

**Produção de Biodiesel a partir de OGR's e de óleos
provenientes de biomassa algal: contribuição à gestão de
resíduos sólidos e adequação da Usina Flex de Biodiesel do
IEEUSP para uma produção sustentável de Biodiesel.**

Pesquisador Responsável

Profa. Dra Sônia Maria Flores Giancesella IEE/USP

Parceria

IEE/ PC-USP

Parceria externa

Prefeitura Municipal de Osasco

Equipe Executora

Profa. Dra. Patricia H. Matai EP/USP

Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho IEE/USP

Dr. Orlando Cristiano da Silva IEE/USP

Quim. Ana Beatriz de Barros Santos – IEE/USP

Ges. Amb. Nildeir da Silva – IEE/USP

MSc Octávio S. Bernardes Coelho de Oliveira IEE/USP

Est. Patrícia M. Sparagna

Est. Hannah H. F. G. Leite

São Paulo – Junho - 2013

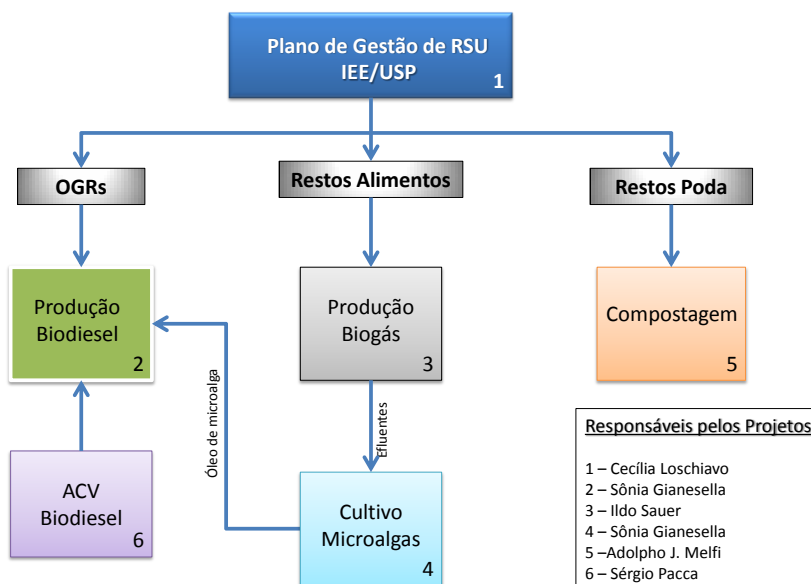
Resumo

Este Projeto é parte integrante de um conjunto de iniciativas integradas apresentadas pelo IEE/USP no quadro do “Programa de Incentivo à Sustentabilidade na Universidade de São Paulo”, (Edital 2013 – Desenvolvimento da Sustentabilidade na USP), promovido pela Superintendência de Gestão Ambiental. Visa à produção de biodiesel a partir de OGR’s (Óleos e Gorduras de Reúso) e também de lipídeos derivados da biomassa algácea. O interesse para a produção de biocombustíveis a partir de OGR’s extrapola a questão da produção de energia e diz respeito ao benefício adicional da redução do impacto ambiental uma vez que a introdução de OGR’s no ambiente, através de efluentes, encarece e reduz a eficiência dos tratamentos de esgotos convencionais. As microalgas constituem uma alternativa promissora e sustentável às culturas de oleaginosas convencionais usadas como matéria-prima na produção de biodiesel. Isto ocorre porque, além de não competirem com alimentos na utilização de solos férteis e água, podem ser produzidas a partir de efluentes e apresentam níveis de produtividade lipídica muito superior, acompanhados por outros produtos de valor comercial elevado, tais como antioxidantes, β -carotenos, vitaminas, etc. Diante dessa panorâmica, a opção por biocombustíveis derivados de microalgas é uma exigência lógica a ser perseguida, num quadro onde deverão ser considerados não só os biocombustíveis de primeira e segunda geração, mas com prioridade pelos de terceira geração (caso das microalgas), e pelo reuso de compostos residuais com valor energético, considerando-os não como resíduos, mas como co-produtos com valor agregado. Finalmente, pretende-se complementar a alimentação dos veículos da frota a diesel da USP com o biodiesel produzido.

Introdução

Este Projeto é parte integrante de um conjunto de iniciativas integradas, a serem apresentadas pelo IEE/USP, no quadro do “Programa de Incentivo à Sustentabilidade na Universidade de São Paulo”, (Edital 2013 – Desenvolvimento da Sustentabilidade na USP), promovido pela Superintendência de Gestão Ambiental.

A iniciativa envolve um projeto central (P1), em parceria com a Prefeitura do Campus Central da USP, que visa à estruturação de uma política de gestão de resíduos sólidos no Campus. Neste projeto central P1 busca-se, entre outros objetivos, separar os resíduos orgânicos - óleos e gorduras residuais (OGR's), dos restos de alimentos (RAs). O projeto P2 (presente proposta) tem como finalidade a utilização dos OGR's para a produção do Biodiesel. O projeto P3 será responsável pelos processamentos dos RAs para produção de biogás. O projeto P4 utilizará os efluentes do processo de biodigestão para promover o cultivo de microalgas, de onde serão extraídos óleos vegetais para a produção de biodiesel ou bioetanol. O projeto 5 envolverá compostagem de restos de poda do campus e o Projeto 6 pretende realizar a Análise de Ciclo de Vida da produção do Biodiesel por OGR's. A Figura - 1 mostra a representação esquemática da proposta IEE/USP.



Projetos Integrados da Sustentabilidade USP

Figura – 1: Representação esquemática da proposta IEE/USP

O projeto enquadra-se nos propósitos do Edital acima referido, cuja finalidade é “apoiar financeiramente projetos de ensino, pesquisa, extensão e gestão acadêmica, que promovam a sustentabilidade socioambiental nos campi da USP”.

O aumento da demanda energética mundial até 2035 está estimado em cerca de um terço relativamente às necessidades atuais (IEA, 2012). A crescente industrialização mundial e o modo de vida contemporâneo estão levando a uma demanda superior de combustíveis e derivados do petróleo (Agarwal, 2007). Atualmente os combustíveis fósseis representam 80% da energia primária total utilizada, dos quais 58% são consumidos pelo setor dos transportes (Escobar et al., 2009). Esta situação é particularmente preocupante pela grande dependência na utilização de combustíveis de origem fóssil.

De momento verifica-se uma mudança no tipo de combustíveis e sistemas de produção de energia, onde os derivados de petróleo e carvão mineral, e em determinados países a produção de energia nuclear, têm vindo a ser substituídos pelo uso de gás natural, o qual é um combustível fóssil e não renovável, e no sentido de produção de energia e combustíveis renováveis, como a energia fotovoltaica e eólica, e a produção de biodiesel e bioetanol, respectivamente. Por outro lado, os subsídios para a produção de energia fóssil cresceram cerca de 30% de 2010 para 2011, e neste último ano o valor subsidiado foi de \$523 bilhões, o qual representa seis vezes o utilizado para potenciar o uso de fontes renováveis de energia (IEA, 2012).

Não obstante, a necessidade energética crescente traduz-se num aumento do preço do petróleo bruto, o que afeta diretamente as atividades econômicas globais (EIA, 2011). Até o momento, não se tem considerado o custo das externalidades no custo do petróleo, o que faz com que o preço deste combustível seja ainda competitivo, num contexto de economia neoliberal.

As fontes de origem fóssil são finitas, o seu uso libera Gases de Efeito de Estufa (GEE), o que leva a diversos efeitos ambientais negativos, como a mudança climática, recuo dos glaciares, aumento do nível dos oceanos e perda de biodiversidade (Akpan e Akpan, 2012). Deste modo, o aumento da poluição pelas emissões provenientes de sistemas de produção de energia, as limitações nas reservas de combustíveis fósseis e a dependência energética de zonas politicamente instáveis, são fatores que exercem uma força no sentido da investigação e do desenvolvimento de novas fontes alternativas renováveis de energia, e de tecnologias de conversão eficientes e de baixo custo, a fim de se incentivar e criar um modelo de desenvolvimento sustentável (Stephenson et al., 2008).

Dentre as diversas alternativas de produção de energia, a bioenergia pode desempenhar um papel estratégico importante, com a produção de biocombustíveis, como o biodiesel, bioetanol, biohidrogênio e os biogases (biometano). Os biocombustíveis são uma escolha favorável, no sentido de que são biodegradáveis, renováveis, promovem novas oportunidades de negócios e trabalho, e aumentam a segurança local de abastecimento de energia (Smyth et al., 2010). Estes combustíveis podem ser utilizados e distribuídos utilizando o sistema atual e disponível de distribuição dos combustíveis fósseis.

Os biocombustíveis podem ser definidos como primários e secundários. Os primários são a biomassa natural e não transformada, como madeiras e pellets, os quais servem de combustível direto, isto é, para combustão e produção de energia térmica e elétrica. Os combustíveis secundários são aqueles transformados, a partir dos primários, e convertidos em sólidos, como carvão vegetal, líquidos, como o bioetanol e o biodiesel, e gasosos, como o biogás e o biohidrogênio. Estes podem ser utilizados quer no setor dos transportes, como em processos industriais que requeiram energia térmica elevada (FAO, 2008).

Quanto aos biocombustíveis secundários distinguem-se três tipos de gerações: primeira, segunda e terceira. A diferença entre elas consiste nas matérias-primas utilizadas. A primeira geração enquadra todos os biocombustíveis produzidos a partir de açúcares, grãos ou sementes, como por exemplo, o bioetanol ou o butanol, obtido por fermentação de açúcares e amido, e o biodiesel obtido por transesterificação de oleaginosas convencionais (ex. girassol, palma, colza, soja, etc.), gorduras animais e óleos usados, que são os chamados biocombustíveis de primeira geração.

No entanto, a viabilidade de produção de combustíveis de primeira geração é em muitos casos questionável, pois a elevada expansão mundial de produção de grãos, açúcares e oleaginosas convencionais, pode entrar em conflito com o uso de terras férteis, e, segundo alguns autores, aumentar o custo de culturas e bens alimentares, contribuindo para a escassez de água e destruição de áreas florestais (Patil et al., 2008). Há estudos (Goldemberg, et al, 2008, entre outros) que demonstram que para alguns biocombustíveis isso não ocorre, como no caso do etanol de cana de açúcar e alguns tipos de biodiesel. Além disso, o balanço das emissões de carbono é bastante negativo em alguns casos, como o etanol de milho e de beterraba - que apresenta um consumo elevado de fósseis no seu processo de produção (Goldemberg et al, 2008, Coelho et al, 2012) - ou no biodiesel de soja por apresentar impactos importantes nas mudanças de uso da terra (Land use change) (Grisoli et al, 2012). Estes biocombustíveis não reduzem muito os principais gases do

efeito estufa, inclusive porque muitos utilizam técnicas de agricultura convencional (que, por exemplo, liberam óxido nitroso) atrapalham a redução total (este não é o caso do etanol de cana-de-açúcar. Pelo mesmo motivo mencionado acima, o balanço energético global do etanol de milho de beterraba também é bastante reduzido quando comparado com a cana de açúcar (Goldemberg et al, 2008). Finalmente, estes biocombustíveis de primeira geração dependem de tecnologias de conversão relativamente ineficientes, como fermentação por variedades de levedura convencional ou de transesterificação por catalisadores de base alcalina.

A conversão de solos florestais de elevado valor econômico e ambiental, e outros tipos de habitats críticos para produção de monoculturas oleaginosas extensivas, não são considerados sustentáveis a médio e em longo prazo (Von Braun, 2008), salvo quando são utilizadas áreas degradadas como no caso de pastagens utilizadas na expansão da cana de açúcar (Goldemberg et al, 2008). Estas áreas úteis e a biodiversidade relativa podem estar em risco permanente, devido ao abate de florestas e à utilização indevida de áreas ecologicamente importantes, quando as condições de sustentabilidade não são consideradas. Estas preocupações levaram à procura de biomassa residual para produção de biocombustíveis.

Assim, surgiu o interesse pelos biocombustíveis de segunda geração, os quais são produzidos a partir de resíduos lignocelulósicos de biomassa de culturas alimentares ou não comestíveis. Como exemplo, os combustíveis que podem ser produzidos são o bioetanol e o butanol por hidrólise enzimática (em desenvolvimento). Nesta categoria também podem ser enquadrados os combustíveis derivados de óleos e gorduras residuais. As principais vantagens relativamente aos de primeira geração é de que não há competição direta por terras de cultivo e que ocorre uma conversão energética a partir de matéria vegetal residual, aumentando assim a eficiência no uso de terra (Naik et al., 2010). Os OGR's se enquadram, portanto, nesta categoria de combustíveis. Entretanto, o maior interesse, neste caso, para a produção de biocombustíveis a partir de OGR's, diz respeito ao benefício adicional da redução do impacto ambiental, além da produção de energia, uma vez que a introdução de OGR's no ambiente, através de efluentes, encarece e reduz a eficiência dos tratamentos de esgotos convencionais.

A geração mais recente de biocombustíveis, a terceira geração, inclui a produção de biocombustíveis líquidos a partir da tecnologia de gaseificação de biomassa e síntese de Fisher-Tropsch (ainda em desenvolvimento) e usando também biomassa microbiana e microalgal. Como exemplo tem-se a produção de bioetanol e biodiesel a partir de

microalgas e o biohidrogênio a partir de algas verdes e biomassa microbiana. Com base em projeções e tecnologias atuais estas culturas são consideradas como uma fonte de energia alternativa viável, desprovida das principais desvantagens associadas aos combustíveis de primeira e segunda geração. As microalgas constituem uma alternativa promissora e sustentável às culturas de oleaginosas convencionais usadas como matéria-prima na produção de biodiesel. Isto ocorre porque, além de não competirem com estas na utilização de solos férteis e água, apresentam níveis de produtividade lipídica muito superior (Chisti, 2007; Mata et al., 2011), acompanhados por níveis muito interessantes de hidratos de carbono e outros produtos de valor comercial elevado, tais como pigmentos, antioxidantes, β -carotenos e vitaminas (Herrero et al., 2006). Diante dessa panorâmica, a opção pelos biocombustíveis é uma exigência lógica, considerando não só os biocombustíveis de primeira e segunda geração, mas com prioridade pelos de terceira geração, e pelo reuso de compostos residuais com valor energético, considerando-os não como resíduos, mas como co-produtos com valor agregado.

Histórico da Usina Flex de Biodiesel do IEE

Em 2009, o IEE submeteu solicitação à ANP para aquisição de uma miniusina de produção de biodiesel com a finalidade de realizar um programa piloto de produção e testes de qualificação de biodiesel para atender às três vertentes de atividades da universidade, tais sejam, ensino, pesquisa e extensão na área de energia. Para isso, seria necessária a implantação de infra-estrutura piloto de produção de biodiesel, através da aquisição de uma mini-usina, para alimentação da qual foi pensada, inicialmente, a utilização de óleos residuais (combustíveis secundários de primeira geração). O biodiesel produzido seria utilizado na frota cativa de veículos movidos a diesel da USP, campus capital. A implantação da mini-usina permitiria o desenvolvimento de grande número de projetos de pesquisa associados ao tema, inclusive de caráter interdisciplinar. Além disso, outro aspecto importante a ser contemplado, seria demonstrar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição do óleo diesel por biodiesel obtido através de óleo residual.

O projeto teve por justificativa a necessidade de criação de uma base visando pesquisas experimentais em biomassa energética, até então inexistente no IEE, como premissa para a melhoria do nível das pesquisas e criação de ambiente promissor de inovação tecnológica. A miniusina didática foi projetada para trabalhar com qualquer tipo de oleaginosa, incluindo óleos oriundos de processo de cocção de alimentos, ou seja, óleos

residuais (OGR's), produzindo biodiesel por via metílica ou etílica. Possibilita, também, a produção experimental de biodiesel utilizando-se diferentes combinações de óleos, OGR's, de biomassa algal, e vias com diferentes álcoois e catalisadores. Com vistas às possibilidades de sua utilização, conforme sumarizadas acima, e das novas perspectivas de ensino, pesquisa e extensão do IEE, agora Instituto de Energia e Ambiente, a miniusina voltou a representar um locus de extremo interesse em função da ampliação dos objetivos institucionais do IEE. Dessa forma, acordou-se com a Prefeitura do campus, a realocação da miniusina para o IEE para onde foi transferida no início de 2013. Para tanto, optou-se por abrigá-la em espaço anteriormente cedido em caráter temporário a um projeto da FAU/USP voltado a um concurso internacional para construção de uma “casa sustentável”. Nesse sentido, a usina passou a ocupar um espaço coberto e bem ventilado. Para sua transferência foi realizada consultoria ao SESMT/USP, que indicou as necessidades básicas e imediatas para sua instalação. Uma vez instalada em seus requisitos mais básicos, a empresa construtora foi contatada para realizar um treinamento com membros da equipe que seriam responsáveis por sua operação.

Justificativa

O presente projeto objetiva a utilização de óleos residuais produzidos no campus e coletados no Município de Osasco para a produção de biodiesel na Usina Flex do IEE e sua utilização na frota cativa de veículos da USP e da Prefeitura Municipal de Osasco. Também se pretende utilizar óleos produzidos a partir de biomassa algal, numa etapa posterior de outro projeto submetido, o projeto 4 (vide Fig. 1).

Pretende-se realizar a coleta seletiva de óleos do restaurante do COSEAS, mas, como atualmente a produção de OGR's pelos restaurantes da USP tem sido reduzida, o volume que será obtido através do SAS, é pequeno para a pretendida demanda da Usina Flex. (cerca de 150L/mês). Isto não pode ser considerado um ponto negativo, ao contrário, representa a redução na fonte do uso de óleos, o que decorre de um esforço do SAS USP para alteração do processamento dos alimentos, de frituras para assados, o que é altamente meritório. Com vista a esse pequeno volume de óleo, entramos em contato com a prefeitura de Osasco, que já havia nos procurado para tratar de questões relativas à reciclagem de OGR's. Isso resultou numa parceria entre as duas instituições através do presente projeto. O óleo residual proveniente dessas duas fontes, será

utilizado na miniusina de biodiesel do IEE. A coleta dos óleos residuais será desenvolvida seguindo as técnicas já conhecidas (Botelho, 2012).

Diversas áreas temáticas de pesquisa poderão ser desenvolvidas neste projeto de uso de óleo residual. Inicialmente, pretende-se utilizar a via metflica para colocar o sistema em operação, mas pretende-se, da maneira mais rápida possível, passar a utilizar a via etflica para a produção do biodiesel. Um dos maiores problemas para a utilização desta via no Brasil trata da contaminação da glicerina com etanol, o que acaba inviabilizando sua comercialização uma vez que a descontaminação tem um alto custo econômico. Observe-se que já existem experiências em termos comerciais no estado de São Paulo, produzindo biodiesel etílico inclusive com óleos residuais (empresa Fertibom, Catanduva), que já foram analisadas em projetos anteriores (Coelho, inf pessoal) e que poderão ser utilizadas no projeto em questão.

Um dos estudos que se pretende implantar paralelamente a esta via diz respeito à utilização desta glicerina contaminada como fonte de carbono para a produção de biomassa algal, que servirá para extração de lipídeos e novamente produção de biodiesel a partir de microalgas, fechando o ciclo de materiais e com nova produção de combustível. Além deste, outros estudos deverão ser desenvolvidos durante a operacionalização da miniusina: substituição do metanol por etanol, melhorias de eficiência do processo, sistema de automatização, análise de ciclo de vida, sistemas de purificação da glicerina, etc. A produção do biodiesel, por sua vez, exigirá que uma série grande de análises sejam efetuadas, de acordo com a Resolução ANP no. 14, de 11.5.2012-(DOU 18.5.2012). Estas análises deverão seguir o Regulamento Técnico ANP No. 4/2012, que especifica as características do biodiesel a ser utilizado em território nacional. Um objetivo adicional deste projeto, portanto, é a montagem do laboratório de Caracterização de Combustíveis e Desenvolvimento de Bioenergia do IEE, para que seus alunos tenham oportunidade de aprender realizando os mais diferentes testes que envolvem os biocombustíveis, desde a caracterização da matéria prima (óleos residuais), realização de ajustes operacionais para manter a eficiência do processo, uso de catalisadores diferentes (via metflica ou etflica), avaliação da eficiência da reação, a caracterização dos produtos finais, testes mecânicos de motores utilizando biodiesel, testes de emissões, de durabilidade e desempenho de motores, etc. , sempre sob o foco da sustentabilidade ambiental.

Portanto, a justificativa para o desenvolvimento deste projeto baseia-se na necessidade da criação de uma base para pesquisas experimentais em biomassa energética no IEE,

ainda inexistente, visando à melhoria do nível das pesquisas e a geração de contribuições inovadoras na área energética dentro dos conceitos de sustentabilidade ambiental.

Objetivos gerais

- 1- Operacionalização da miniusina de biodiesel visando implantar programa piloto de produção e testes de qualificação de biodiesel para atender às três vertentes de atividades da universidade, tais sejam, ensino, pesquisa e extensão na área de energia e ambiente.
- 2- Criação da infraestrutura e operacionalização do Laboratório de Caracterização de Combustíveis e Desenvolvimento de Bioenergia.
- 3- Otimização de processos de produção de Biodiesel a partir de diversos tipos de óleos vegetais, OGR's e biomassa algal.

Objetivos complementares

- 1- Permitir ao IEE ter um espaço experimental na área de energias renováveis. (pesquisa)
- 2- Permitir ao IEE oferecer aos seus alunos de graduação e pós-graduação oportunidades de se desenvolver num ambiente de inovação com características amplamente interdisciplinares, indo de encontro com as propostas mais atuais de ensino na USP e no mundo. (ensino)
- 3- Demonstrar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição do óleo diesel por biodiesel produzido a partir de óleo residual ou por fontes alternativas (microalgas, etc.). (inovação)
- 4- Contribuir para a conscientização da sociedade, iniciando pela própria comunidade uspiana, a respeito da necessidade da reciclagem de materiais e reuso do óleo a fim de obter energia e reduzir a poluição das águas. (extensão)
- 5- Permitir ao IEE ter um laboratório certificado para Caracterização de Combustíveis para efetivar um setor de prestação de serviços na instituição ainda totalmente a descoberto. (extensão)

- 6- Permitir ao IEE atuar como referência na inovação de fontes e processos para obtenção de energia de terceira geração ou no reuso de fontes energéticas de biomassa. (extensão)
- 7- Analisar a possibilidade de uso do biodiesel nos veículos do campus

Material e Métodos (Ações propostas)

Diversas ações estão sendo propostas para atender aos objetivos deste projeto, a maioria das quais já em andamento nos seus aspectos conceituais, mas diversas dependendo de recursos para execução.

Estocagem de materiais perigosos

A questão do local de estocagem de materiais utilizados como catalisadores, metanol, metilato ou etanol, inflamáveis, explosivos e tóxicos, no entorno da usina, deve ser considerada sob a ótica das normas de segurança. Estas substâncias deverão ser estocadas em tambores metálicos, as quais serão conectadas ao tanque de reação da usina através de bombas. Esses tanques necessitam local apropriado de estocagem. Nesse sentido, foi solicitado ao SESMT - Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho - auxílio para desenvolver um projeto para acomodação e estocagem desse material com base em estimativas de uma produção mensal plena da usina. No espaço destinado à usina, avaliou-se que o local mais adequado para estocagem seria em contêiner com laterais abertas. Este container ficaria ao fundo da usina e o ideal é que mais um módulo de cobertura da usina fosse incorporado (ou equivalente), a fim de evitar o aquecimento do container pelo sol. Esse sistema permitiria o acesso e movimentação dos tambores pela entrada dos fundos da usina, utilizando-se carrinhos manuais a partir de um caminhão fornecedor, que subiriam pequenas rampas para acessar o nível do container. As substâncias perigosas entrariam na usina através de canalizações flexíveis acopladas a bombas a prova de explosão.

Recebimento do óleo, filtração, estocagem da matéria-prima

Apesar de a miniusina ser um espaço experimental, no qual, muitas vezes as operações devam ser interrompidas para estudos e modificações de processo em função de óleos de diferentes fontes, e seu uso nem sempre seja continuado, também se pode pensar em períodos em que a usina tenha projetos que exijam mais continuidade, como na

produção de biodiesel a partir de óleo de reuso, através de associação com atividades de educação ambiental para diferentes públicos da comunidade, parcerias com sistemas de coletas seletivas incluindo catadores, ou outros tipos de parcerias, que contemplem, por exemplo, fornecimento de biodiesel e outros subprodutos do processamento do óleo residual.

Imagina-se que, em caso do recebimento de óleo residual para produção de biodiesel, é preciso haver certa “folga” de espaço, uma vez que, em caso de haver alguma parada na usina, para manutenção, o material continuaria a ser recebido nessas ocasiões em função dos acordos/contratos. A acomodação ideal para este material são bombonas adquiridas em locais de reciclagem, uma vez que não há necessidade de serem novas. São necessárias bombonas de 20 l e 50 l, que receberão o óleo de reuso proveniente dos fornecedores (a própria USP e Prefeitura Municipal de Osasco). O conteúdo dessas bombonas deverá ser filtrado através de peneira encaixada em tanque específico, de pequena profundidade, e com altura adequada para duas pessoas descarregarem as bombonas. Ao lado desse tanque deve haver outro para lavagem das peneiras, mas profundo, com sistema para recolhimento da borra. E finalmente, deverá haver mais um tanque para lavagem de materiais diversos. O óleo filtrado é estocado em tanques plásticos de 1000L revestidos de engradados metálicos e com sistema de encanamento para recebimento do óleo e envio à usina. Esses tanques poderão ser acomodados na lateral da usina sobre pallets com sistemas de contenção. Uma bomba deverá alimentar o reservatório da usina, de onde é tirado material para análise e correção de acidez e teor de água.

Estocagem dos produtos

O biodiesel produzido também precisará ser estocado, em lotes, até que todas as análises para verificação da qualidade sejam concluídas e eventualmente *blendings* sejam preparados para acertar a qualidade conforme as especificações da ANP. O estoque do biodiesel poderá ser efetuado também em duas bombonas de 1000L com grades de proteção conectadas à saída da usina. Estas bombonas deverão ficar próximas à entrada da usina de forma a permitir o abastecimento de veículos através de bicos automáticos com controle de vazão. A glicerina produzida também precisará ser estocada e imagina-se uma retirada mensal para viabilizar os gastos com transporte por parte de quem vier retirar. A glicerina também poderá ser estocada em duas bombonas

de 1000L do mesmo tipo, para posterior tratamento ou destinação a empresas de setores distintos, que poderão utilizá-lo em seus processos.

É possível que sejam desenvolvidos projetos paralelos para uso da glicerina como fonte de carbono para diversas finalidades, tais como substrato para cultivos mixotróficos de microalgas, para aquicultura ou mesmo ração de gado. Em todos estes casos, a qualidade da glicerina/glicerol produzido deverá ser previamente analisada e a qualidade acertada (através de processos a serem estudados/desenvolvidos). O uso da glicerina se reveste ainda de maior interesse no caso da via etílica, uma vez que esta via tem como uma de suas maiores desvantagens a produção de glicerina altamente contaminada por etanol, o que não permite atingir qualidade para exportação e valor de mercado de modo geral. No entanto, é uma fonte de carbono que deve ser reutilizada em processos de mitigação como o caso dos cultivos mixotróficos.

Redução de efluentes

E, finalmente, a miniusina recebida pelo IEE apresenta um alto consumo de água e apresenta um problema de água de produção, ou seja, a água utilizada para a lavagem do biodiesel, sofre contaminação pelo próprio biodiesel, por glicerina, por metanol (caso seja esta a via de operação) e metilato, gerando um efluente de Classe 1 que requer obtenção de CADRI para ser retirado por empresa especializada. Nesse sentido, pretende-se a substituição do processo de lavagem do biodiesel por um sistema de limpeza com o uso de peneira molecular, de relativamente baixo custo. Esse sistema de purificação do biodiesel apresenta diversas vantagens: além da economia de água, elimina a produção de efluentes líquidos classificados (Classe 1, de acordo com Resolução CONAMA nº 397 de 03 de Abril de 2008), que exige obtenção de CADRI e gera custos para sua destinação. Também facilita a própria operação da usina. Da forma como está, são necessários dois operadores continuamente, para atender a todos os passos, controlar a temperatura de diferentes etapas, abrir circuitos de água de diferentes tanques que atuam em paralelo, etc. O sistema atual está apresentado na Fig. 2 e o fluxograma de funcionamento nas Fig. 3 (a, b, c, d, e). Com o sistema proposto, a usina passará a trabalhar em série e um único operador poderá controlar todo o processo. A resina do sistema de peneiras moleculares, se lavada frequentemente com metanol pode ser reutilizada inúmeras vezes e, após o final de sua vida útil (cerca de dois anos), é novamente lavada e pode ser condicionada em aterro sanitário comum. O metanol utilizado na lavagem por sua vez, é recuperado e reutilizado na usina, não havendo, portanto, resíduos líquidos no processo. Dessa forma, possibilita-se a adequação das

instalações da miniusina à legislação vigente, Normas Regulamentadoras (NR's) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e normas (NBR's), da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.



Figura 2 – Usina Flex Biodiesel IEE/USP

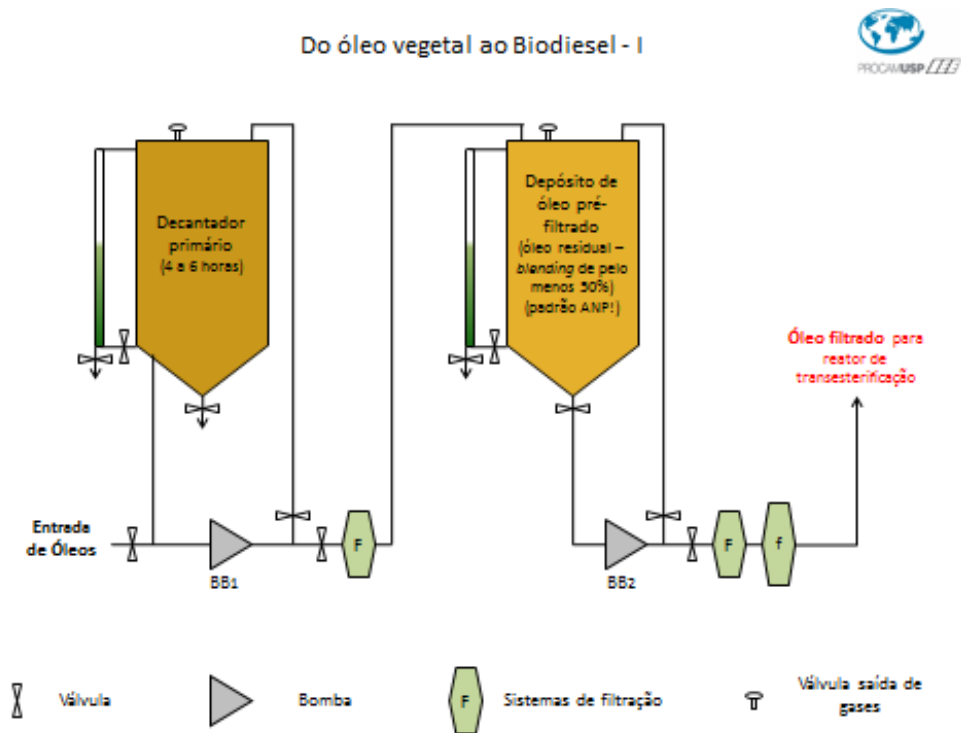


Figura 3a – Do óleo vegetal ao biodiesel – Usina Flex IEE/USP (I)

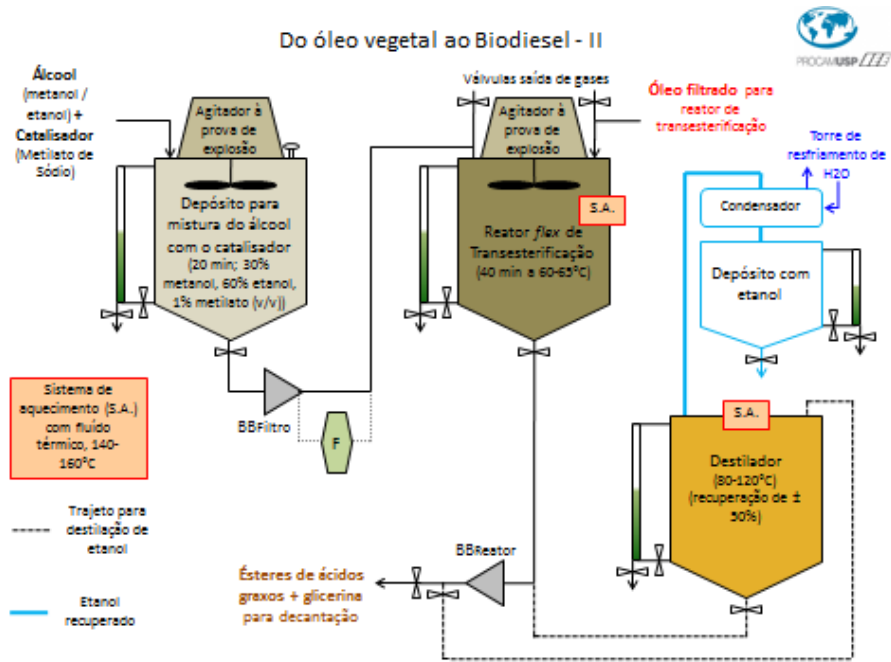


Figura 3b – Do óleo vegetal ao biodiesel – Usina Flex IEE/USP (II)

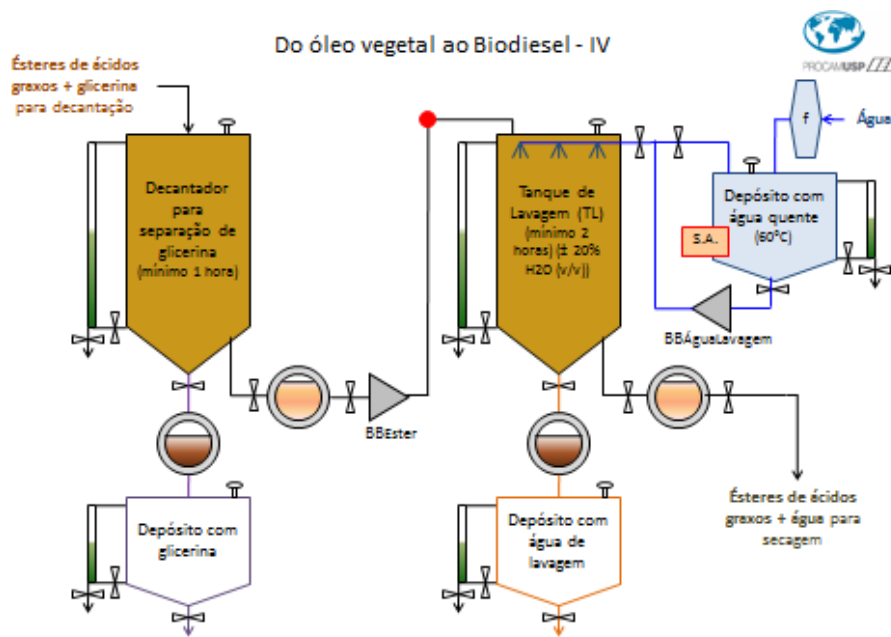


Figura 3c – Do óleo vegetal ao biodiesel – Usina Flex IEE/USP (III)

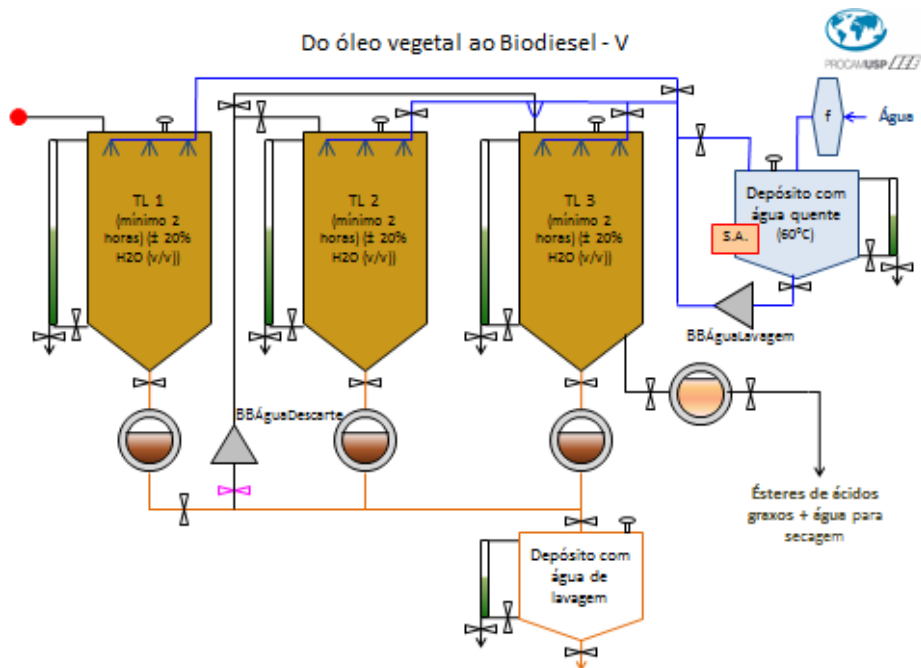


Figura 3d – Do óleo vegetal ao biodiesel – Usina Flex IEE/USP (IV)

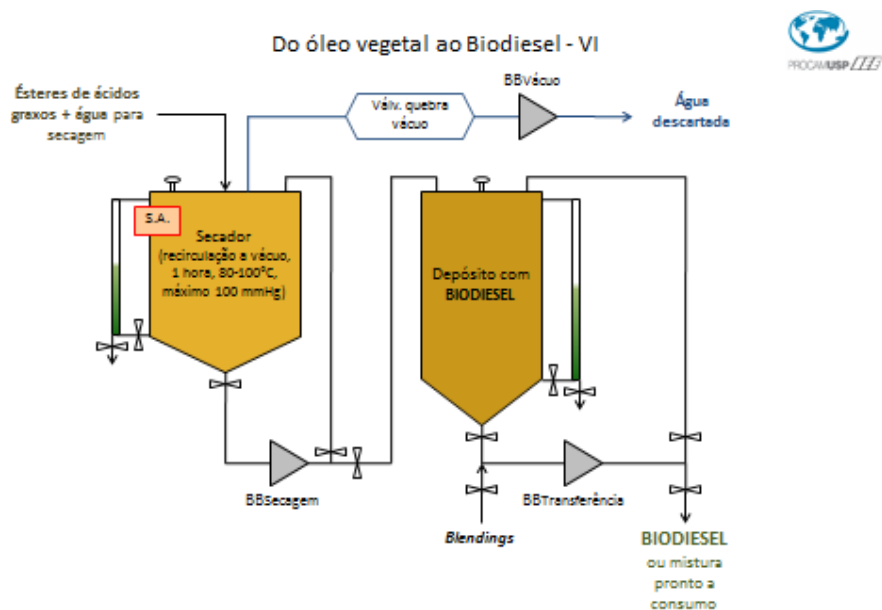


Figura 3e – Do óleo vegetal ao biodiesel – Usina Flex IEE/USP (V)

Processo de transesterificação

O processo de produção de biodiesel a ser empregado inicialmente, seja através de OGR's, como através de óleos de biomassa algal, se valerá da rota metílica .

Para tanto, deverão ser feitas amostragens do óleo que irá alimentar o processo para análise da qualidade do mesmo e eventual correção das propriedades físico-químicas da

matéria-prima. Para isso, deverão ser realizadas análises do índice de acidez do OGR, do teor de água e também a verificação do aspecto para eventuais correções.

Após o processo de transesterificação, o biodiesel produzido deverá ser analisado para verificação de adequação nos padrões de qualidade ANP antes de ser destinado. As análises mais fundamentais deverão ser realizadas no próprio IEE, sendo que análises complementares poderão ser realizadas, inicialmente, em laboratório da UNICAMP até que o Laboratório de Caracterização de Combustíveis do IEE esteja com os equipamentos adequados disponíveis.

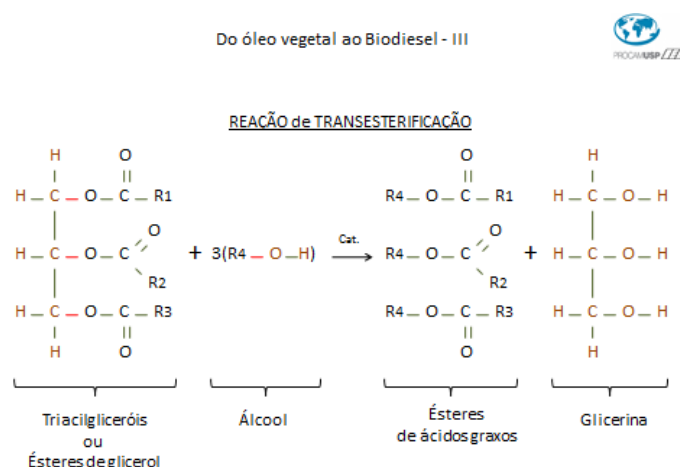


Figura 4 – Reação de transesterificação.

Possibilidades de alteração de rotas no processo

Inicialmente, pretende-se utilizar a via metílica na operação da usina. Entretanto, é importante frisar que a via metílica não permite afirmar que o biodiesel produzido seja realmente renovável, uma vez que o metanol utilizado no processo é proveniente de fonte não renovável (usuamente do gás natural). Nesse sentido, o objetivo maior deve ser sempre buscar a viabilização da via etílica. Entretanto, além de diversos problemas de ordem tecnológica, um sistema adicional de peneiras moleculares seria necessário para adoção dessa rota. Desse modo, pretende-se que essa etapa seja alcançada após a operacionalização da rota tradicional, pois exigirá ainda pesquisas para sua implantação. Um levantamento junto ao fornecedor da própria miniusina forneceu o montante de R\$120 000,00 para a aquisição e implantação do sistema de peneiras moleculares para esta rota. Entretanto, acreditamos que numa próxima chamada da SGA possamos apresentar um modelo a ser construído no IEE sob custo bastante inferior.

Resultados esperados

A realização deste projeto será uma oportunidade de testar sistemas de coleta, pré-processamento de OGR's, produção de biodiesel e utilização de lipídeos de microalgas em um sistema piloto de campo e integrado no IEE, permitindo que este se torne um espaço de aprendizado e aperfeiçoamento do processamento de OGR's e lipídeos de microalgas além de outros processos. O biodiesel produzido poderá ser utilizado em veículos da frota da USP. Um aspecto fundamental é o uso do sistema integrado como laboratório didático para aperfeiçoar a capacitação de estudantes e técnicos, inclusive de administrações municipais, em matéria de tratamento de resíduos orgânicos e geração de bioenergia.

Com os conhecimentos obtidos no projeto espera-se que sejam identificadas oportunidades de melhorias de eficiência dos processos e na qualidade dos blendings de biodiesel. Espera-se também que os resultados possam ser adaptados e replicados em pequenos municípios, como parte da política de gestão de resíduos sólidos da USP, em consonância com as determinações da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Prende-se também utilizar o projeto como laboratório de metodologias e experimentos que levem a publicações científicas de impacto nacional e internacional.

Cronograma de execução

A execução do projeto deverá seguir o cronograma apresentado de seguida:

| Cronograma de Execução | | | |
|---|-----------|----|----|
| Descrição | Trimestre | | |
| | 1º | 2º | 3º |
| Instalação do sistema estrutural (tanques de separação e de estocagem). | | | |
| Instalação de sistema de peneiras moleculares e testes de operacionalização | | | |
| Início da Produção de biodiesel de OGR's e de microalgas | | | |

Orçamento de Custos de Execução

| | Materiais de consumo, Serviços e bolsas | Quantidade | Preço Unitário Aprox. R\$ | Preço Total Parcial R\$ |
|---|--|------------|---------------------------|-------------------------|
| Tanques de separação de óleo | Construção de tanques de alvenaria para separação de óleo | 3 | 2950 | 8850 |
| Filtração | Construção de sistema de filtragem de OGR | 1 | 450 | 450 |
| Recebimento do óleo | Bombonas de 20L | 30 | 20 | 600 |
| | Bombonas de 50L | 20 | 40 | 800 |
| Estocagem de materiais inflamáveis | Ampliação e adequação da cobertura da planta da usina para estocagem de materiais tóxicos e inflamáveis. | 1 | 6850 | 6850 |
| Sistema de envio de catalisadores p usina | Construção de sistema inerte para envio de catalisadores para a usina | 1 | 4650 | 4650 |
| Estocagem de OGR filtrado | Tanques plásticos revestidos de engradado metálico de 1000L | 1 | 260 | 260 |
| | Palets de contenção | 1 | 120 | 120 |
| | Encanamento plástico (m) | 10 | 10 | 100 |
| Estocagem de biodiesel e glicerina | Tanque plástico revestidos de engradado metálico de 1000L | 1 | 260 | 260 |
| | Palets de contenção | 2 | 260 | 520 |
| | Encanamento (m) | 5 | 7 | 35 |
| Sistema de purificação biodiesel | Construção de sistema de purificação de biodiesel através do uso de resinas | 1 | 10000 | 10000 |
| Bolsas para estudantes de graduação | Bolsas para 2 estudantes de graduação (meses) | 24 | 600 | 14400 |
| Catalisadores para biodiesel | Metanol (200L) | 1 | 1600 | 1600 |
| | Metilato | 1 | 500 | 500 |
| TOTAL R\$ | | | > | 49995 |

Referências Bibliográficas

- Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G. (2007). "Technologies and Systems for Water Reclamation and Reuse". In: Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R., Tchobanoglous, G. **"Water Reuse, Issues, Technologies, and Applications"**. Metcalf & Eddy, Inc., AECOM Press, New York, 1570p.
- AWWA/APHA/WEF (American Water Works Association / American Public Health Association / Water Environment Federation) (1998). **"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"**. Greenberg, A.E., Cleesceri, L.S. & Andrew, L.G., Washington: 20th edition.
- Benemann, J., Woertz, I., Lundquist, T. (2012). "Life Cycle Assessment for Microalgae Oil Production". **Disruptive Science and Technology**, 1(2):68-78. doi:10.1089/dst.2012.0013.
- Bligh E. e Dyer W. (1959). "A rapid method of total lipid extraction and purification". **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, 37:911-917.
- Bosma, R., van Spronsen, W.A., Tramper, J., Wijffels, R.H. (2003). "Ultrasound, a new separation technique to harvest microalgae". **Journal of Applied Phycology**, 15(2-3):143-153.

- Botelho, C.A.V de A. Viabilidade técnica e aspectos ambientais do biodiesel etílico de óleos residuais de fritura. Dissertação de mestrado. PPGE, IEE. 2012
- Chisti, Y., 2007. Research review paper: biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances** 25, 294-306.
- Coelho, S. T. ; Agbenyega, O. ; Agostini, A. ; Erb, K. ; Haberl, H. ; Hoogwijk, M. ; Lal, R. ; Lucon, O. ; Maserà, O. ; Moreira, J. R. . (2012). Land and Water. Linkages to Bioenergy. In: Global Energy Assessment (Davis, G., Goldemberg, J., orgs). International Institute for Applied Systems Analysis and Cambridge University Press. Viena, 2012, v. 1, p. 1459-1525.
- Cooney, M., Young, G., Nagle, N. (2009). "Extraction of bio-oils from microalgae". **Separation and Purification Reviews**, 38(4):291-325.
- Goldemberg, J.; Coelho, S.T.; Guardabassi, P. (2008a). The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*, v. 36, p. 2086–2097, 2008.
- Grima, M.E., Belarbi, E.H., Fernández, F.G.A., Medina, A.R., Chisti, Y. (2003). "Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics". **Biotechnology Advances**, 20(7-8):491-515.
- Grisoli, R., Nogueira, A., Castanheira, É. G., Freire, F., Silva, G. A., Coelho, S. (2012). Emissões de gases de efeito de estufa no ciclo de vida do biodiesel de soja produzido no Brasil. III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, 3-6 Setembro, Maringá, Brasil.
- Halim, R., Gladman, B., Danquah, M.K., Webley, P.A. (2011). "Oil extraction from microalgae for biodiesel production". **Bioresource Technology**, 102:178-185.
- Heasman, M., Diemar, J., O'Connor, W., Soughames, T., Foulkes, L. (2000). "Development of extended shelf-life microalgae concentrate diets harvested by centrifugation for bivalve molluscs – a summary". **Aquaculture Research**, 31(8-9):637-659.
- Knuckey, R.M., Brown, M.R., Robert, R., Frampton, D.M. F. (2006). "Production of microalgal concentrates by flocculation and their assessment as aquaculture feeds". **Aquacultural Engineering**, 35(3):300-313.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. (2010). "Microalgae for biodiesel production and other applications: a review". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14:217-232.
- Neto, A.M. P. ; Souza, R.A.S.; A.D. L.; Costa, J. D. A.; Tiburcio, R.S.; Nunes, T.A.; Mello, T. C. S.; Kanemoto, F.T. ; Saldanha-Corrêa, F.M.P. e Giancesella, S.M.F. 2012. Improvement in microalgae lipid extraction using a sonication-assisted method. **Renewable Energy**,55:525-531.
- Oliveira, Octávio (2009). "Optimização da produtividade lipídica da microalga *Arthrospira platensis* como matéria-prima para biocombustíveis". Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Programa de Mestrado em Bioenergia, Dezembro.
- Paerl, H.W. (2008). "Nutrient and other environmental controls of harmful cyanobacterial blooms along the freshwater-marine continuum". In: **Hudnell, K.H. (ed.) "Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs"**. New York, Springer, 215-241.
- Poelman, E., DePauw, N., Jeurissen, B. (1997). "Potential of electrolytic flocculation for recovery of microalgae". **Resources Conservation and Recycling**, 19(1):1-10.
- Rosignol, N., Lebeau, T., Jaouen, P., Robert, J.M. (2000). "Comparison of two membrane-photobioreactors, with free or immobilized cells, for the production of pigments by a marine diatom". **Bioprocess and Biosystems Engineering**, 23(5):495-501.
- Von Sperling, M. (2005). "Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos". Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 3th edition, 452p.