode-se perceber seu crescimento constante nos 3 anos simulados.

**Figura 3.** Redução da Poluição da Água

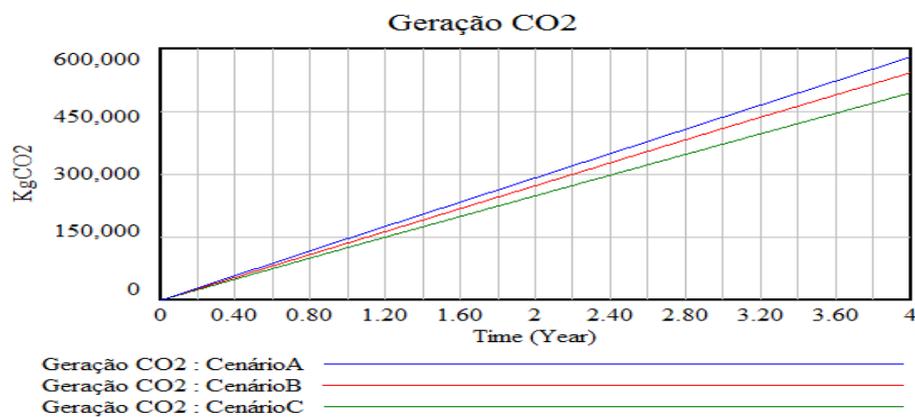


Fonte: Autores (2016)

\*Imagem gerada do Software Vensim.

O simulador Vensim apresentou o gráfico representado na figura x, onde analisou-se o potencial poluidor de cada cenário estudado. Nota-se o “Cenário A” com o maior potencial poluidor, gerando ao ano cerca de 362 mil kg de CO2 ao ano, sua vértice é crescente, alcançando no ano 4 a geração de aproximadamente 1,5 milhões de kg de CO2. O cenário otimista para o meio ambiente é o “Cenário C”, o mesmo apresenta uma redução de aproximadamente 240 mil kg de CO2 quando comparado ao pior cenário (“Cenário A”). A figura 4 demonstra a geração de CO2 pelos 3 cenários propostos, nota-se que o crescimento é constante, mas verifica-se que quanto maior é a porcentagem de biodiesel misturado ao diesel S10, o potencial de geração de CO2 diminui proporcionalmente.

**Figura 4.** Geração de CO2

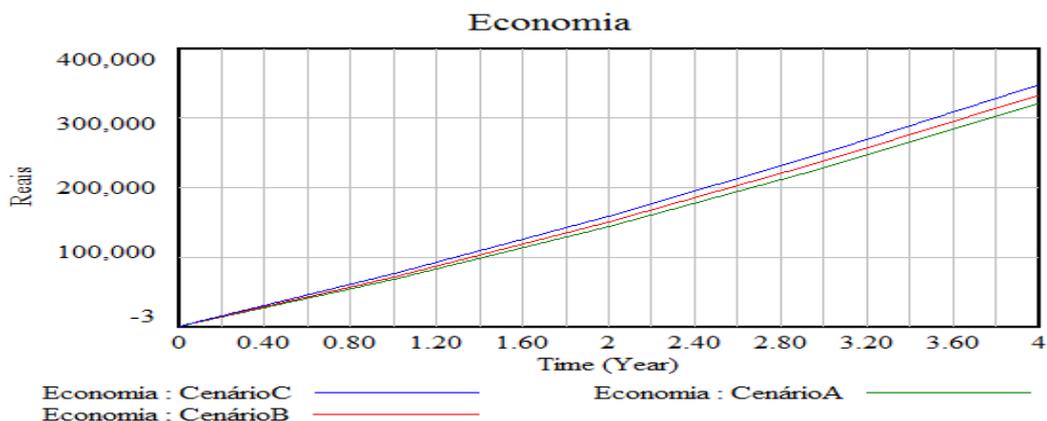


Fonte: Autores (2016)

\*Imagem gerada do Software Vensim.

Com a crise econômica presente no Brasil, a economia é muito debatida, por este motivo os autores simularam o gasto total com cada cenário. É possível verificar na figura 5 o crescimento exponencial dos testes realizados. Nota-se que o gasto com os Cenários B e C foi menor quando comparado ao Cenário A (Gasto Atual). O cenário mais positivo gerou uma economia de cerca de R\$ 17.000 ao ano, aproximadamente 10 mil reais a mais que a economia apresentada pelo Cenário B, já que o mesmo economiza cerca de R\$ 7.000 ao ano. Lembrando que os cenários utilizam os combustíveis B12 e B8 (Cenário c e Cenário B) respectivamente.

**Figura 5.** Economia do Processo



Fonte: Autores (2016)

\*Imagem gerada do Software Vensim.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve o objetivo de desenvolver, verificar e validar um modelo de simulação, além de realizar experimentos de simulação computacional para avaliar cenários de reaproveitamento do óleo de cozinha Pós-Descarte. A hipótese apresentada no método de pesquisa foi confirmada, já que houve uma significativa diminuição do impacto ambiental e, expressiva economia gerada por ambos cenários de 4 anos. A tabela 2 apresenta os resultados da simulação executada.

O desenvolvimento do modelo computacional utilizou de variáveis como a “Economia”, onde foi analisado o cenário atual com os dois cenários propostos pelos autores, demonstra-se que o cenário mais positivo poderá render cerca de R\$ 69.000 de economia para a IES estudada. Outra variável analisada é a “GeraçãoCO2” onde o cenário menos impactante ao meio ambiente será capaz de gerar 211.000 kg menos que o cenário atual, que apesar de possuir um combustível menos poluidor, ainda apresenta grande potencial denegridor ao meio ambiente. O óleo mal descartado é um grande causador de enchentes e poluição de leitos e afluentes, este artigo demonstrou que utilizando 12% de biodiesel, pode-se reduzir a poluição da água em até 966 mil litros de água quando comparado ao cenário atual (tratores apresentam 5% de biodiesel). As taxas para ambos os cenários foram criadas pelos projetistas do modelo para realização deste estudo. Cabe ressaltar que os cenários foram gerados para esse experimento, porém o modelo pode ser configurado conforme as necessidades de quem for utilizá-lo, ou seja, é um modelo reconfigurável e aberto. A partir dos resultados gerados pela simulação, os gestores institucionais poderão definir as políticas de utilização de biocombustíveis em suas frotas, levando em consideração a sustentabilidade financeira e ambiental no processo decisório.

	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Redução da Poluição da Água (Litros)	690.000	1.104.000	1.656.000
Geração de CO2 (KgCO2)	1.450.068	1.359.268	1.238.202
Economia (Reais)	0	29.987,6	69.737,5

**Tabela 2.** Resultados Finais.

Fonte: Autores (2016)

## 6. REFERÊNCIAS

AGARWAL, A. K.; DAS, L. M. “Biodiesel development and characterization for use as fuel in compression ignition engines”. *J. Eng. GasTurb. Power-T. ASME*, v.123, p.440-447, 2001.

ANDRADE, A.L; SELEME, A. ; RODRIGUES, L.H. ; SOUTO, R. **Pensamento**

**Sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.**

BECHET, Q.; SHILTON, A.; FRINGER, O. B.; MUNOZ, R.; GUIEYSSE, B. Mechanistic Modeling of Broth Temperature in Outdoor Photobioreactors. *Environmental science & technology*, v.44, n.6, p.2197-2203, 2010.

BIODIESEL. Reciclagem de óleo de cozinha. Disponível em: <[www.biodieselbr.com](http://www.biodieselbr.com)>.

Acessado em março de 2016. BRASIL. Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

BIODIESELBR, O quê é o Biodiesel? Disponível em:

<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel.htm>, acessado em maio de 2016.

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento. Nova diretoria do BNDES lança programa do biodiesel, 2004. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acessado em Dez. 2015.

CAETANO, M. **McDonald's lança projeto de biodiesel a partir do óleo de cozinha.** 2010.

Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1711075-1934,00.html>. Acesso em: 20 nov. 2015.

CHRISTOFF, P. Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial. estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Paraná, 2006

DEMIRBAS, M.F. *Biorefineries for biofuel upgrading a critical review*. *Applied energy*, v.86, n5151-5161, 2009

DORADO, M. P.; ARNAL, J. M.; GOMEZ, J.; GIL, A.; LOPEZ, F. J. The effect of waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance. *Trans. ASAE*, v.45, p.525-529, 2002

FERRARI, R.A; OLIVEIRA, V.S; SCABIO, A, biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físicoquímica e consumo em gerador de energia, *Quim. Nova*, Vol. 28, No. 1, 19-23, 2005

JUNIOR, O. S. R. P. ; NETO M. S. N. ; J. B.; SACOMANO, J. L. LIMA, A. Reciclagem do Óleo de Cozinha Usado: uma Contribuição para Aumentar a Produtividade do Processo, *Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change*; São Paulo – Brasil – May 20th-22nd - 2009

Law (2015)

LAW, A.M. *Simulation Modeling and Analysis*. 5Ed., McGraw-Hill, 2015.

LIMA, R. A. Aplicação do Projeto Didático-Pedagógico “Sabão Ecológico” em uma Escola Pública de Porto Velho – RO. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 18, n. 3, p.1268-1272, 2014.

- LOPES, R. C.; BALDIN, N. Educação ambiental para a reutilização do óleo de cozinha na produção de sabão – Projeto “Ecolimpo”. In: **IX Congresso Nacional de Educação**: Paraná, 2009.
- MANSVELT, P.R.J. Green consumerism: An A-to-Z guide, SAGE Publications, Inc., 2010.
- MENDES, P.A.S. Sustentabilidade na produção e uso do biodiesel. Curitiba. Anris. 2015.
- MUÑHOZ, M. M; MOREA.F.M.J. Emissions of an automobile diesel engine fueled with sunflower methyl ester. **Transaction of the ASAE**. v.47, n.1, p. 5-11, 2004.
- NOGUEIRA, J. E. T. ; DARBELLO, M. A. “Biodiesel”, *In 17º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*. Empresa Municipal de Desenvolvimento de Campinas, 2009.
- OLIVEIRA, G.S.; FILHO, R. D. O. Análise do consumo de combustível de ônibus urbano, Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET), 2014.
- REIS, M.P.F.P.; ELLWANGER, R.M.; Fleck, E. Destinação de óleos de frituras. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2007.
- RIBEIRO, E. M. F.; MAIA, J. O.; WARTHA, E. J. As questões ambientais e a química dos sabões e detergentes. *Química Nova na Escola*, v. 32, n. 3, p. 169-175, 2010.
- Zang e Kong (2010), ARRUMAR O ZANG
- ZHANG, L.; KONG, S.C. *Vaporization modeling of petroleum-biofuel drops using a hybrid multi-component approach*. *Combustion and Flame*, v.3/, n-6, p.2448-2955, 2010.
- ZUCATTO, L. C. ; WELLE, I. ; SILVA, T. N. D. Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais. *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 53(5), 2013.
- VENTANA SYSTEMS. *Vensim Simulation Software*. Disponível em: <<http://www.vensim.com>> . Acesso em: 12 fev. 2016.