

# **PROCESSO PRODUTIVO DE MICROALGAS NO SUDOESTE GOIANO COM ÊNFASE NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: UMA ESTIMATIVA DE CUSTOS**

*Eduardo Muller de Oliveira Miranda<sup>1</sup>*

*Kamilla Alves Carvalho<sup>2</sup>*

## **RESUMO**

Conforme a expansão mundial e o aumento desenfreado da população mundial fizeram com que a busca e o consumo por fontes de energias renováveis aumenta-se de uma forma exponencial. Em meio a essa busca surgiu então o conceito dos biocombustíveis a base de microalgas ou, biocombustíveis de terceira geração. As microalgas podem ser definidas como, micro-organismos autotróficos capazes de sintetizar matéria orgânica de reserva. A produção de biocombustíveis oriundas da biomassa microalgal apresenta elevadas vantagens em relação às culturas de produção já existentes, porém, por se tratar de uma tecnologia ainda em desenvolvimento, seus custos são muito mais elevados do que as outras culturas de produção. O objetivo do presente trabalho é estimar os custos de instalação de uma unidade fornecedora de biomassa oriunda de microalgas para a produção de bioetanol. Foram levantados os dados referentes à instalação de uma lagoa de cultivo, os insumos necessários para o desenvolvimento do produto, a espécie de microalga utilizada no processo e as tecnologias para recuperação da biomassa microalgal. Após a análise dos dados obtidos foi possível constatar que o projeto apresentou custos muito dispendiosos e que a sua viabilidade econômica atualmente é um fator restritivo para o desenvolvimento do projeto.

Palavras-chave: Microalgas. Biocombustíveis. Biomassa. Biotecnologias.

---

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Rio Verde – UniRV.

<sup>2</sup> Professora Orientadora Mestre do Curso de Engenharia de Produção da Universidade de Rio Verde – UniRV.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população, observado em âmbito mundial, teve como consequência direta o alto consumo dos recursos naturais finitos, tais como o petróleo e o gás natural, recursos que são considerados insustentáveis do ponto de vista ambiental, apresentando grandes impactos em relação à emissão de gases de efeito estufa responsáveis pela degradação da camada de ozônio (AZEREDO, 2012).

No decorrer das últimas décadas, houve uma crescente atenção voltada à escassez dos recursos naturais. Com isso, deu-se início a uma busca por fontes energéticas renováveis, com destaque para o desenvolvimento de biocombustíveis. Segundo Goldemberg e Johansson (2004), os biocombustíveis são fontes de energias provenientes de matérias-primas de procedência biológica, renováveis, podendo possuir formas líquida como o bioetanol e o biodiesel e formas gasosas como o biogás e hidrogênio.

Atualmente, existem três classificações para os biocombustíveis, os de primeira, segunda e terceira gerações. Os biocombustíveis de primeira geração, também conhecidos como etanol e biodiesel, são produzidos a partir de açúcares encontrados em plantas como a cana-de-açúcar e o amido existentes em grãos de milho, podendo também ser extraídos de plantas oleaginosas e de grãos de soja (MAGRO et al., 2016).

Savaliya, Dhorajiya e Dholakiya (2013) explicam que os biocombustíveis de segunda geração são obtidos a partir do processamento da biomassa celulósica de algumas plantas. Enquanto Chen et al. (2009) afirma que os biocombustíveis de terceira geração são produzidos pelo processamento da biomassa de microrganismos, em específico, as microalgas.

Segundo Schenk et al. (2008), as justificativas encontradas para a produção de biocombustíveis, por meio do cultivo de microalgas, em comparação aos biocombustíveis de primeira e segunda gerações, é a produção realizada em terrenos com baixo potencial agrícola, que não apresentam nenhuma demanda adicional de água doce, conseqüentemente, reduzindo a concorrência com as agroindústrias e aumentando as oportunidades para aquelas áreas áridas pouco utilizadas. Outra justificativa é o uso dos resíduos de outros processos produtivos como fonte de nutrientes para o desenvolvimento das microalgas como, por exemplo, vinhaça e o CO<sub>2</sub>.

A cultura da produção de microalgas para fins energéticos ainda está na etapa de pesquisa e desenvolvimento e, segundo Lopes (2014), não está estabelecida, por conseguinte, a produção comercial de algas para biocombustíveis. Hoje, mesmo ocupando uma posição privilegiada em relação à produção de bicombustíveis, o Brasil possui uma carência no que diz respeito a investimentos e financiamentos para o cultivo e produção de microalgas, além de não possuir um sistema tecnológico avançado para a produção de bicombustíveis em grande escala.

O presente artigo tem como finalidade fazer um levantamento do que é necessário para a implantação de um sistema produtivo de microalgas no sudoeste goiano e estimar os custos necessários para implantar uma unidade produtora de biomassa oriunda de microalgas, destinada à produção de biocombustíveis.

## 1.1 PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Segundo Nyko et al. (2010), o Brasil destaca-se como pioneiro na produção de bicombustíveis, para isso, utiliza o etanol da cana-de-açúcar, também conhecido como bicombustível de primeira geração. Apesar de ser o maior exportador e o segundo maior produtor desse bicombustível, ainda existem muitas críticas referentes aos meios de produção brasileiros, mesmo o País apresentando os menores custos de produção em comparação aos custos de outros países. Essa crítica não só repercute na produção de bicombustíveis brasileira, como também na de outros biocombustíveis de primeira geração, produzidos no mundo.

Conforme Araújo, Navarro e Santos (2013), a crescente busca por fontes de energia renováveis que não interfiram na produção de alimentos e que possam ser produzidas em larga escala faz com que nasça uma competição internacional para o desenvolvimento de novas técnicas para a obtenção de bicombustíveis.

Em resposta a essa procura, desenvolveu-se a produção de etanol lignocelulósico, conhecido também como etanol de segunda geração. Segundo Nyko et al. (2010), devido ao conflito entre a produção de bicombustíveis e de alimentos, além das questões relacionadas aos aspectos ambientais e sociais, o fator que motiva o desenvolvimento de novas tecnologias está ligado à segurança energética.

Marques (2009) afirma que a busca por bicomcombustíveis lignocelulósicos tem se intensificado ao redor do mundo, mobilizando centros de pesquisas e desenvolvimento, incentivados por novas políticas que buscam expandir a produtividade da matriz energética.

Segundo Araújo, Navarro e Santos (2013), o bioetanol não depende da gestão de alimentos para a sua industrialização, pois grande parte de sua elaboração depende apenas do reaproveitamento dos resíduos de produção, também chamados de coprodutos como, bagaço e a palha da cana-de-açúcar. A produção de etanol celulósico não demanda um aumento na área de cultivo da cana-de-açúcar, e como se trata de um coproduto, não há necessidade da instalação de uma nova infraestrutura para a geração desse bicomcombustível.

### 1.1.1 INCENTIVOS À PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO CENÁRIO INTERNACIONAL

Nota-se que os bicomcombustíveis de segunda geração têm sido a resposta mais promissora em relação à demanda por energias renováveis em âmbito mundial. Partindo dessa perspectiva, Nyko et al. (2010), afirma que os esforços para o desenvolvimento de novas bioenergias provêm desde antes da década de 1970. Com base no futuro desenvolvimento desses recursos, o governo dos EUA vem fortemente investindo em programas e planos de ação que promovem o desenvolvimento dos bicomcombustíveis naquele país. O governo americano baseou-se em criar políticas e leis de suporte à produção e comercialização dos bicomcombustíveis, no intuito de dar início a uma gestão nacional de inovação em biomassa, na qual o etanol ocupa um lugar de destaque.

Diversos programas e planos de ação foram desenvolvidos pelo governo americano nos últimos anos, segundo Milanez et al. (2015), o Renewable Fuel Standard (RFS), foi um dos principais programas federais que apoiaram os bicomcombustíveis de segunda geração. Originado no Energy Policy Act de 2005, e expandido pelo Energy Independence and Security Act de 2007, o RFS tinha como principal objetivo conceder apoio financeiro, isto é, a lei autorizava que incentivos, na forma de pagamento por galões de bicomcombustíveis celulósicos produzidos, fossem aplicados. Esses incentivos eram equivalentes à redução do preço de produção e, conseqüentemente, uma forma de aumentar o consumo, além de atrair a participação da iniciativa privada.

Outro programa de apoio que merece destaque é a Farm Bill, implantado inicialmente em 2002, com reformas no ano de 2008 e 2014, cujo principal objetivo é dar sustentação à economia de base agrícola. Esse programa busca estabelecer todas as cadeias produtivas à base de biomassa (NYKO et al., 2010).

É importante destacar que graças à pavimentação das antigas leis, o governo dos EUA conseguiu implantar novas políticas tecnológicas, conforme afirma Milanez et al. (2015), segundo o qual, o financiamento temático é amplamente usado pelo governo americano, assim, pode-se destacar vários departamentos responsáveis por elaborar e conduzir esses programas, entre eles, o Departamento de Energia (DOE) e o Departamento de Agricultura (USDA) são os que mais se destacam, quando se trata de financiamento temático.

O DOE, juntamente com o USDA, é responsável pelo Biomass Research and Development Initiative. Esse programa proporciona um auxílio financeiro para o desenvolvimento de projetos de pesquisas em bicompostíveis.

### 1.1.2 INCENTIVOS À PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

Com o intuito de se manter líder na produção de bicompostíveis, o Brasil inspirou-se no governo americano e buscou desenvolver seus próprios planos de ação e políticas de apoio à produção do etanol de segunda Geração.

Conforme ressalta Nyko et al. (2010), apesar do sucesso no desenvolvimento do etanol de primeira geração, o Brasil encontrará novos desafios para desenvolver a produção do etanol celulósico, logo, superar esses desafios é o primeiro passo para se ter uma produção eficiente de bicompostíveis de segunda geração.

Para Araújo, Navarro e Santos (2013), o Brasil apresenta vantagem em relação aos outros países. Assim, destacam-se dois fatores primordiais, o primeiro é a infraestrutura das usinas que já estão instaladas no país, e o outro fator refere-se ao custo da matéria prima, que por sua vez, já é gerada como coproduto na produção do etanol de primeira geração.

Em vista desses fatores, o Brasil criou o Sistema Nacional de Inovação em Etanol (SNI-ETANOL), o qual teve como base o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL). Esses programas foram responsáveis por colocar o Brasil no topo da cadeia produtiva. Segundo Nyko et al. (2010), nos últimos anos, o governo brasileiro vem seguindo dois caminhos em relação às pesquisas e desenvolvimento de bicompostíveis. O primeiro é a

criação de um ambiente institucional que garanta a continuidade dos investimento em ciência, enquanto que o segundo caminho refere-se à criação de novas instituições e à expansão das já existentes.

É importante destacar duas ações que foram criadas a partir desses programas. A primeira é o Plano Nacional de Agroenergia (PNA), desenvolvido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, cujo principal objetivo baseia-se em fornecer subsídios para guiar a formulação de novas políticas públicas. A segunda ação foi à criação do Plano de Ação e Ciência, Tecnologia e Inovação (PACTI), desenvolvido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, cujo principal objetivo é o desenvolvimento de processos de hidrólise enzimática de materiais celulósicos e lignocelulósico, como também a identificação de outros micro- organismos que possam aperfeiçoar a produção de etanol a partir da conversão da biomassa (NYKO et al., 2010).

Milanez et al. (2015) ressalta que as tentativas de apoio ao etanol de segunda geração ainda são descoordenadas. Procurando solucionar esse problema, tanto o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), quanto a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) criaram, em 2011, o Plano de Apoio à Inovação aos Setores Sucreenergéticos (PAISS). Esse plano buscou promover novas iniciativas para o desenvolvimento em temas específicos, com ênfase na conversão da biomassa em etanol e em outros produtos. Ainda seguindo esse segmento de políticas de financiamento temático, pode-se ressaltar a criação do Programa de Pesquisa em Bioenergia (BIOEN) da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), assim como o PAISS, cujo principal objetivo é estimular o desenvolvimento de atividades voltadas à produção de bioenergia no Brasil.

### 1.1.3 INCENTIVOS À PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO ESTADO DE GOIÁS

Segundo Ferreira et al. (2016), o Estado de Goiás é um dos estados que tem recebido os maiores investimentos no que diz respeito ao setor agrícola, e tais investimentos só são possíveis devido à qualidade da terra e às características topográficas. A região Sul do Estado de Goiás é a que recebe os principais investimentos, em específico, a Mesorregião do Sul Goiano, e dentro ainda dessa Mesorregião, destaca-se a microrregião Sudoeste Goiano.

Lunas (2014) afirma que as áreas destinadas à plantação de cana-de-açúcar em Goiás apresentam um aumento considerável nos últimos anos, isso representa um aumento também da instalação de novas usinas, sendo assim, destaca-se a microrregião do Sudoeste Goiano como a região que apresentou o maior aumento da área destinada ao cultivo da cana-de-açúcar.

Ferreira et al. (2016) ainda afirma que o crescimento das áreas para o cultivo da cana-de-açúcar tem feito com que as entidades do setor agrícola goiano preocupassem-se com a possibilidade de os efeitos negativos, a longo prazo, atingirem outras modalidades produtivas. O fator que leva a essas preocupações é a falta na diversificação produtiva, uma vez que é predominante a monocultura da cana-de-açúcar. Faz-se necessário aumentar os investimentos sobre os ganhos de produtividade para suprir a pressão sofrida pelo uso excessivo do solo.

Conforme citado anteriormente, para que isso se torne possível, é necessário investimentos na área de pesquisas e desenvolvimento, criação de políticas de apoio e incentivo de empresas privadas e públicas.

Recentemente, surgiu um novo grupo de bicompostíveis. Segundo Vidal (2016) os bicompostíveis de terceira geração são obtidos através de resíduos pós-consumo, como no caso gorduras e ácidos graxos de seres vivos, especificamente produzidos por micro-organismos. A princípio, essa biomassa era classificada como de segunda geração, porém, após estudos realizados, pode-se notar que mesmo utilizando menores quantidades, o rendimento obtido era expressivamente maior, originando-se, então, um grupo exclusivo para esses micro-organismos, destacando-se, ainda, a microalga como principal matéria-prima para a obtenção dos bicompostíveis de terceira geração.

## 1.2 MICROALGAS

O termo microalgas envolve um incrível e diversificado grupo de microrganismos que apresentam um metabolismo autotrófico fotossintético, ou seja, são organismos capazes de sintetizar matéria orgânica de reserva, a partir de carbono inorgânico. (PÔJO, 2016).

Conforme Vidal (2016), as microalgas podem ser caracterizadas como procarióticas, tanto no caso das cianobactérias (Cyanophyceae) e eucarióticas como no caso das algas verdes (Chlorophyta) e das diatomáceas (Bacillariophyta). Os elementos mais relevantes da composição química das microalgas, segundo Lopes (2014), são os carboidratos, as proteínas

e os lipídios, sendo os lipídios a principal matéria-prima para a obtenção do biodiesel, enquanto que para a fabricação de etanol são utilizadas as espécies de algas que apresentam uma alta produção de carboidratos.

Segundo Pôjo (2016), no ambiente em que as algas se encontram, o crescimento populacional é consequência da interação entre os fatores biológicos, físicos e químicos. Sendo os fatores biológicos, relacionados como inerentes às próprias espécies cultivadas. Enquanto os fatores físicos e químicos estão ligados principalmente à luz, à temperatura e aos nutrientes.

De acordo com Reis e Gouveia (2013), com o passar do tempo, a produção de microalgas vem sofrendo algumas mudanças no seu aspecto econômico. Por ocuparem uma posição chave na cadeia alimentar aquática, seu principal uso era para a alimentação, porém pretendeu-se que outras aplicações poderiam ser destinadas à produção de microalgas, como a utilização na medicina humana, tratamento de águas residuárias, biofertilizador e condicionador de solos para a agricultura, e, recentemente, detectou-se que pode ser utilizada como vetor energético na obtenção de bicombustíveis.

### 1.2.1 PROCESSOS PRODUTIVOS DAS MICROALGAS

De acordo com Lopes (2014), o processo de produção de bicombustíveis, a partir do cultivo das microalgas, engloba cinco etapas, que são o cultivo das microalgas, a colheita da biomassa, a extração dos compostos intracelulares, os processos para obtenção de biodiesel e bioetanol, e por último, a análise dos bicombustíveis.

De um modo geral, as microalgas podem ser cultivadas em sistemas abertos ou em sistemas fechados. Segundo Pôjo (2016), os sistemas de cultura abertos para a produção da biomassa microalgal são mais baratos, quando se trata de uma grande escala de produção, pois podem ser alocados em áreas onde não competem com as culturas agrícolas. Salientado por Paulo (2011), os sistemas de cultivo aberto são utilizados desde os anos 50 e são, geralmente, constituídos por canais de recirculação independentes, de modo que o CO<sub>2</sub> seja captado da atmosfera e a penetração da luz solar seja possível. Para isso, os tanques não podem ter grande profundidade e devem ainda apresentar grandes áreas superficiais, assim, faz parte ainda do sistema aberto, um mecanismo de rotação para realizar a mistura e rotação das microalgas, a fim de se evitar a sedimentação, proporcionando um crescimento adequado



juntamente com o aumento da produtividade. Por outro lado, Pôjo (2016) diz que os sistemas abertos apresentam riscos de contaminação elevados, estão sujeitos a mudanças meteorológicas e sazonais, bem como à falta de controle da temperatura e de CO<sub>2</sub>.

Os sistemas fechados mais conhecidos como fotobiorreatores são, segundo Azeredo (2012), caracterizados pelo controle de quase todos os parâmetros importantes para o cultivo das microalgas, além de apresentarem soluções aos problemas enfrentados pelos sistemas abertos. Contudo, não se pode descartar as dificuldades técnicas e operacionais que surgirão ao longo do desenvolvimento dessa cultura. Tal sistema visa atingir a máxima produção da biomassa microalgal, é composto por uma matriz de tubos retos, sempre seguindo a direção norte-sul, isso se deve ao melhor aproveitamento da iluminação solar. Existem diferentes tipos de fotobiorreatores, como por exemplo, os tubulares, planos e em colunas.

Conforme Paulo (2011), os fotobiorreatores não são utilizados para uma produção em larga escala de microalgas, devido ao seu alto custo de instalação, operação e manutenção. Por outro lado, os fotobiorreatores estão sendo cada vez mais utilizados para o desenvolvimento laboratorial, devido às vantagens citadas, como o controle de temperatura, CO<sub>2</sub>, pH e a luminosidade.

O processo de recuperação da biomassa consiste em uma ou várias etapas de separação sólido-líquido, sendo essa a etapa mais onerosa de todo o processo, representando cerca de 20 a 30% de todo o custo de produção. As técnicas mais utilizadas para a separação da biomassa são: filtração, centrifugação, floculação, flotação e sedimentação. Sendo que não existe um processo específico para todos os sistemas de produção, e após a aplicação desses processos, é necessário fazer a desidratação e/ou a secagem da biomassa para realizar o rompimento da parede celular e, conseqüentemente, a extração dos compostos intracelulares (VIDAL, 2016).

O processo de extração depende do componente a ser extraído, esse, por sua vez, depende das condições de cultivo, do processo de secagem/desidratação, do tipo de espécie cultivada, bem como da forma como a biomassa foi recuperada (AZEREDO, 2012).

Segundo Vidal (2016), os processos para o rompimento da membrana celular podem ser divididos entre físicos, chamado também de extração mecânica, que pode ser tanto por prensagem quanto por meio de ultrassom, e os meios químicos, estes, por sua vez, utilizam-se de solventes para a sua extração. Paulo (2011) ainda afirma que a membrana celular pode ser quebrada a partir de meios biológicos, especificamente da combinação de enzimas.

Para a obtenção dos bicompostíveis, dois caminhos diferentes devem ser seguidos. O primeiro, segundo Magro et al. (2016), é a hidrólise dos carboidratos com o intenção de formar açúcares mais simples; em seguida, esses açúcares são submetidos ao processo de fermentação para que ao final desse, tenha-se o bioetanol, o qual, por sua vez, deve ser concentrado e purificado por meio de destilação para que possa ser utilizado.

O outro caminho apontado para a obtenção de bicompostíveis, conforme Azeredo (2012), é o processo de transesterificação para a obtenção de biodiesel. Esse é realizado a partir de uma reação química, em que os lipídeos reagem a triglicerídeos e álcool, na presença de um catalisador que pode ser tanto ácido como básico. O autor ainda salienta que para que o biodiesel produzido a partir do cultivo de microalgas seja aceito tanto no mercado internacional como nacional, suas características físico-químicas devem estar dentro dos padrões nacionais e internacionais estabelecidos.

### 1.2.2 INCENTIVOS NO CENÁRIO INTERNACIONAL: A PRODUÇÃO DE BIOCOMPOSTÍVEIS UTILIZANDO MICROALGAS

A crescente demanda por bicompostíveis, oriundos do cultivo das microalgas, vem crescendo no âmbito do setor energético, e, conseqüentemente, o governo dos Estados Unidos despertou um forte interesse por essa energia sustentável. Segundo Lopes (2014), o desenvolvimento dos estudos de microalgas nos EUA teve início nos anos de 1978, por meio de pesquisas foi possível identificar o potencial desses microrganismos como matéria-prima para a produção de bicompostíveis. Graças às políticas públicas e ao aumento no preço do petróleo, foi possível desenvolver um ambiente favorável para que o desenvolvimento dos bicompostíveis se tornasse possível, surgindo, então, uma lei específica para esse tipo de bicompostível, a Lei de Independência Energética e Segurança (Energy Independence and Security – EISA). O objetivo dessa lei era reduzir o consumo de petróleo, proporcionando melhorias ambientais e o desenvolvimento da economia.

Apesar dos fortes investimentos em pesquisa e desenvolvimento feitos pelo governo americano, e do alto potencial apresentado por esses bicompostíveis às tecnologias, para uma produção acessível em larga escala e sustentável, ainda há muito o que se fazer, pois a ideia está longe de se concretizar.

Segundo Ziolkowska (2014), com os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, o governo dos EUA conseguiu mapear quais espécies de algas apresentam melhores condições para a produção de bicomcombustíveis. Foi possível, também, identificar as melhores condições de cultivo em diferentes regiões do estado americano.

Durante a última década, o consumo de diesel na Índia aumentou drasticamente, de acordo com Khan et al. (2009). A Índia consome cinco vezes mais diesel do que gasolina em relação a outros países. Partindo desse princípio, o país prevê a necessidade de desenvolver novos meios para a produção de diesel, e a alternativa mais viável é a produção de biodiesel a partir das microalgas, uma vez que o governo da Índia negou o uso das sementes oleaginosas como matéria-prima para a obtenção do biodiesel, devido ao crescente consumo de óleo comestível pela população e das grandes necessidades de importação desse produto.

A China encontra-se na terceira posição em relação à área ocupada e possui a maior população do mundo, e devido ao rápido crescimento econômico proporcionado por esses fatores, o consumo da matriz energética aumentou drasticamente nos últimos anos. O governo da China demonstra um forte interesse pelos biocombustíveis de terceira geração, tal fato é exposto por Lopes (2014), em que a autora alega que estudos para a produção de biocombustíveis começaram a ser desenvolvidos em 2001 e vêm ganhando cada vez mais a atenção dos pesquisadores chineses.

### 1.2.3 INCENTIVOS NO CENÁRIO NACIONAL À PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS, UTILIZANDO MICROALGAS

Como já apresentado anteriormente, o Brasil é considerado pioneiro no mercado dos bicomcombustíveis, tanto de primeira como de segunda geração. Segundo Lopes (2014) além da cana-de-açúcar e soja, outros tipos de biomassa estão sendo estudados para ajudar na produção de energia renovável no país, e dentre essas novas culturas, destacam-se o algodão, mamona, girassol, palma-de-óleo e, mais recentemente, as microalgas. O estudo das microalgas teve início em 2005 por algumas organizações institucionais. A princípio, as pesquisas eram dirigidas, objetivando as áreas nutricionais, econômicas e ecológicas.

Segundo Menezes et al. (2013), o estudo das microalgas, recentemente, tem tomado um caminho diferente, e devido às suas grandes concentrações de compostos químicos como os lipídeos e carboidratos, foi possível identificar um grande potencial para a produção de

biocombustíveis, potencial esse amplificado pelas condições climáticas do Brasil que favorecem e facilitam o cultivo das microalgas.

Em vista disso, algumas iniciativas de pesquisa e desenvolvimento ganharam destaque no cenário brasileiro. Segundo Lopes (2014), no Paraná, o estudo das microalgas teve início em 2009. Foi desenvolvido pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), cujo laboratório foi inaugurado em 2010 e, apesar da falta de equipamentos iniciais, suas atividades se iniciaram no ano seguinte com o objetivo de comercializar biodiesel a preços competitivos no mercado.

Diante de toda a potencialidade que o cenário brasileiro apresenta em relação ao cultivo de microalgas, algumas empresas tanto nacionais quanto internacionais estão investindo em estruturas para os sistemas de produção de microalgas. Um bom exemplo desses investimentos é a parceria firmada do grupo brasileiro JB com a empresa SAT da Áustria. O projeto desenvolvido pelas duas empresas é baseado na tecnologia de prismas solares capazes de concentrar a luz nos tanques de cultivo de microalgas para aumentar a produtividade de matéria-prima.

Outra empresa que merece destaque em relação aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento da produção de microalgas é a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), situada no Distrito Federal, e seus estudos iniciaram-se em 2012. O projeto desenvolvido pela empresa busca espécies de microalgas que apresentem um alto rendimento na produção de biocombustíveis. A Algae Biotecnologia Ltda, criada em 2009, a Petrobras e, recentemente, a Bunge que firmou parceria com a empresa americana Solazyme são outros exemplos de instituições que conduzem projetos para o desenvolvimento de biocombustíveis de terceira geração (LOPES, 2014).

Além do desafio de produzir em larga escala, outro fator que dificulta o desenvolvimento comercial dos biocombustíveis é a aprovação requerida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) para a distribuição e comercialização desses biocombustíveis. Como evidenciado anteriormente, as pesquisas referentes ao cultivo das microalgas, voltadas à produção de biocombustíveis, ainda se encontram em desenvolvimento no Brasil. São notáveis as vantagens apresentadas por essa terceira geração de biocombustível, porém ainda há muitas dúvidas relacionadas à viabilidade econômica da produção em comparação aos outros meios de produção de energia.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia utilizada no presente trabalho foi o estudo de caso que foi originado do levantamento de dados junto à literatura dos equipamentos e insumos necessários à instalação de uma unidade produtora de biomassa, oriunda de microalgas em uma cidade na região do sudoeste goiano.

Foram adotados padrões de produção pré-estabelecidos, também disponíveis na literatura e, de acordo com tais padrões, foram realizadas as coletas de dados pertinentes ao custo de implantação, fornecimento de matérias-primas e a escolha dos meios de cultivo mais viáveis para a execução do processo, bem como foi realizada a análise de custo anual equivalente. A partir dos resultados obtidos, será possível constatar a viabilidade da implantação da unidade que consta na situação especificamente simulada.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Segundo Souza et al. (2012), houve um aumento exponencial nas atenções voltadas à produção de bioetanol a partir de microalgas. Tal aumento se deve à facilidade que esses micro-organismos apresentam para adaptarem-se aos parâmetros a que são submetidos e também por apresentarem altas concentrações de amido e glicogênio.

Em estudo realizado por Chaves e Gomes (2012), foi feita a análise de quatro biocombustíveis direcionados ao setor de transportes (biodiesel, bioetanol, biodiesel de algas e H-Bio), utilizando o apoio multicritério à decisão, em que constatou-se que o bioetanol é o combustível mais adequado à produção, devido ao amadurecimento da tecnologia e benefícios ao meio ambiente. As tecnologias de produção de biocombustíveis são recentes e estão em pleno desenvolvimento, assim, ferramentas estatísticas como a adotada no trabalho citado auxiliam na tomada de decisão diante de um segmento novo e ainda pouco explorado.

Tais razões, juntamente com os estudos realizados por outros autores em relação à produção do biodiesel a partir das microalgas, influenciaram na escolha do bioetanol como objeto principal de estudo neste trabalho, de modo que a unidade produtora de biomassa, oriunda de microalgas, simulada neste trabalho, irá fornecer biomassa como matéria-prima a uma unidade produtora de etanol.

A região Sudoeste do estado de Goiás onde se localiza a unidade produtora representada neste trabalho apresenta um número significativo de usinas produtoras de etanol, usinas essas que utilizam a biomassa proveniente da cana-de-açúcar. Após a extração de açúcares da biomassa das algas, as etapas que se seguem à produção de etanol, assemelham-se às daquelas do etanol provenientes da cana-de-açúcar e envolvem a fermentação e destilação. Com o intuito de reduzir os custos da produção, a unidade relatada terceiriza tais etapas, as quais poderiam facilmente ser realizadas em usinas de álcool da região.

### 3.1 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE MICROALGAS

Os sistemas raceway ponds foram escolhidos por tratarem de sistemas mais baratos e mais fáceis de se operar, em relação aos outros sistemas de cultivo abertos. Esse sistema divide-se, basicamente, em três etapas: a construção das lagoas, a instalação do sistema de mistura e a instalação do sistema de abastecimento de CO<sub>2</sub> (AZEREDO, 2012).

Segundo Carmo (2012), não existe um método específico de recuperação da biomassa microalgal. Enquanto Azeredo (2012) salienta que a escolha do processo tecnológico para a colheita da biomassa depende dos aspectos técnico-operacionais, bem como do ponto de vista econômico. Levando em consideração essa premissa, Magro et al. (2016) revela que uma das melhores formas de se realizar a colheita da biomassa é por meio da floculação seguida, posteriormente, da centrifugação. Serão esses os procedimentos técnicos adotados para a colheita e recuperação da biomassa na planta descrita neste trabalho.

Em relação às técnicas de secagem, será adotado o processo de secagem ao sol, uma vez que esse apresenta custos menores do que as outras técnicas de secagem (LOPES, 2014).

De acordo com Magro et al. (2016), após o processo de colheita e secagem, a biomassa microalgal recebe um pré-tratamento, afim de romper a parede celular das microalgas. Segundo Souza (2012), os processos químicos são os mais utilizados no pré-tratamento, uma vez que apresentam menores custos e uma maior eficiência no processo de hidrólise. A hidrólise está interligada ao pré-tratamento, já que auxilia no rompimento da parede celular, podendo essa ser realizada de duas maneiras: hidrólise enzimática e a hidrólise ácida. O produto hidrolisado é submetido à fermentação por meio de micro-organismos conhecidos também como leveduras. Após a fermentação dos monossacáridos presentes no produto hidrolisado é que se obtém o bioetanol.

### 3.1.1 LAGOA DE CULTIVO

Foi realizado o levantamento de custos da implantação de cinco lagoas de cultivo de microalgas por meio de consultoria especializada em engenharia civil. As dimensões especificadas são descritas a seguir: cinco tanques de 2.000 m<sup>2</sup> e 0,2 m de profundidade. O material aplicado na construção foi tijolo, cimento e concreto. O projeto levou em consideração o preparo do terreno, impermeabilização, tubulação e o sistema de bombeamento. O valor da construção estipulado por tanque ficou em torno de R\$ 100.000,00, totalizando o custo de R\$ 500.000,00 para a construção das cinco lagoas de cultivo de microalgas.

### 3.1.2 USO DA VINHAÇA COMO MEIO DE CULTIVO

Segundo dados fornecidos por uma usina produtora de etanol, localizada na cidade de Quirinópolis no Sudoeste Goiano, são produzidos em média 100.000 kg de cana-de-açúcar por hectare. Após a extração da sacarose realizada por um difusor com eficiência aproximada de 98%, são obtidos 150 kg de açúcar por hectare de cana plantada que, posteriormente, serão transformados em 135 litros de etanol aproximadamente. Segundo Porfiro e Amorim (2012), para cada litro de etanol fabricado, é gerado 14 litros de vinhaça, sendo assim, um hectare de cana-de-açúcar gera em torno de 1.755 litros de vinhaça.

Melo e Silva (2004) aponta em sua literatura que o custo da vinhaça é de R\$ 514,02 por hectare de cana plantada, adotando o volume de 2000 m<sup>3</sup> das lagoas de cultivo, seria necessário um total de 2.000.000 l de substratos para a produção da biomassa. Para suprir essa necessidade, seriam necessários 1.140 hectares de cana-de-açúcar, totalizando um custo total de R\$ 585.982,80.

### 3.1.3 MICROALGA UTILIZADA PARA CULTIVO

A microalga utilizada para o cultivo é do gênero *Chlorella vulgaris*. Segundo Klein (2013), resultados satisfatórios foram obtidos para a utilização dessa alga na síntese de bioetanol. O levantamento de custo das cepas de microalgas foi solicitado a dois fornecedores, sendo que o menor valor obtido foi de R\$ 200,00 por inóculo de 50 mL. Do mesmo

fornecedor, será obtido o meio de cultura para a replicação inicial pelo custo de R\$ 50,00 por litro. Será adotado um estoque inicial de 1.000 inóculos, visto que, conforme Silva (2006), essa alga se adapta com facilidade a condições de cultivo não convencionais e tem alta capacidade de reprodução. É preciso levar em consideração que as cepas serão, inicialmente, cultivadas em substrato tradicional e, posteriormente, serão adaptadas ao cultivo com vinhaça. Para tanto, é sugerida a adoção de um estoque de 300 litros de meio de cultura para início das atividades produtivas. O custo inicial das algas seria, portanto de R\$ 215.000,00.

### 3.1.4 RECUPERAÇÃO DA BIOMASSA

A floculação é uma primeira parte para a recuperação da biomassa, e a utilização dos polímeros catiônicos é importante, pois esses se misturam com as células das microalgas, formando grânulos e facilitando, assim, a coleta da biomassa para a centrifugação. Segundo Carmo (2012), são necessários cerca de 0.75 g/L de floclulantes, e com base nessa quantidade e no volume dos tanques de decantação, estima-se necessários 1.500 kg de floclulantes para fazer a recuperação da biomassa. Foi fornecido pela empresa Y um valor de R\$ 35,00 por kg de polímero catiônico, totalizando um custo total de R\$ 52.500,00.

A recuperação de biomassa será realizada por meio de centrifugação. Tal método foi adotado em trabalho desenvolvido por Maroubo (2013), e o modelo sugerido pelo autor foi uma centrífuga específica para algas, estimada em aproximadamente R\$ 250.000,00. Como não houve resposta do fabricante em tempo hábil para a apresentação deste trabalho, será adotado esse valor, encontrado na literatura, para o equipamento de centrífuga, acrescido dos custos com bombeamento e tubulações, estimados por Azevedo (2012) em R\$ 125.000,00, totalizando R\$ 375.000,00.

### 3.1.5 HIDRÓLISE

A cotação do ácido sulfúrico para o processo de hidrólise foi feito com três fornecedores diferentes, sendo o primeiro da empresa A, que forneceu um valor de R\$ 72,37 por litro da substancia enzimática; a segunda empresa consultada foi a B, com um preço de R\$ 43,64 por litro e por fim a empresa C, a qual forneceu um valor de R\$ 182,00 por litro de ácido sulfúrico.



Adotando a concentração de  $300 \text{ g/m}^3$ , sugerida por Azeredo (2012), e sabendo que os tanques totalizam um total de  $2000 \text{ m}^3$  é possível estimar uma quantidade de 600.000 g de biomassa. Também, adotando um padrão de 50 ml de solução de ácido sulfúrico para cada 5g de biomassa, seria necessário um total de 6.000 litros de solução ácida. Levando em conta a concentração da solução ácida a ser utilizada no preparo da solução, serão utilizados 1,5 ml de ácido para cada 100 ml de solução, tornando assim, necessária a aquisição de 90 litros de ácido sulfúrico para o preparo da solução. Ao acolher o menor valor por litro de ácido sulfúrico, o gasto total para hidrolisar toda a biomassa produzida seria de R\$ 3.927,60.

Segundo Ho et al. (2012), em trabalho realizado com *Chlorella Vulgaris*, 12% da biomassa extraída corresponde a carboidratos fermentescíveis, assim ao adotar esse percentual para a biomassa extraída e considerando uma recuperação de  $300 \text{ g/m}^3$  de biomassa, conforme Azeredo (2012), será coletado 600 kg de biomassa, sendo, portanto 72 kg de açúcares. Assim, ao partir da relação de que 150 kg de açúcares correspondem a geração de 135 litros de etanol, serão produzidos 64,80 litros de etanol. Com base em dados relatados por Candido (2015), que cultivou *Chlorella Vulgaris* em condições que se assemelham às citadas neste trabalho, estipulou-se a taxa de crescimento celular de 1,5/ dia, portanto, a cada 24 horas, seriam gerados 900 kg de biomassa, equivalentes a 108kg de açúcares fermentáveis, originando uma produção diária de 97,20 litros de etanol em um hectare de área cultivada. Claramente, a produção é inferior à alcançada com a mesma área de cultivo de cana-de-açúcar, já que um hectare de cana-de-açúcar produz 135 litros de etanol, conforme dados obtidos de usina produtora de etanol do sudoeste goiano.

A inferioridade da produção é justificada por se tratar de uma tecnologia que ainda está em desenvolvimento, conforme citado anteriormente, ainda há muitos aspectos a serem avaliados e desenvolvidos para que se possa aumentar a produtividade de biomassa oriunda de microalgas.

### 3.1.6 CUSTO ANUAL EQUIVALENTE

Utilizando o método do custo anual equivalente foi possível apurar os custos fixos para a produção com base na Equação 1, estimando-se o tempo de duração desses bens (t) e usando o custo de capital (k), o qual representa a taxa de juros para aquisição de equipamentos em indústria.

$$CAE = \frac{\text{Custo fixo total}}{\left[ \frac{(1+k)^t - 1}{(1+k)^{10} * k} \right]}$$

O custo fixo total envolve a obra de construção das lagoas e equipamentos que serão usados como: bombas, tubulação e centrífuga e a soma desses custos totalizou R\$ 875.000,00. A taxa de juros (k) adotada foi de 15,74 % ao ano, e o tempo(t) estimado para a duração da estrutura e equipamentos de 30 anos. Logo, o custo anual equivalente das despesas fixas será de R\$ 179.291,86.

Estimou-se um custo total no valor de R\$ 1.732.401,40 para a instalação de uma unidade produtora de biomassa de microalgas em uma cidade do sudoeste goiano. Conforme Zardo (2011), o preço de comercialização da biomassa seca gira em torno de R\$ 10,89/kg, o que possibilita um retorno diário equivalente de R\$ 1.176,12 para a produção de biocombustíveis, com base nos dados de recuperação fornecidos por Azeredo (2012) e Ho et al. (2012).

## 4 CONCLUSÃO

Entre as possíveis alternativas para biocombustíveis renováveis, as microalgas, claramente, vêm ganhando destaque, fator esse devido a seu alto potencial de produção e das vantagens em comparação às outras culturas de biocombustíveis.

O presente estudo realizou a estimativa dos custos para a instalação de uma unidade produtora de biomassa oriunda de microalgas, em uma cidade do sudoeste goiano. Através da análise dos resultados obtidos é possível avaliar e afirmar a inviabilidade econômica do projeto, devido ao alto valor dos custos para a instalação da unidade produtora.

Ainda existem várias barreiras a serem superadas em relação a essa nova tecnologia, como por exemplo, o desenvolvimento de novas rotas de produção que apresentem custos menos onerosos em comparação aos atuais, bem como o desenvolvimento de novas cepas que contenham uma maior eficiência na produtividade. Uma possível alternativa encontrada para viabilizar essa nova tecnologia é o reaproveitamento de outros compostos celulares encontrados na biomassa microalgal.

Como sugestão para trabalhos futuros, deve-se avaliar a viabilidade econômica do projeto com o direcionamento da biomassa oriunda de microalgas para fins não energéticos,

como a comercialização para indústria farmacêutica, alimentícia e até mesmo para a irrigação e recuperação de solos degradados que, notadamente, agregam um maior valor ao produto, visando, futuramente, tornar essa nova tecnologia viável no âmbito econômico para a produção em larga escala.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, G. J. F.; NAVARRO, L. F. S.; SANTOS, B. A. S. *O etanol de segunda geração e sua importância estratégica ante o cenário energético internacional contemporâneo*. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 5, p. 1-11, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.17271/19800827952013492>
- AZEREDO, V. B. S. *Produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas: estimativa de custos e perspectivas para o Brasil*. 2012. 187 f. Tese (Mestrado em Programa de Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: [http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/ViniciusBarbosaSallesDeAzeredo.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/ViniciusBarbosaSallesDeAzeredo.pdf)> Acessado em: 19 de Maio de 2017.
- CANDIDO, C. *Cultivo de Chlorella vulgaris em vinhaça convencional e biodigerida tratada: uma abordagem ecofisiológica*. 2015. 70f. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7088/DissCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 24 de Outubro de 2017.
- CARMO, M. P. S. *Biodiesel de micro-algas: balanço energético e económico*. 2012. 103 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10773/10126>> Acessado em: 18 de Setembro de 2017.
- CHAVES, M. C. C. H.; GOMES, C. F. S. *Avaliação de biocombustíveis utilizando o apoio multicritério à decisão*. Produção (online). v. 24, n. 3, p. 495-507, 2014. Disponível em:< [http://www.scielo.br/pdf/prod/v24n3/aop\\_t6\\_0006\\_0768.pdf](http://www.scielo.br/pdf/prod/v24n3/aop_t6_0006_0768.pdf)>. Acesso em: 19 de Setembro de 2017.
- CHEN, P.; MIN, M.; CHEN, Y.; WANG, L.; Li, Y.; CHEN, Q.; WANG, C.; Wan, Y.; WANG, X.; CHENG, Y.; DENG, S.; HENNESSY, K.; LIN, X.; LIU, Y.; WANG, Y.; MARTINEZ, B.; RUAN, R. *Review of the biological and engineering aspects of algae to fuels approach*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, v. 2, n. 4, p. 1-30, 2009. Disponível em: < <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/200/104>> Acessado em: 21 de Março de 2017.
- DRAGONE, G.; FERNANDES, B. D.; ABREU, A. P.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A. *Nutrient limitation as a strategy for increasing starch accumulation in microalgae*: Applied Energy, v. 88, n. 10, p. 3331-3335, 2011. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.012>
- FERREIRA, L. C. O.; SILVA, R. F.; SILVA, A. O.; LIMA, D. A. L. L. *Expansão da produtividade da cana de açúcar no Estado de Goiás, destacando o Sudoeste Goiano*. In: Jornada Acadêmica da UEG, v. 5, n. 1, 2016, Santa Helena de Goiás. Disponível em: <<http://www.anais.ueg.br/index.php/jaueg/article/view/6314>> Acessado em: 30 de Abril de 2017.

GOLDEMBERG, J.; JOHANSSON, T. B. *World Energy Assessment Overview: 2004 Update*. United Nations Development Programme, 2004. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/12595/1/World%20Energy%20Assessment%20Overview-2004%20Update.pdf>> Acessado em: 21 de Março de 2017.

HO, S. H.; HUANG, S. W.; CHEN, C. Y.; HASUNUMA, T.; KONDO, A.; CHANG, J. S. *Characterization and optimization of carbohydrate production from an indigenous microalga Chlorella vulgaris*. FSP-E. doi:10.1016/j.biortech.2012.10.100. 2012.

KHAN, S. A.; RASHMI; HUSSAIN, M. Z.; PRASAD, S.; BANERJEE, U. C. *Prospects of biodiesel production from microalgae in India*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 13, n. 9, p. 2361-2372, 2009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.04.005>.

KLEIN, B. C. *Cultivo de microalgas para produção de bioetanol de terceira geração*. 2013. 128f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2013. Disponível em: <[repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266647/1/Klein\\_BrunoColling\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266647/1/Klein_BrunoColling_M.pdf)>. Acesso em 23 de Outubro de 2017.

LOPES, L.P.C. *Processo produtivo de microalgas para produção de bicomustíveis, um modelo para o Brasil*. 2014. 89 f. Dissertação de Mestrado Profissional em Produção – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://www.bdita.bibl.ita.br/tesesdigitais/67378.pdf>> Acessado em: 21 de Março de 2017.

LUNAS, A. L. *Benefício econômico do bagaço de cana-de-açúcar: um estudo no setor sucroenergético do sudoeste goiano*. 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/16987>> Acessado em: 30 de Abril de 2017.

MAGRO, F. G.; DECESARO, A.; BERTICELLI, R.; COLLA, L. M. *Produção de Bioetanol Utilizando Microalgas: Uma Revisão*. Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 37, n. 1, p. 159-174, 2016. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/19189/18102>> Acessado em: 21 de Março de 2017.

MAROUBO, L. A. *Estudo sobre a obtenção de biomassa microalgal como matéria-prima para a produção de biodiesel*. 2013. 102f. Trabalho de Conclusão de curso para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2389/1/LD\\_COEAM\\_2013\\_2\\_16.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2389/1/LD_COEAM_2013_2_16.pdf)> Acesso em 24 de Outubro de 2017.

MARQUES, F. *O alvo é o Bagaço*. Revista Pesquisa FAPESP. São Paulo, n. 163, p. 16-20, 2009. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2009/09/01/o-alvo-e-o-bagaco/>> Acessado em 25 de Abril de 2017.

MELO, A. S. S. A.; SILVA, M. P. *Estimando o valor de “externalidade positiva” do uso da vinhaça na produção de cana de açúcar: Um estudo de caso*. Ecoeco – Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/iv\\_en/ mesa4/2.pdf](http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/iv_en/ mesa4/2.pdf)> Acessado em: 20 de Outubro de 2017.

MENEZES, R. S.; LELES, M. I. G.; SOARES, A. T.; FRANCO, P. I. B. M.; ANTONIOSI FILHO, N. S. *Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel*. Revista Química Nova, São Paulo, v. 36, n. 1 p. 10-15, 2013. Disponível em:

<<http://submission.quimicanova.s bq.org.br/qn/qnol/2013/vol36n1/02-AR11976.pdf>>

Acessado em 21 de Maio de 2017.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOUSA, L. C.; BONOMI, A.; JESUS, C. D. F.; WATANABE, M. D. B.; CHAGAS, M. F.; REZENDE, M. C. A. F.; CAVALETT, O.; JUNQUEIRA, T. L.; GOUVEIA, V. L. R. *De promessa a realidade - Como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: Uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 41, p. 237-294, 2015. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4283>> Acessado em: 27 de Abril de 2017.

NYKO, D.; GARCIA, J. L. F.; MILANEZ A. Y.; DUNHAM, F. B. *A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, p. 5-48, 2010. Disponível em:

<<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2406>> Acessado em: 25 de Abril de 2017.

PAULO, V. P. F. *Optimização da produção de açúcares por microalgas para a produção de bioetanol*. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar) - Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em:

<<http://hdl.handle.net/10400.5/4100>> Acessado em 17 de Maio de 2017.

PORFIRO, S. A.; AMORIM, F. R. *Inventário de resíduos sólidos em uma Usina Sucroalcooleira do Sudoeste Goiano*. 2012. 15 f. Artigo (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2012. Disponível em:

<[http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/INVENTARIO%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20EM%20UMA%20USINA%20SUCROALCOOLEIRA%20DO%20SUDOES](http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/INVENTARIO%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20EM%20UMA%20USINA%20SUCROALCOOLEIRA%20DO%20SUDOESTE%20GOIANO.pdf)  
[TE%20GOIANO.pdf](http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/INVENTARIO%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20EM%20UMA%20USINA%20SUCROALCOOLEIRA%20DO%20SUDOES%20GOIANO.pdf)> Acessado em: 03 de Outubro de 2017.

PÔJO, V. I. N. C. *Seleção de microalgas com potencial de produção de biocombustíveis*.

2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) – Universidade do Minho, Braga,

2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/41436>> Acessado em: 16 de Maio de 2017.

REIS, A.; GOUVEIA, L. *Biorrefinarias de microalgas*. Boletim de Biotecnologia, Lisboa, n. 3, p. 28-29, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.9/2292>> Acessado em: 22 de Maio de 2017.

SAVALIYA, M. L.; DHORAJIYA, B. D.; DHOLAKIYA, B. Z. *Recent advancement in production of liquid biofuels from renewable resources: a review*. Springer Journals, Gujarat, 2013. doi: <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1231-z>.

SCHENK, P. M.; *Second generation biofuels: high-efficiency microalgae for biodiesel production*: Bioenergy research, v. 1, n. 1, p. 20-43, 2008. Disponível em: <Second

Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production> Acessado em: 21 de Março de 2017.

SILVA, F. *Biorremocão de nitrogênio, fósforo e metais pesados (Fe, Mn, Cu, Zn) do efluente hidropônico e através do uso de Chlorella vulgaris*. 2006. 87f. Dissertação de Mestrado-

Programa de Pós-Graduação em Agrossistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89482/233440.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em 23 de Outubro 2017.

SOUZA, M. P.;BJERK, T.R.; GRESSLER, P. D.;SCHNEIDER, R.C.S.; CORBELLINI, V. A.;MORAES, M.S.A. *As micro algas como uma alternativa para a produção de biocombustíveis Parte I: Bioetanol*. Tecno-Lógica, Santa Cruz do Sul, v. 16, n. 2, p. 108-116, 2012. Disponível em:  
<<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/3314/2395>> Acessado em: 18 de Setembro de 2017.

VIDAL, I. C. A. *Estudo da potencialidade de produção de biocombustíveis entre as microalgas Chlorella sp. e Scenedesmus sp. Cultivadas em águas residuárias*. 2016. 103 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016. Disponível em:  
<<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/11701>> Acessado em: 30 de Abril de 2017.

ZARDO, I. *Análise de viabilidade econômica da produção de biodiesel a partir de microalgas*. 2011. 42f. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em:  
<<http://hdl.handle.net/10183/38387>> Acessado em: 31 de Outubro de 2017

ZIOLKOWSKA, J. R.; SIMON, L. *Recent developments and prospects for algae-based fuels in the US*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 29, p. 847-853, 2014. doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.021>