



## Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v12n22018p386-410

Submetido em: 9 mar. 2018

Aceito em: 18 nov. 2018

---

## *Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense*

### **Stnio Gomes Oliveira**

Graduação em Química com atribuições tecnológicas. Cia Açucareira Paraíso – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil. E-mail: stnioliveira@yahoo.com.br.

### **Vicente de Paulo Santos de Oliveira**

Doutor em Engenharia Agrícola (UFV). Professor Titular do Instituto Federal Fluminense (IFF) – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil. E-mail: vicentedepaulosantosdeoliveira@yahoo.com.br.

### **Marco Antônio Cruz Moreira**

Doutor em Engenharia Elétrica (UFRJ). Professor Titular do Instituto Federal Fluminense (IFF) – Macaé/RJ – Brasil. E-mail: mcruzbr@yahoo.com.br

Este trabalho discute a viabilidade de integrar a produção de biodiesel – usando a soja como matéria-prima – com o etanol na região Norte Fluminense, visando buscar alternativas no reaquecimento da atividade sucroalcooleira regional. É avaliado o estágio atual do setor na região e sua potencial capacidade de moagem para a integração. O conhecimento da cadeia produtiva da soja e os aspectos técnicos da produção de biodiesel foram adquiridos através da bibliografia e visitas a unidades industriais. A análise da implantação em larga escala da rotação da cana-de-açúcar com a soja na região, base central da pesquisa, apresenta risco.

Palavras-chave: Biodiesel. Etanol. Rotação de culturas.





**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**  
.....

***Technical feasibility of integration of biodiesel production with ethanol plants in the northern region of Rio de Janeiro State***

This work discusses the feasibility of integrating the production of biodiesel - using soy as raw material - with ethanol in the northern region of Rio de Janeiro State. It aims to find alternatives in the recovery of the regional sugar-alcohol activity. The current stage of the sector in the region and its potential milling capacity for integration are evaluated. Knowledge of the soybean production chain and the technical aspects of biodiesel production were acquired through bibliography and visits to industrial units. The analysis of the large-scale implantation of sugarcane rotation with soybean in the region, the central base of the research, presents a risk.

Keywords: Biodiesel. Ethanol. Crop rotation.

***Viabilidad técnica de integración de la producción de biodiesel con planta de etanol en la región norte del estado de Río de Janeiro***

Este trabajo discute la viabilidad de integrar la producción de biodiesel, utilizando la soja como materia prima, con etanol en la región norte del estado de Río de Janeiro. Su objetivo es encontrar alternativas en la recuperación de la actividad regional de producción simultanea de azúcar y alcohol. Se evalúa la etapa actual del sector en la región y su potencial capacidad de molienda para la integración. El conocimiento de la cadena de producción de soja y los aspectos técnicos de la producción de biodiesel se adquirieron a través de bibliografía y visitas a unidades industriales. El análisis de la implantación a gran escala de la rotación de la caña de azúcar con la soja en la región, la base central de la investigación, presenta un riesgo.

Palabras clave: Biodiesel. Etanol. Rotación de cultivos.



Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

## 1 Introdução

A região Norte Fluminense (região NF) tem um extenso histórico econômico e social associado ao cultivo e industrialização da cana-de-açúcar, tendo os produtores regionais, no período de implantação do Programa Brasileiro do Álcool (PROÁLCOOL), usufruído das vantagens de financiamento e subsídio que o governo federal direcionou para catalisar a adesão ao programa. A queda no preço do petróleo no final dos anos 80, a retirada do subsídio ao etanol da cana e o baixo preço do açúcar no mesmo período encontrou um setor enfraquecido, que na região, já apresentava baixos níveis de produtividade agrícola e um setor industrial com tecnologia defasada, resultando no conjunto, em uma pequena capacidade de competição, que tem provocado ao longo dos anos 80 e 90, o encerramento das atividades da grande maioria das usinas de açúcar da região (SILVA; CARVALHO, 2004).

As consequências para a região foram o elevado nível de desemprego com o impacto em toda a cadeia produtiva, extremamente dependentes de uma única atividade agroindustrial, que durante seu domínio, chegou a responder pela geração de 70% da renda regional (SILVA; CARVALHO, 2004).

O etanol é um biocombustível alternativo à gasolina, quando em sua forma hidratada e complementar quando praticamente isento de água (conhecido como etanol anidro). Obtido a partir da cana-de-açúcar, tem uma participação socioeconômica na conjuntura brasileira bastante significativa, através da maciça geração de empregos que o segmento proporciona tanto na área agrícola e industrial da atividade quanto no setor de serviços (produtos químicos, mecânica e metalúrgicas, empresas de consultoria, etc.) vinculados às múltiplas necessidades do setor. Para atingir a produção de 50 bilhões de litros projetada para 2030 seriam necessários a criação de 750 mil postos de trabalho diretos e indiretos (UNICA, 2016).

O biodiesel é um biocombustível obtido de recursos renováveis podendo ser usado puro ou em mistura com o diesel, dependendo da aplicação. Para o transporte rodoviário, é usado misturado com o óleo diesel mineral na proporção de 8%, valor que passou a vigorar em 2017. É produzido a partir de óleo vegetal obtido de plantas oleaginosas e de gordura animal, sendo que no caso específico do Brasil, quase 75% a partir da soja (ANP, 2018).

Algumas de suas principais propriedades benéficas do ponto de vista ambiental são: a biodegradabilidade; apresenta baixos teores de enxofre e compostos aromáticos em sua composição; e durante sua combustão, emite uma quantidade menor de particulados. Suas características físico-químicas como combustível similar ao diesel lhe conferem uma plena garantia de utilização em motores diesel convencionais, apresentando desempenho e durabilidade equivalentes (ANGARITA *et al.*, 2012).

Com a pesquisa buscou-se fazer uma revisão sobre a tecnologia tradicional e matéria-prima para obtenção dos dois principais biocombustíveis líquidos que são utilizados no Brasil e no Mundo, o etanol e o biodiesel. Também apresenta uma revisão sobre a rotação de culturas, técnica indicada na recuperação de solos degradados com baixa produtividade. Avalia a área para maximização da produção de cana-de-açúcar na região NF, assim como o uso do etanol na integração dos processos. Determina o potencial regional para produzir biodiesel a partir da soja, a ser obtida utilizando a técnica de rotação com a cana-de-açúcar, visando uma integração da produção do biodiesel com o etanol.



Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

## 2 Revisão da literatura

### 2.1 Biocombustíveis

Nos últimos 40 anos, as matrizes energéticas brasileira e mundial sofreram mudanças significativas em sua estrutura, representadas pela participação das diversas fontes de energia primária, divididas em fontes não renováveis (petróleo, gás natural, carvão mineral e urânio) e renováveis (solar, eólica, biomassa e hidráulica). As oscilações no preço do petróleo a partir de 1973 motivaram a busca da diversificação das fontes de energia primária no Brasil, apoiada posteriormente pelo fato do uso das energias renováveis viabilizarem a redução da emissão dos GEE (especialmente o CO<sub>2</sub>). Uma consequência da busca pela diversificação é o nível de utilização atual dos biocombustíveis – bioetanol ou simplesmente etanol e biodiesel – que tem levado o Brasil a uma destacada posição no uso da energia renovável em comparação ao resto do mundo (BRASIL, 2014).

Existem diversas razões para que os biocombustíveis sejam considerados de extrema relevância tanto nos países industrializados quanto nos países em desenvolvimento, dentre as quais podem ser destacados: o panorama das reservas mundiais de petróleo que são economicamente recuperáveis; a segurança estratégica vinculada à independência energética; os aspectos ambientais positivos dos biocombustíveis ligados à menor emissão de gases do efeito estufa; baixa concentração de enxofre em relação ao óleo diesel; a economia de divisas dos países dependentes do petróleo importado; e as questões socioeconômicas relacionadas ao setor rural (DRAPCHO *et al.*, 2008).

De acordo com Atadashi *et al.* (2010), no final do século XX, os combustíveis fósseis eram responsáveis por mais de 85% de toda energia primária consumida no mundo e de quase 100% da energia utilizada mundialmente no setor de transportes, contribuindo para a emissão de grandes quantidades de poluentes para a atmosfera, incluindo os gases do efeito estufa (GEE).

### 2.2 A produção de etanol

O etanol é produzido nas usinas de açúcar em muitas partes do mundo, e em especial no Brasil, desde a década de 40, sendo considerado durante um grande período, como um produto residual no processamento da cana-de-açúcar, pois utilizava como matéria-prima, o melaço, tradicionalmente um subproduto da fabricação de açúcar.

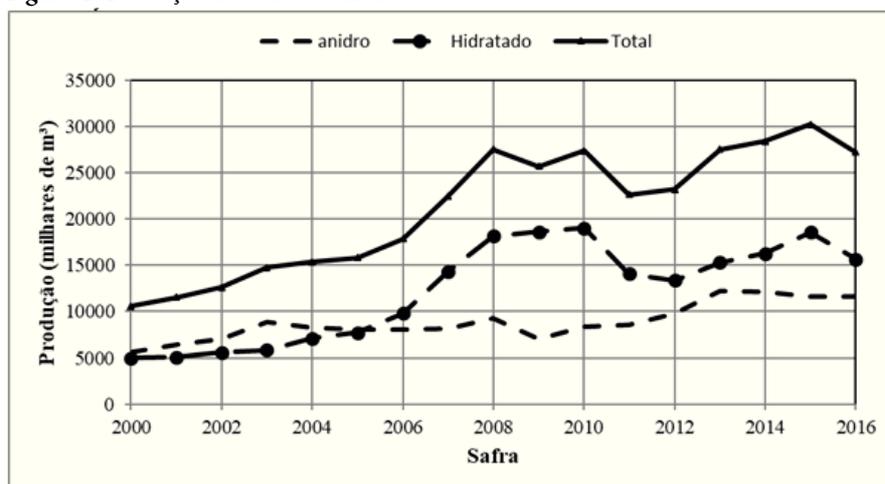
A crise do petróleo na década de 1970 serviu como base para o Programa Nacional do Álcool, denominado PROÁLCOOL, lançado e subsidiado pelo governo brasileiro com o objetivo de substituir parcialmente o uso da gasolina, e contribuir com a redução da dependência em relação ao petróleo importado (AZEVEDO, 2004).

Segundo Dias (2008), o Brasil era o maior produtor mundial de etanol até o ano de 2006, quando o crescente interesse em seu uso como aditivo da gasolina motivou um aumento da produção pelos Estados Unidos, que em 2007 atingiu 24,6 milhões de m<sup>3</sup> de etanol, enquanto no Brasil, a produção foi de 22,6 milhões de m<sup>3</sup> (ANP, 2016a).

Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

Figura 1. Produção de etanol no Brasil



Fonte: UNICA (2017)

No Brasil, a rota utilizada para produção de etanol é a fermentação de produtos contendo glicose e frutose, extraídas da cana-de-açúcar. O produto fermentado é posteriormente destilado e retificado para produzir etanol hidratado e adicionalmente desidratado, no caso de etanol anidro. Obtêm-se comercialmente, o álcool etílico hidratado carburante contendo em torno de 7 % de água, para utilização direta nos motores do ciclo Otto em substituição à gasolina, e o álcool etílico anidro com teor máximo de água de 0,7 %, utilizado atualmente na proporção de 27 % com a gasolina (SOUZA, 2010).

A intensa procura por biocombustíveis cuja matéria-prima não implique competição pelo uso da terra com a produção de alimentos, tem motivado as pesquisas e desenvolvimento direcionados aos materiais lignocelulósicos, abundantes na natureza e que contêm elevados teores de polissacarídeos na forma de celulose (40 a 60% da biomassa seca) e hemicelulose (20 a 40%) e também a lignina (10 a 15%), resíduo do processo que é aproveitado para produção de energia. Esses polissacarídeos podem ser hidrolisados e transformados em açúcares simples, que por fermentação produzem o bioetanol. Essas novas tecnologias são denominadas de segunda geração. Para a produção de bioetanol, podem ser utilizados o bagaço de cana, a palha de arroz, resíduos florestais, serragem e outros. As tecnologias de segunda geração podem triplicar a produção de etanol por hectare de cana plantada (PERDICES *et al.*, 2012).

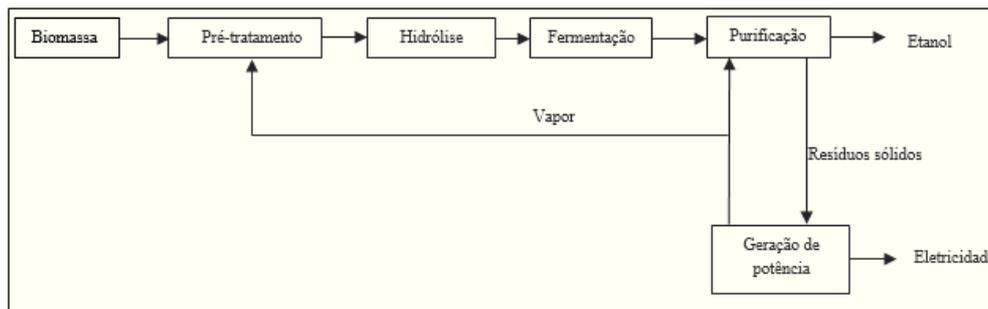
Segundo Perdices *et al.* (2012), o etanol produzido usando a rota da hidrólise ácida poderia reduzir a emissão de gases do efeito estufa em até 70%. O processo de uma forma geral segue a configuração da Figura 2.



Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

Figura 2. Etanol de 2ª geração



Fonte: Perdices et al. (2012)

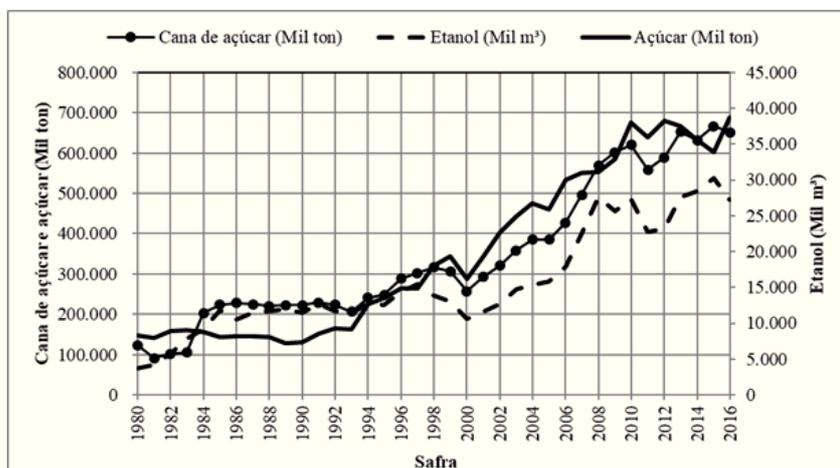
Atualmente a tecnologia de segunda geração desenvolvida para produção de etanol no Brasil está sendo reavaliada quanto a etapas específicas do processo, em especial o pré-tratamento, que não atingiu o desempenho esperado.

### 2.3 A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar chegou ao Brasil ainda no início do século XVI e se tornou uma das mais importantes culturas do país. Tem como característica a adaptação a climas quentes com boa luminosidade e escassez de água, sendo cultivadas em climas tropicais e subtropicais.

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil mais do que duplicou na primeira década após a criação do PROÁLCOOL em 1975. Após um período de estagnação do setor em função da queda do preço do petróleo, entre 1987 e 1993, o aumento das exportações de açúcar provocou novo crescimento no cultivo de cana, que foi desacelerado entre 1998 e 2001, e retomado principalmente a partir de 2003 com o lançamento do veículo flex no país (NOVACANA, 2013).

Figura 3. Evolução do setor sucroalcooleiro no Brasil



Fonte: UNICA (2017)



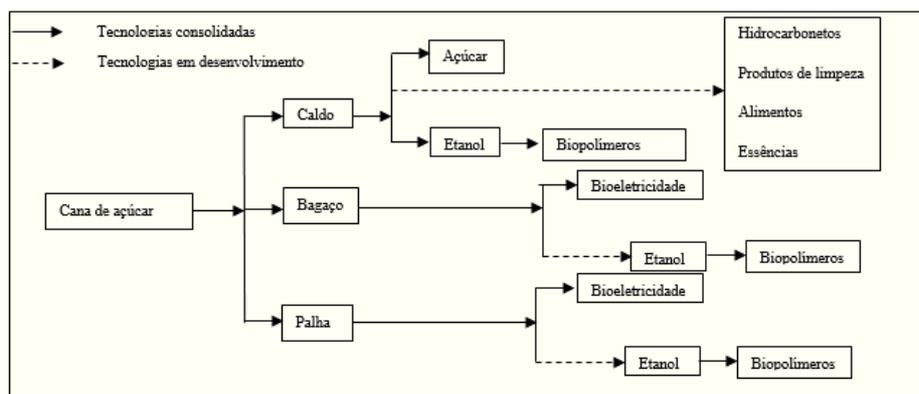
Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

2.3.1 A cadeia produtiva da cana-de-açúcar

Apesar da base atual do setor se sustentar na oferta de etanol, açúcar e energia elétrica, novos produtos têm surgido com as inovações, desde a produção de plásticos até produtos conhecidos como de segunda e terceira geração tecnológicas. As tecnologias de segunda geração processam os açúcares concentrados na celulose e os de terceira geração têm como objetivo a transformação de carboidratos em hidrocarbonetos verdes. A Figura 4 mostra a estrutura simplificada das tecnologias já consolidadas e em desenvolvimento.

Figura 4. Principais produtos derivados da cana-de-açúcar



Fonte: Adaptado de Jank (2012)

2.3.2 Fase agrícola da cultura de cana-de-açúcar

O plantio é a etapa que compreende as operações para preparar adequadamente o solo e envolve a aração, a gradagem e outras atividades para movimentação do solo (PATERNIANI, 2001).

Souza (2010) afirma que a colheita está sofrendo uma mudança radical, por força da legislação federal e estadual que proíbe a queima da cana e está em implantação, seguindo cronogramas prévios estabelecidos nas diversas regiões do país. O sistema tradicional tem sido de colheita manual da cana inteira com queima prévia do canavial, e o novo sistema é o de colheita mecanizada de cana picada sem queima do canavial.

A evolução no transporte de cana tem ocorrido basicamente com o objetivo de redução de custos e para adaptação às mudanças no sistema de colheita. Devido ao caráter perecível da cana após ser cortada, o seu transporte para a unidade industrial deve ser realizado em até 48 horas. Marques (2009) ressalta que além da perda de qualidade, os custos do transporte elevados justificam todo cuidado com esta operação. Portanto, o planejamento logístico e o raio médio do transporte por impactarem de maneira tão decisiva nos custos, podem reduzir a viabilidade do processo.

#### 2.4 A técnica de rotação de culturas de soja e cana-de-açúcar

A produção da cana-de-açúcar tem sido praticada sem grandes variações por muitos séculos, mesmo nos centros desenvolvidos. No entanto, outros processos, já considerados bem-sucedidos, como o cultivo mínimo e o plantio direto, substituem com vantagens o sistema convencional cujo tráfego de colheitadeiras e de veículos de transporte compactam o solo. No sistema de cultivo mínimo, o preparo do solo é concentrado na linha de plantio. Comparado ao sistema convencional, o cultivo mínimo reduz a erosão, o uso de máquinas e implementos e diminui o consumo de combustíveis (NOVACANA, 2013).

Paterniani (2001) cita que no plantio direto não ocorre movimentação do solo, como aração e gradagem, sendo o semeamento feito direto no solo. Considera como vantagens do plantio direto, a menor erosão e compactação do solo, o aumento da disponibilidade de água, o aumento de matéria orgânica do solo e redução dos custos de produção.

Basicamente, o plantio direto é um sistema onde a palha e os restos vegetais são deixados na superfície do solo após a colheita. Uma das exigências fundamentais para consolidar o sistema de cultivo mínimo é a prática da rotação de culturas (ANDRÉ, 2009).

O ciclo de cultivo da cana pode ser de 18 meses, onde após a última colheita, a área fica em repouso por diversos meses ou pode receber uma cultura de rotação com o objetivo de fixar nitrogênio no solo. O outro sistema de plantio é o de 12 meses (apenas 20% desta opção é utilizada), colhida anualmente, mas apresentando produtividade mais baixa (NOVACANA, 2013).

Segundo Lopes (2012), no sistema de dezoito meses, a cana é plantada entre janeiro e março, período considerado ideal devido às condições adequadas de umidade e temperatura, possibilitando uma brotação rápida. Após o primeiro corte, a cana passa a ter um ciclo de doze meses e é denominada de cana-soca.

Santos (2010) afirma que as usinas renovam em torno de 20% do canavial por ano e a cada cinco anos pode-se fazer uma rotação com a soja e o amendoim. A reforma do canavial é um processo necessário de descanso do solo, devido à exaustão de nutrientes após anos de ininterruptos cortes, que acabam resultando na queda de produtividade ao longo das safras (PEREIRA *et al.*, 2015).

De acordo com Pereira *et al.* (2015), essa renovação pode ser realizada de várias formas, podendo ser feita de imediato com novo plantio da cana-de-açúcar, com a adoção do sistema de pousio ou com a implantação da rotação de cultura. A escolha é dependente do retorno financeiro e da melhoria físico-química do solo.

A rotação de culturas é a alternância de diferentes culturas realizadas regularmente em uma mesma área, efetuada segundo planejamento que leve em consideração fatores como a cultura predominante na região onde será realizada a rotação, além de variáveis ambientais como temperatura, nível de precipitação e outras que servirão como base para decidir a cultura adequada para integrar o sistema de rotação (SANTOS; REIS, 2001).

De acordo com CONAB (2016), a reforma do canavial reduz anualmente cerca de 20% da área total destinada ao plantio da cana-de-açúcar representando na safra 2014, nove milhões de hectares. Uma grande proporção desta área permanece em pousio nos períodos (primavera e verão) onde o solo se encontra mais suscetível à degradação.



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

A rotação de culturas preenche a lacuna desse período improdutivo economicamente para o produtor, representando ainda oportunidade para geração de mão de obra e do ponto de vista ambiental, proteger o solo de inúmeros eventos climáticos desfavoráveis. Além disso, a prática deve ser viável economicamente, de fácil administração, e resultar em benefícios à cultura principal. Estudos já realizados comprovaram aumento de produtividade para a cana-de-açúcar constante até o terceiro corte e que as alternativas para a rotação mais promissoras são o girassol, a soja e o amendoim (SALOMÉ *et al.*, 2007).

Como aspecto negativo, a rotação é uma atividade que demanda fatores de natureza tanto técnica quanto operacional e financeira por envolver o planejamento da lavoura no que se refere a variedades, área de colheita e do volume de cana necessário para atendimento da área industrial (BORBA; BAZZO, 2009 *apud* PEREIRA *et al.*, 2015)

A soja, além de representar uma oportunidade de maximizar a ocupação da terra, permite o controle de ervas daninhas e realiza a fixação biológica de nitrogênio no solo, reduzindo o custo da produção da cana-de-açúcar. A viabilização do uso da soja em sistema de rotação com a cana-de-açúcar requer um bom desempenho do cultivar da soja, com boa adaptação às condições de solo e clima que implique boa produtividade e ciclo que não provoque interferência com o plantio da cana-de-açúcar (PEREIRA *et al.*, 2015).

Pereira *et al.* (2015) descrevem alguns estudos de caso em usinas de distintas regiões do Estado de São Paulo, grandes produtoras de cana-de-açúcar, e discute as motivações que levam cada empresa a escolher que cultura será usada na rotação. Uma usina localizada em Piracicaba, sem tradição no cultivo de soja, realiza a rotação em 20% da área total com amendoim e cobertura verde, adotando a terceirização. A adoção do amendoim tem apresentado vantagens econômicas com a receita obtida e a economia com o custeio de preparo do solo e também a consequente conservação do solo. Outra empresa, sediada em Ribeirão Preto, tradicional produtora de soja, realiza a rotação com soja em 10% da área total, de forma própria. A opção pela soja deve-se fundamentalmente à tradição regional e ao grande conhecimento da cultura. Os resultados com a soja têm sido um aumento de 10% na produtividade nos primeiros dois anos e a reforma só é realizada desde que não atrapalhe a cultura de cana.

## 2.5 As exigências climáticas da soja

A água corresponde a aproximadamente 90% do peso da planta, sendo de grande importância principalmente nas fases de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos. A necessidade total de água para obtenção do máximo rendimento, variável entre 450 a 800 mm/ciclo, depende das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Durante o desenvolvimento da cultura a necessidade de água aumenta até atingir o máximo na fase de floração/enchimento de grãos (7 a 8 mm/dia), para em seguida decrescer (EMBRAPA, 2001).

A soja se adapta bem a temperaturas do ar entre 20 °C e 30 °C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30 °C. A temperatura do solo adequada para semeadura varia entre 20 °C e 30 °C, sendo 25 °C a temperatura ideal. A adaptação de diferentes cultivares a determinadas regiões depende das exigências hídricas, térmicas e do



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

fotoperíodo. Cada cultivar tem um valor crítico de sensibilidade ao fotoperíodo, que uma vez ultrapassado provoca o atraso do florescimento da cultura (EMBRAPA, 2010).

**2.6 O biodiesel e as matérias-primas utilizadas em sua produção**

Os aspectos ambientais e econômicos relacionados com o uso maciço e indiscriminado dos combustíveis fósseis e suas consequências já de bastante visibilidade tem motivado a implantação de programas de substituição dos combustíveis tradicionais por fontes alternativas (RAMOS *et al.*, 2011).

Na área de transportes a meta é substituir 10% dos combustíveis líquidos de origem fóssil como a gasolina e o óleo diesel, por biocombustíveis que assumem desta forma, uma grande importância ambiental devido à mitigação do efeito estufa e a redução da emissão de outros poluentes (ANGARITA *et al.*, 2012).

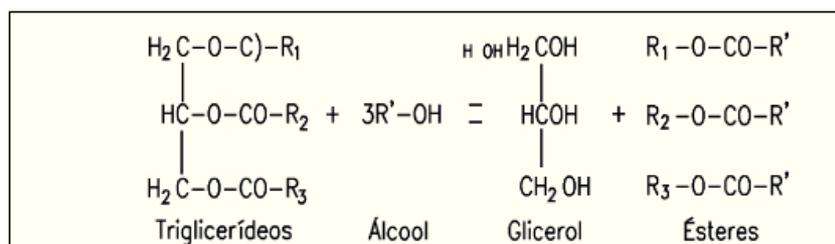
Segundo Moura (2010), óleos vegetais e gordura animal são misturas de ésteres de ácidos graxos e glicerina, denominados de triacilgliceróis ou triglicerídeos. Nos óleos predominam os ácidos graxos insaturados e nas gorduras, os ácidos graxos saturados. Apresentam inúmeros contaminantes como ácidos graxos livres, fosfatídeos, carotenoides, tocoferóis, terpenos, água e outras impurezas que podem totalizar quantidades acima de 5%.

Os óleos vegetais ou gorduras foram exaustivamente experimentados como combustíveis ao longo do século XX, mas devido a algumas propriedades físico-químicas indesejadas (baixo número de cetano, elevada viscosidade e baixa volatilidade) e a formação excessiva de depósitos durante a combustão, essa opção foi abandonada (RAMOS *et al.*, 2003).

De acordo com Suarez e Meneghetti (2007), uma das transformações químicas de óleos e gorduras em substâncias que possam efetivamente ser utilizadas como combustíveis com propriedades similares ao diesel fóssil é o craqueamento térmico ou a pirólise de óleos, que implica a conversão de um composto orgânico em outro utilizando elevadas temperaturas em baixas concentrações de oxigênio na presença ou não de catalisadores.

Outra rota possível é a reação de transesterificação na qual os triglicerídeos reagem com álcoois na presença de um catalisador alcalino, originando ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerina como coproduto (10% do peso de biodiesel obtido) (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

**Figura 5. Representação da reação de transesterificação**



Fonte: Nascimento *et al.* (2006)



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

Segundo Angarita *et al.* (2012), o processo de produção de biodiesel adotado em todo o mundo é a transesterificação com metanol usando catálise alcalina, considerado mais simples e econômico. Mesmo com a reconhecida viabilidade do etanol como reagente efetivo do processo de transesterificação, especialmente no Brasil, devido a sua grande disponibilidade e a seu caráter renovável e ambientalmente adequado, o metanol continua dominante. O metanol é produzido através da rota petroquímica, o seu uso reduz o caráter renovável do biodiesel e, além disso, é importado e altamente tóxico (SUAREZ, 2008).

A reação do triglicerídeo com álcool é reversível e para obtenção de alto rendimento do biodiesel, o deslocamento do equilíbrio da reação tem que ser direcionado para a formação do produto. Para isto, utiliza-se álcool em excesso com relação ao valor estequiométrico, independente de ser metanol ou etanol. No caso do metanol, a razão molar é menor por causa de sua maior reatividade (molécula de menor tamanho e de maior polaridade). Outra vantagem do uso do metanol é a facilidade de separação do meio reacional ao final da reação que é muito simples, ao passo que o etanol apresenta a tendência de formar emulsões, devido ao teor de água mais elevado, o que acaba dificultando a separação e aumentando os custos (SUAREZ, 2008).

Angarita *et al.* (2012) citam que a rota etílica é bem mais complexa, sendo a velocidade da reação mais lenta mesmo com temperatura maior, e resultando em uma mistura reacional contendo uma maior quantidade de produtos provenientes de reações paralelas indesejáveis a serem eliminados e apresentando maior dificuldade para a separação de fases. Resultados comparativos em relação ao uso de insumos em ambos os casos, uso de metanol e etanol, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Insumos para produção de biodiesel pelas rotas metílica e etílica**

Material	Unidade	Metanol	Etanol
Biodiesel	kg	1.000	1.000
Óleo neutro a seco	kg	1.000	970
Glicerina	kg	117	116
Etanol hidratado	kg	-	154
Álcool reagente	kg	96,6	295
Metilato de sódio	kg	20	35
Água de processo	kg	50	50
Energia elétrica	kW	10	21
Vapor	kg	250	450
Água de resfriamento	MJ	607	1076
Ar comprimido	Nm <sup>3</sup> /h	6	8

Fonte: Angarita *et al.* (2012)



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

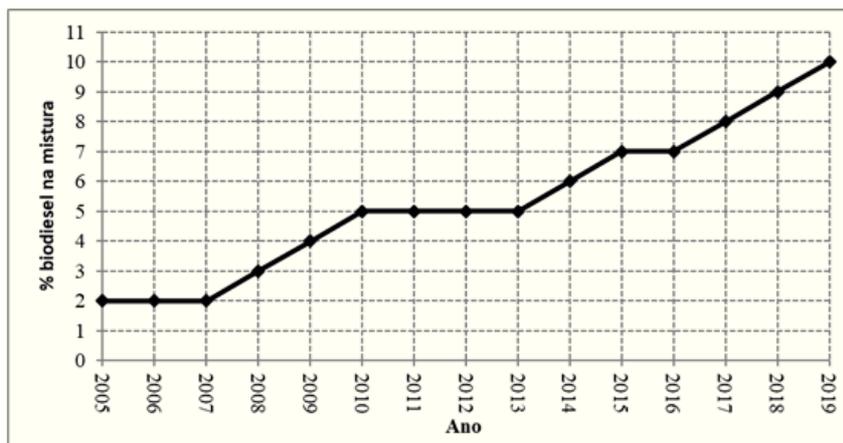
**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

Segundo Suarez e Meneghetti (2007), uma terceira forma para produção de monoésteres de ácidos graxos é a esterificação, pela qual um ácido graxo livre reage com um monoálcool em presença de catalisador ácido.

A esterificação tem sido utilizada em combinação com a transesterificação para aproveitamento de matérias-primas de baixa qualidade e também de subprodutos de alguns processos (RAMOS *et al.*, 2011).

De acordo com Ramos *et al.* (2011), na América Latina, o Brasil é o pioneiro na utilização de biocombustíveis, tornando a mistura de etanol a gasolina obrigatória em 1938 e posteriormente em 1993. O Programa Nacional de Produção e Uso do biodiesel (PNPB) foi lançado no Brasil em 2004, e o biodiesel foi introduzido de forma obrigatória na matriz energética brasileira em 2005, com a mistura de 2% ao diesel convencional. Em 2014, foram autorizados dois aumentos na proporção utilizada atingindo o valor de 7%. A lei 13.623/2016 determinou um programa de crescimento anual de 1% na proporção do biodiesel na mistura com o diesel, iniciando em 2017 até atingir 10% em março de 2019 (ANP, 2018).

**Figura 6. Crescimento realizado e previsto para o teor de biodiesel no Brasil**



Fonte: ANP (2018)

O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer óleo vegetal, porém uma série de fatores restringe esta escolha, que torna a decisão uma questão regionalizada. Algumas das restrições que influenciam a escolha da matéria-prima são: econômica; tecnológica; pouca disponibilidade e/ou baixa produtividade local da cultura; existência de propriedades indesejadas da matéria-prima, o atendimento às especificações do produto final; e também a baixa qualificação da mão de obra (RAMOS *et al.*, 2011).

Os métodos tradicionais para obtenção de óleo a partir dos grãos são: o mecânico através da prensagem ou da extrusão, e o baseado na distribuição ou solubilidade do óleo em um solvente orgânico, sendo neste caso utilizado, o n-hexano. Quase a totalidade das unidades processadoras de óleo do Brasil, se baseia na extração usando o n-hexano.

No Brasil, alguns fatores favoreceram a adoção ampla da soja como principal matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel, especialmente a experiência já existente no seu



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

cultivo e as condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da cultura. O perfil nacional de matérias-primas da Tabela 2 mostra o sebo bovino como a segunda opção de matéria-prima mais utilizada no país, sendo o Sudeste, que segundo o boletim produziu 48% de biodiesel a partir do sebo, a região que o usa de forma mais ampla (ANP, 2016b).

**Tabela 2. Distribuição (%) de matérias-primas por regiões na produção de biodiesel**

Matéria-prima	Região				
	Norte	Nordeste	Centro Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de soja	65,09	58,71	85,60	41,94	74,12
Gordura bovina		27,4	9,45	48,03	20,70
Óleo algodão		6,99	1,53		
Outros Mat. graxos	34,89		1,71	2,00	2,50
Óleo fritura usado	0,03	0,12	0,07	5,84	0,12
Gordura porco					2,56
Gordura frango					
Óleo palma/dendê		6,78	1,64	2,19	

Fonte: ANP (2016b)

### 3 Material e Métodos

Como parte essencial do procedimento metodológico foram realizadas visitas técnicas a unidades produtoras de biodiesel, visando o conhecimento das práticas industriais que são adotadas no controle de qualificação da matéria-prima e no processamento tanto da produção do óleo de soja como da própria produção do biodiesel.

Apresenta e discute a viabilidade de utilização da soja na reforma de canaviais na região usando como subsídio o zoneamento de áreas de reforma de cana para produção de biocombustíveis na região Centro-Sul.

Avalia de forma qualitativa, a viabilidade de unidades produtoras de bioetanol na região NF atuarem como um polo produtor de biocombustíveis baseado na necessidade de preencher as lacunas deixadas pela queda na produção de cana-de-açúcar local.

Portanto, os aspectos regionais utilizados como referenciais para a proposta de integração da produção de bioetanol e biodiesel são:

- A região tem tradição e uma experiência consolidada na produção de bioetanol usando a cana-de-açúcar como matéria-prima. O bioetanol é um potencial reagente do processo de transesterificação, reação usada para a produção do biodiesel.

- Historicamente, as produtividades agrícolas regionais no cultivo da cana-de-açúcar são muito baixas. A rotação de culturas, p. ex. cana com soja, no período de reforma dos canaviais permite ganhos de produtividade da cultura principal (cana-de-açúcar) e com a produção simultânea de outra cultura, agrega renda a atividade.



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

- Considerando a quantidade de cana-de-açúcar que seria capaz de suprir as necessidades de capacidade plena das unidades de açúcar e etanol atualmente em operação na região – usando as áreas agricultáveis disponíveis e ainda não sistematizadas com outras atividades – realizar a avaliação do potencial de produção do biodiesel de soja a ser obtido com o processo de rotação com a cana.

- Avaliar o aproveitamento do etanol produzido pelas usinas como reagente na produção de biodiesel. As usinas de etanol também usam utilidades industriais comuns (água, vapor de água, energia elétrica, ar comprimido, etc.) a maioria de outros processos produtivos.

### 3.1 O setor sucroalcooleiro na região Norte Fluminense

A região Norte Fluminense é formada por nove municípios (Campos dos Goytacazes, São João da Barra, Macaé, São Fidélis, Conceição de Macabu, Quissamã, Cardoso Moreira, Carapebus e São Francisco de Itabapoana), sendo a cidade de Campos dos Goytacazes, o município de maior população e no auge da atividade sucroalcooleira, o principal centro produtor regional. A Tabela 3 apresenta o perfil da quantidade e produção das usinas na região a partir de 1965. Vale destacar que em 1973, houve uma produção recorde de açúcar de 12 milhões de sacos, enquanto o recorde de moagem ocorreu em 1988 com o esmagamento de 8 milhões e 900 mil toneladas (CASTRO, 2011).

**Tabela 3. Usinas e Destilarias da região Norte Fluminense**

	Safr									
	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2000	2005	2010	2015
Usinas	28	26	18	17	16	15	9	7	2	2
Destilaria	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1
Moagem (mil ton)	5.304	5.398	5.384	6.604	8.508	4.592	3.935	4.822	2.026	1.066
Açúcar (mil scs)	9.569	9.749	10.813	8.665	8.675	5.619	6.153	5.753	2.365	0
Álcool (m <sup>3</sup> )	53.213	44.421	55.162	129.842	280.637	100.189	99.155	138.662	49.274	58.657

Fonte: Castro (2011); CONAB (2016)

Após a grande crise que atingiu o setor sucroalcooleiro e as reestruturações realizadas na região, existem atualmente três unidades industriais em operação:

Usina Sapucaia – após cinco anos fora de operação retomou suas atividades em 2015, viabilizada pela transferência do material e dos funcionários da Usina São José da Cooperativa Agroindustrial do Estado do Rio de Janeiro (COAGRO), devido à dificuldade de sua expansão pela proximidade com a área urbana. A usina tem capacidade atual instalada produzir 500 m<sup>3</sup>/dia de etanol e para esmagar dois milhões de toneladas de cana por safra.



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**  
.....

Cia Açucareira Paraiso – Possui capacidade para processar 250 toneladas de cana por hora. Considerando um tempo útil de safra de 85% durante 180 dias, resulta em uma potencialidade para moer novecentos mil toneladas anuais. Capacidade atual para produção de etanol hidratado de 180 m<sup>3</sup>/dia.

Destilaria Canabrava – É uma usina autônoma que teve sua safra teste em 2010. É dedicada à produção de etanol hidratado (500 m<sup>3</sup>/dia) e geração de energia elétrica, negociada com o Sistema Integrado Nacional, com capacidade fiscalizada de 44.000 kW como produtora independente de energia (ANEEL, 2016).

Sua capacidade de moagem horária é 300 toneladas de cana o que permite em uma safra com duração convencional de seis meses e um aproveitamento de tempo de 85%, um processamento de 1,1 milhão de toneladas de cana.

### *3.2 Visitas técnicas a empresas ligadas à área de biodiesel*

Para conhecimento e melhor avaliação dos problemas ligados à cadeia produtiva do biodiesel foram realizadas visitas técnicas a duas empresas produtoras localizadas no interior de São Paulo.

Em uma das empresas, a escolha se deu em função de ela possuir um sistema de esmagamento e de beneficiamento do óleo de soja, o que pode mostrar aspectos interessantes na questão da escolha entre utilizar o óleo de soja direto como matéria-prima ou esmagar a soja e fazer o tratamento do óleo para seu uso na reação de produção do biodiesel. A região também é tradicional produtora de soja em rotação com a cana-de-açúcar.

A segunda empresa visitada usina entrou em operação no final de 2009 com aproximadamente 25 milhões de litros de capacidade instalada, valor mantido atualmente. A usina dispõe de uma unidade de bidestilação de glicerina, o que melhora as características desse coproduto do processo.

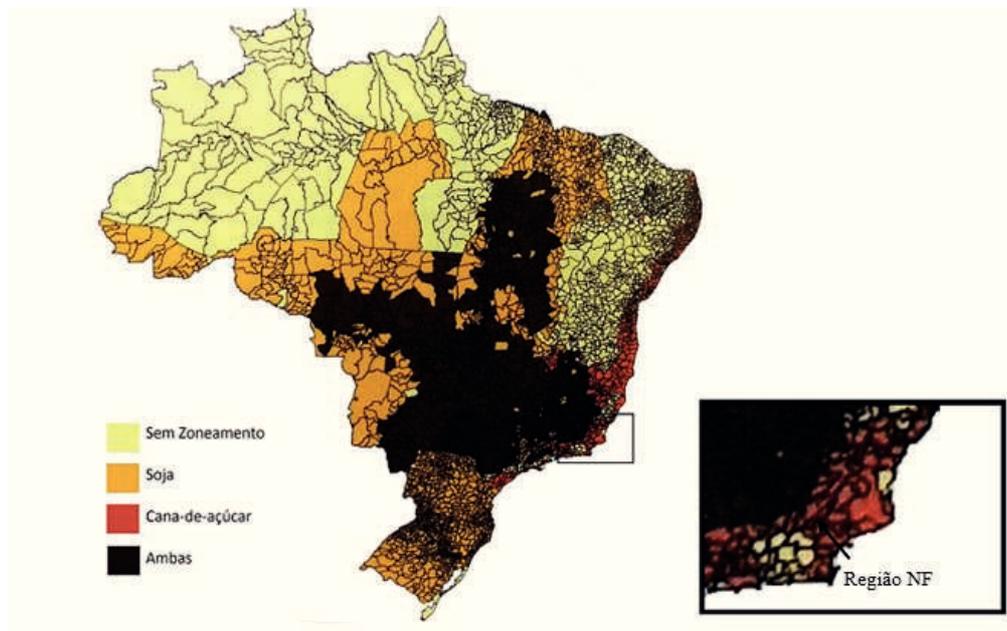
### *3.3 O zoneamento agrícola da cana-de-açúcar e da soja*

Silva *et al.* (2012) mostraram a partir de Unidades de Observação (UO) em áreas de reforma em usinas de Goiás e Mato Grosso do Sul que a prática de rotação cana/soja é viável tecnicamente quando a reforma ocorre em áreas de baixo risco climático para soja, tendo sido gerado um mapeamento dessas áreas apresentado na Figura 7. A região Norte Fluminense está destacada e ampliada ao lado da figura principal para permitir uma melhor observação.

Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

Figura 7. Zoneamento das áreas adequadas para plantar soja/cana em rotação



Fonte: Silva et al. (2012)

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Desenvolvimento das visitas técnicas

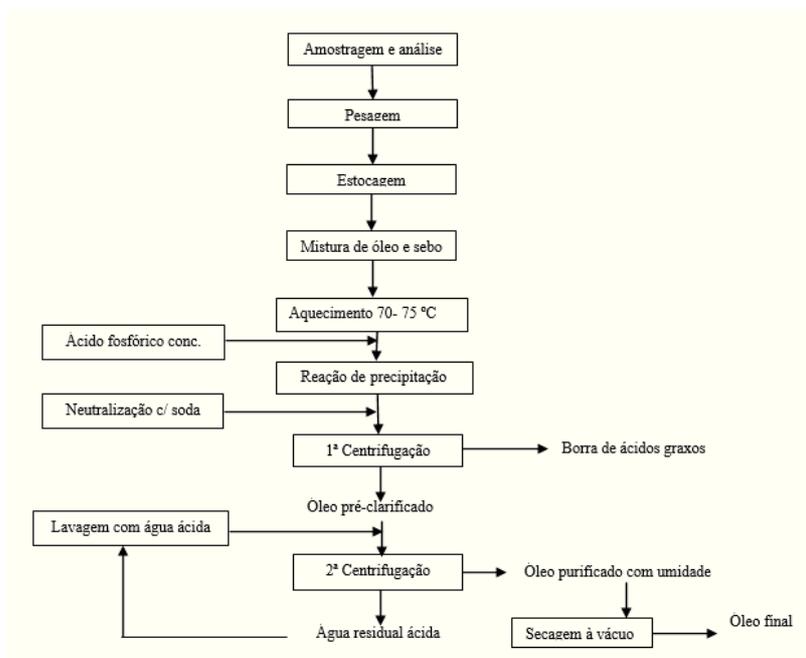
Uma das empresas visitadas, apesar de estar preparada tecnicamente para produzir biodiesel, por questões mercadológicas, tem direcionado suas atividades industriais para a purificação de matérias-primas como óleo de fritura e sebo proveniente de diversas cidades.

Essa empresa trabalha sempre com uma mistura inicial de óleo e sebo determinada pela disponibilidade de cada matéria-prima e pelos resultados analíticos de ambos os materiais realizados quando são recebidos na fábrica. O óleo resultante da mistura após a purificação, estando estritamente dentro das especificações, é comercializado como matéria-prima de qualidade para a produção de biodiesel. O fluxograma da Figura 8 mostra a complexidade do processo envolvido na purificação do óleo de fritura e de sua mistura com o sebo.

**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

**Figura 8. Fluxograma do processo purificação do óleo de fritura**



Fonte: Os Autores (2016)

Na segunda empresa, a gama de produtos derivados da soja e possível de ser produzida é muito ampla: óleo refinado, gordura vegetal, farelo, biodiesel, tocoferol, sementes, farinha e proteína de soja.

A soja recebida sofre uma classificação inicial dos grãos com o objetivo de identificar impurezas indesejáveis que acompanham os carregamentos como vagem, talos, grãos avariados, terra e outras substâncias que não a soja. A amostragem da soja é realizada antes da pesagem, sendo os fatores de qualidade avaliados, comparados com os padrões e quando fora da especificação é imposto um deságio ao produtor. As consequências dos desvios de qualidade da matéria-prima no processamento da soja são resumidas no Quadro 1.

**Quadro 1. Consequências dos fatores de qualidade fora dos padrões**

Fatores de qualidade para recepção da soja	Consequências
Umidade	Redução do rendimento em óleo.
Grãos quebrados	Aumento de acidez, gomas não hidratáveis e produtos de oxidação.
Impurezas ou materiais estranhos	Aumento de clorofila e produtos de oxidação.
Grãos avariados (mofados e queimados)	Idem ao fator “grãos quebrados”.
Grãos esverdeados	Aumento no teor de clorofila e ferro.

Fonte: Os Autores (2016)



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

Na sequência é realizada uma limpeza prévia dos grãos, que são em seguida enviados para o processo de secagem para redução de sua umidade. Quando são direcionados para o silo de armazenamento, a soja pode apresentar um teor de umidade de até 16%. As condições adequadas de armazenamento da soja são complexas, exigindo manutenção rigorosa da temperatura através de inúmeros sensores e transmissores que enviam o sinal para supervisórios acionando automaticamente ventiladores que são dedicados a áreas específicas.

A fase denominada como preparação da soja consiste em uma série de operações, abaixo discriminados:

- Quebra/descascamento/separação.
- Pré-cozimento do material contido no interior da casca (endosperma, germe e farelo).
- Laminação – nesta etapa a polpa é prensada com o objetivo de aumentar a superfície de contato para maximizar a extração de óleo.

Após a laminação do material, é realizada a extração do óleo. Existem dois métodos clássicos de extração: Por pressão mecânica (prensa hidráulica) ou utilizando um solvente orgânico que solubiliza as substâncias a serem recuperadas. Apesar de a extração por prensas hidráulicas apresentar custos operacionais menores, esse processo gera perdas de óleo na torta residual acima de 10% do óleo total que entra, sendo viável apenas em instalações de pequeno porte.

Na extração por solvente, o material (óleo) a ser recuperado escoar em contracorrente com o extrator (solvente), resultando no final da operação em uma fração contendo o solvente original e o óleo (denominada de micela). A outra fração, o resíduo, arrasta uma pequena porcentagem de solvente que posteriormente é removida por métodos como a secagem.

No caso da polpa de soja, a extração do óleo de soja é feita usando n-hexano como solvente. O hexano é separado do óleo por destilação, estocado e reutilizado no processo. O óleo de soja bruto obtido após destilação é então enviado a etapa de degomagem, para eliminação das impurezas como os fosfolípidos ou fosfatídeos que interferem na qualidade e estabilidade do produto. A degomagem hidrata os fosfatídeos hidratáveis tornando-os insolúveis em materiais graxos, facilitando sua separação.

A degomagem convencional é realizada na temperatura de 70 °C, seguido da adição de ácido fosfórico e solução de soda cáustica, finalizando com a separação em centrífuga onde se obtém o óleo degomado, enviado ao setor de produção de biodiesel, e uma fração rica em ácidos graxos que pode ser destinada a produção de lecitina.

#### *4.2 A realidade atual da cana-de-açúcar cultivada na região e o potencial de maximização*

A evolução da área colhida, produtividade média (t/ha) e produção de cana (t) no Rio de Janeiro entre 1990 e a safra de 2004, é apresentada na Tabela 4. Os valores de produtividade reportados, que abrangem 15 safras, resultam como média o valor de 44,5 t/ha.

Esse baixo valor de produtividade é típico da região, que possui uma distribuição pluviométrica irregular e insuficiente de maneira geral, para garantir as necessidades da cultura. A precipitação deficiente é apontada como principal causa da baixa produtividade. A estrutura



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

de irrigação existente é extremamente limitada e incapaz de atender qualquer *deficit* hídrico especialmente no nível do atual vivenciado.

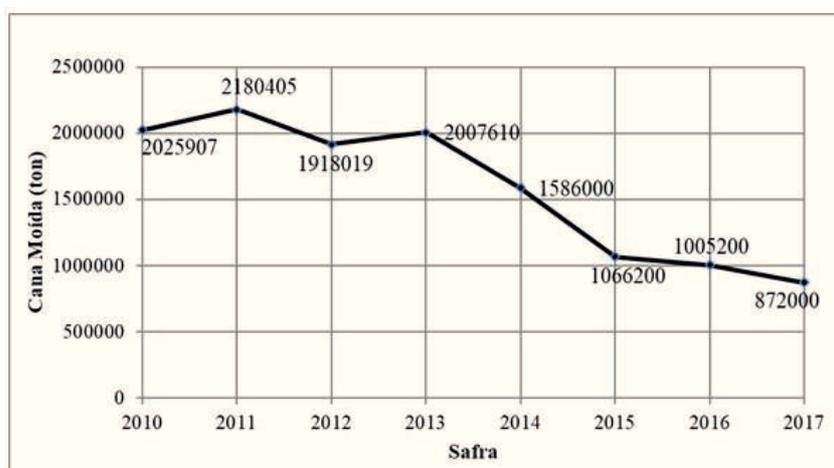
**Tabela 4. Histórico de área colhida e produção de cana no Norte Fluminense**

Safra	Área Colhida (ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)
1990/1991	102.365	4.593.931	44.88
1992/1993	113.392	5.106.622	45.04
1994/1995	114.936	5.479.990	47.68
1996/1997	127.457	5.375.578	42.18
1998/1999	120.863	5.123.730	42.39
2000/2001	105.201	3.934.982	37.40
2002/2003	100.200	4.092.683	40.85
2004/2005	100.200	5.478.440	54.68

Fonte: Veiga, Vieira e Morgado (2006)

A realidade atual da cultura da cana-de-açúcar na região Norte Fluminense a partir de 2010 pode ser resumida na Figura 9, que retrata a situação caótica da atividade açucareira regional. O período iniciado em 2014 culminando com os dados de cana moída da safra de 2017, tem se traduzido em cenários que talvez uma década atrás jamais fossem imaginados, em virtude do histórico regional estabilizado em torno de cinco milhões de toneladas de cana processadas por safra. O último valor de produtividade da região NF, referente à safra de 2017, foi de 49,8 t/ha com acréscimo de 33,8% em relação à safra de 2016, em uma área colhida de 17.500 ha (CONAB, 2017).

**Figura 9. Cana colhida na região Norte Fluminense a partir de 2010**



Fonte: CONAB (2017)



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

Uma série numérica recente de precipitação na cidade de Campos dos Goytacazes entre os anos de 2007 e 2015 está organizada na Tabela 5. Os dados mostram que o regime de precipitação regional, no período, resultou no valor médio de 935 mm anuais, com 60% da chuva concentrada entre novembro e março. No entanto, a variabilidade mesmo dentro do período citado, alcança valores próximos de 100%, o que evidencia um regime incerto, pouco previsível e que não assegura o atendimento das necessidades regulares de culturas exigentes em relação à quantidade de água, nos períodos críticos do seu ciclo.

**Tabela 5. Precipitação mensal (mm) em Campos dos Goytacazes**

ANO	ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO MENSAL 2007 A 2016												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2017	69,8	39,8	75,4	59,0	75,0	29,4	45,2	5,4	7,8	11,4	127,0	137,8	683,0
2016	153,6	38,6	12,6	27,4	12,4	44,6	12,4	27,2	24,2	72,4	148,8	188,0	764,6
2015	0	11	111	26,6	64,8	57,8	4,4	29,4	103,4	43,6	174	99,6	725,6
2014	10	7,8	68,8	110,2	4,4	35,2	147,4	21,2	12	15,2	90,6	35,6	558,4
2013	193,9	9,4	299,7	57,8	34	12	53,6	82,6	50,2	30,2	194	274,4	1291,8
2012	176,6	19,4	83,3	50	179,3	59,7	3,9	64,4	23	8,8	162,8	38	869,2
2011	96,4	40,6	184,4	29,6	20,4	16,3	5,8	20,6	14,8	95,6	102,8	114,3	741,6
2010	0	55,7	113,5	97	34,6	24,6	54	7,6	12,4	95,2	137,8	123,6	756
2009	141,2	55	128,6	127,6	21,2	53,2	22,4	21,2	37,6	246,7	32	140,4	1027,1
2008	241,4	146,5	66,7	245,2	6,2	34,7	13,2	6,6	56,8	74,2	427,7	316,6	1635,8
2007	388	13,9	45,2	97,4	121,8	13	9,4	5,8	14,5	218,7	191,4	115,6	1234,7
<b>Média</b>	<b>133,7</b>	<b>39,8</b>	<b>108,1</b>	<b>84,3</b>	<b>52,2</b>	<b>34,6</b>	<b>33,8</b>	<b>26,5</b>	<b>32,5</b>	<b>82,9</b>	<b>162,6</b>	<b>144,0</b>	<b>935,3</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>117,8</b>	<b>39,7</b>	<b>78,1</b>	<b>63,9</b>	<b>55,0</b>	<b>17,5</b>	<b>42,4</b>	<b>25,1</b>	<b>28,6</b>	<b>80,8</b>	<b>100,1</b>	<b>87,1</b>	<b>326,9</b>
<b>CV (%)</b>	<b>88,1</b>	<b>99,7</b>	<b>72,2</b>	<b>75,8</b>	<b>105,4</b>	<b>50,5</b>	<b>125,5</b>	<b>94,6</b>	<b>88,1</b>	<b>97,5</b>	<b>61,5</b>	<b>60,5</b>	<b>35,0</b>

Fonte: PRECIPITAÇÃO... (2016)

A normalização do regime de precipitação da região por si só não vai implicar mudanças na produtividade média regional, tradicionalmente baixa com a tecnologia atualmente utilizada, mas poderia alavancar um aumento da área ocupada pela cultura, já que os produtores que estão fora do mercado canavieiro poderiam se sentir motivados a tentar novamente sobreviver da atividade, até por falta de opções tradicionalmente de sucesso na região.

A avaliação do histórico do setor canavieiro na região mostra que em média, os valores de cana moída nas décadas de 1980 e 1990 se situaram em torno de cinco milhões de toneladas, correspondente a uma área plantada de 135.000 ha, para a produtividade de 44,5 t/ha.

Os valores de capacidade instalada de processamento das três usinas/destilaria instaladas na região somam quatro milhões de toneladas anuais, requerendo uma área de 90.000 ha para a produtividade determinada. Considerando a área de 20% necessária para a reforma sistemática dos canaviais, este valor alcança 18.000 ha.

**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**  
.....

#### *4.3 O potencial de produção de biodiesel com base no uso da soja cultivada em rotação com a cana-de-açúcar*

Um estudo realizado pela PESAGRO Rio (2007) sobre a viabilidade do uso de oleaginosas na região do Norte Fluminense em área de reforma de canaviais sem irrigação reportou valor de produtividade média para a soja de 2.000 kg/ha contendo 19% de óleo. Para 18.000ha de área destinada à renovação com o uso da soja em rotação e com um rendimento de 342 kg de biodiesel/ha/ano, o potencial para produção de biodiesel alcança 6.156 t/ano, valor correspondente a uma fábrica de pequeno porte com um potencial de receita anual da ordem de 12 milhões de reais.

A avaliação através do zoneamento de áreas para a prática de rotação soja/cana, na região Norte Fluminense não foi considerada adequada. No entanto, levando em consideração a aptidão apenas para a expansão do plantio da cana-de-açúcar para atendimento do plano de crescimento da produção de biocombustíveis, a região recebeu sinal verde, sendo a baixa produtividade regional considerada como um problema de falta de investimento e má gestão (SILVA *et al.*, 2012).

#### *4.4 A utilização do etanol como reagente para produção de biodiesel*

Mesmo com a viabilidade técnica comprovada, o uso do etanol na reação de transesterificação ainda tem pouca chance de ser uma alternativa para as grandes indústrias de biodiesel. Diversos depoimentos de membros das equipes técnicas das empresas visitadas demonstraram quase uma aversão à ideia de migrar para o uso do etanol. A opinião generalizada é que do ponto de vista operacional, não é compensador, por causa das dificuldades inerentes ao uso do etanol em várias fases do processamento.

Suarez (2008) argumenta que é muito mais fácil produzir biodiesel que atenda as especificações de qualidade oficial a partir do metanol, e que as condições de igualdade técnica para operar com o etanol representam aumento de custos. Esse aumento de eficiência com o etanol só é possível com uma redução drástica no seu custo.

### **5 Conclusões**

Ficaram evidenciadas através das visitas técnicas algumas particularidades limitantes com relação ao processamento da soja, mesmo para um dos produtos relativamente mais simples dentro de sua cadeia produtiva, o biodiesel.

- A produção de óleo degomado ou neutro com rendimento e qualidade capaz de produzir biodiesel com especificação adequada dentro dos limites impostos pela rígida legislação da ANP é tarefa que exige mão de obra bastante especializada, já no patamar superior da curva de aprendizado.

**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

.....

- Existe uma flutuação no valor de venda do biodiesel que obriga as indústrias que adquirem o óleo no mercado para processar, a manter estoques de produção já realizada em função da pequena margem de lucro em um determinado leilão. Este volume de material estocado pode implicar na paralisação da atividade no intervalo entre leilões. Neste caso, as grandes empresas que produzem e processam a soja, tem a alternativa de regular ou mesmo zerar sua produção de biodiesel, desviando sua linha de produção para os outros produtos da cadeia, sendo esta opção uma grande vantagem competitiva.

O etanol como reagente para a produção de biodiesel pode ser viável em uma unidade integrada, pois a preço de custo, a necessidade de ser utilizado em maior quantidade para alcançar eficiência no processo equivalente ao metanol poderia ser compensada. A opção pelo etanol não parece ser a escolha acertada para o processo quando se avalia apenas a economicidade da produção de biodiesel, e se justificaria apenas quando outras considerações (sociais, econômicas ou ambientais) de maior relevância fossem bastante evidentes e quantificadas.

A avaliação do potencial para produzir biodiesel na região NF a partir da soja com base na área que as usinas em operação precisariam colher de cana-de-açúcar para trabalhar com nível de ociosidade zero resultou em 6.100 t biodiesel/ano. Essa escala é de pequeno porte, mas que poderia agregar valor não só proveniente da atividade industrial, como principalmente pelos benefícios que a técnica de rotação de oleaginosas com a cana tem proporcionado em outras regiões e que está sendo fortemente recomendado como medida preventiva contra as possíveis degradações que a expansão do cultivo da cana deve provocar.

A viabilidade de integração da indústria de etanol com a de biodiesel, proposta deste trabalho, é completamente dependente da região ser apta a produzir soja, com boa produtividade e trazendo os benefícios que estão associados à rotação de culturas. Os experimentos regionais da PESAGRO Rio, reportados para a soja, apresentaram resultados de produtividade aceitáveis que sugeriam uma avaliação mais aprofundada, com o objetivo de implantação da rotação de culturas na região e conseqüentemente como objetivo mais amplo, a produção de biodiesel.

O zoneamento realizado pela EMBRAPA em 2012, um mapa que foi elaborado a partir do cruzamento entre as exigências climáticas e de solo da soja e as características particulares de cada região – no caso da região NF, nível de precipitação irregular e com baixa previsibilidade – não contempla o Norte Fluminense para cultivar a soja em rotação. Apesar de não estar baseado em resultados experimentais na região em estudo, este zoneamento macro se constitui em uma poderosa ferramenta de gestão produzida para fornecer orientação e suporte à expansão da agroindústria sucroalcooleira no país. Portanto, isto impõe uma limitação que em princípio, caracteriza como de alto risco a integração na escala pesquisada.





Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense

Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira

### Referências

ANDRÉ, J. A. *Sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar em sucessão com amendoim*. 2009. 32 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio De Mesquita Filho, Jaboticabal, 2009.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Usinas e centrais geradoras*. 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/UsinaListaSelecao.asp>. Acesso em: 06 ago. 2016.

ANGARITA, E. E. Y. *et al.* Biocombustíveis de primeira geração: biodiesel. In: LORA, E. E. S; VENTURINI, O. J. (coord.). *Biocombustíveis*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2012. v.1, p. 174-309.

ANP. *Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. 2016a. Disponível em: [http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario\\_Estatistico\\_ANP\\_2016.pdf](http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf). Acesso em: 12 set. 2016.

ANP. *Boletim Mensal do Biodiesel*. 2016b. Disponível em: <http://aprobio.com.br/wp-content/uploads/2016/04/Boletim-Mensal-ANP-MAR%C3%87O1.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

ANP. *Biodiesel*. 2018. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos#portal-searchbox>. Acesso em: 08 mar. 2018.

ATADASHI, I. M.; AROUA, A.; AZIZ, A. A. High quality biodiesel and its diesel engine application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14. p. 1999 - 2008, 2010.

AZEVEDO, H. J. Uma análise da cadeia produtiva da cana-de-açúcar na região Norte Fluminense. In: PESSANHA, R. M.; NETO, R. S. (org.). *Formação econômica da Região Norte Fluminense*. Campos dos Goytacazes, RJ: WTC Editora, 2004. p. 117-172.

BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do estado de São Paulo. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 2009, Porto Alegre. Porto Alegre: Sober, 2009. p. 1-21.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Empresa de Pesquisas Energética. *Resenha Energética Brasileira: exercício 2013*. Brasília, DF, 2014.

CANA-DE-AÇÚCAR: Tudo sobre esta versátil planta. Curitiba: NOVACANA, 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/cana-de-acucar/>. Acesso em: 18 jul. 2016.

CASTRO, C. A. R. *Cana, açúcar: cronologia da produção do Estado do Rio de Janeiro*. 2011. Disponível em: <https://www.clarc.wordpress.com/2011/10/22/cana-acucar-cronologia-da-producao-do-estado-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 06 ago. 2016.

CONAB. *Boletim de cana: 1º levantamento*. 2016. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_04\\_18\\_14\\_27\\_15\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_16.pdf). Acesso em: 04 ago. 2016.



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**  
.....

CONAB. *Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar*. 2017. Disponível em [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18\\_01\\_08\\_09\\_08\\_38\\_cana\\_dezembro\\_novo.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_dezembro_novo.pdf). Acesso em: 07 mar. 2018.

DIAS, M. O. S. *Simulação do processo de produção de etanol visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço*. 2008. 253 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - FEQ, UNICAMP, Campinas. 2008.

DRAPCHO, C. M.; NHUAN, N. P.; WALKER, T. H. *Biofuels engineering process technology*. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2008.

EMBRAPA. *Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2001/2002*. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 267 p.

EMBRAPA. *Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2011*. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 247 p.

JANK, M. S. *Os desafios do setor sucroenergético e o "movimento + etanol"*. 2012. Disponível em: [www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=5374661](http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=5374661). Acesso em: 10 jul. 2016.

LOPES, M. E. *Qual é a melhor época para o plantio da cana-de-açúcar*. 2012. Disponível em: <http://reagro.com.br/plus/modulos/noticias/ler.php?cdnoticia=2376>. Acesso em: 20 ago. 2016.

MARQUES, P. V. (coord.) *Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008*. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas, Departamento de Economia, Administração e Sociologia, 2009. 194 p.

MOURA, B. S. *Transesterificação alcalina de óleos vegetais para produção de biodiesel: Avaliação técnica e econômica*. 2010. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

NASCIMENTO, M. A. R. *et al.* Utilização do biodiesel de mamona em micro-turbinas a gás-testes de desempenho térmico e emissões. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006. *Proceedings* [...].

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. *Estudos avançados*, v. 15, n. 43, p. 303-326, 2001.

PERDICES, M. B. *et al.* Bioetanol a partir de materiais lignocelulósicos pela rota da hidrólise. In: LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. (coord.). *Biocombustíveis*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2012. v.1, p. 536-588.

PEREIRA, C. N. *et al.* Aspectos econômicos e Institucionais da rotação da cana-de-açúcar com espécies vegetais. In: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. (ed.). *Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos*. Brasília: Ed. EMBRAPA, 2015. v.1, p. 93-112.

PESAGRO-RIO. *Viabilidade técnica do cultivo de oleaginosas no Norte Fluminense: A experiência da PESAGRO-RIO*. Campos dos Goytacazes, 2007. 47 p.



**Viabilidade técnica de integração da produção de biodiesel com usina de etanol na região Norte Fluminense**

**Stnio Gomes Oliveira, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Marco Antônio Cruz Moreira**

PRECIPITAÇÃO pluviométrica. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. UFRRJ. 2016. Disponível em: <http://campuscg.ufrrj.br/precipitacao-pluviometrica/>. Acesso em: 28 fev. 2018.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel. *Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento-Edição*, v. 31, p. 29, 2003.

RAMOS, L. P. *et al.* Tecnologias de produção de biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.

SALOMÉ, J. R. *et al.* Viabilidade econômica da rotação de adubos verdes com cana-de-açúcar. *Cadernos de Agroecologia*, v. 2, n. 2, 2007.

SANTOS, H. P.; REIS, E. M. *Rotação de culturas em plantio direto*. Passo Fundo: Ed. Embrapa Trigo, 2001. 212 p.

SANTOS, M. R. *Estudo de viabilidade técnico-econômica da interação cana soja/amendoim*. 2010. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Escola de economia de São Paulo, EESP, FGV, São Paulo, 2010.

SILVA, F. C. *et al.* Zoneamento de áreas de reforma de cana para a produção de biocombustíveis a partir da soja na região Centro – Sul. *Revista ALCOOLbrás*, n. 183, p. 63-68. 2012.

SILVA, R. C. R. S.; CARVALHO, A. M. Formação econômica da Região Norte Fluminense. In: PESSANHA, R. M.; NETO, R. S. (org.). *Economia e desenvolvimento no Norte Fluminense: da cana-de-açúcar aos royalties do petróleo*. Campos dos Goytacazes, RJ: WTC Editora, 2004. p. 27-74.

SOUZA, S. P. *Produção integrada de biocombustíveis: Uma proposta para reduzir o uso de combustível fóssil no ciclo de vida do etanol da cana-de-açúcar*. 2010. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, USP, São Carlos, 2010.

SUAREZ, P. A. Z. *Metanol ou etanol: algumas considerações*. 2008. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez/metanol-ou-etanol-consideracoes-20-02-08.htm>. Acesso em: 20 abr. 2015.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. Assuntos gerais. *Química Nova*, v. 30, n. 8, p. 2068-2017. 2007.

ÚNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. *Indústria da cana registra saldo positivo na geração de empregos no país*. 2016. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/7657299920336510230/industria-da-cana-registra-saldo-positivo-na-geracao-de-empregos-no-pais/>. Acesso em: 06 set. 2016.

ÚNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. *Histórico de produção e moagem*. 2017. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>. Acesso em: 07 mar. 2018.

VEIGA, C. F. M.; RIBEIRO, J. R.; MORGADO, I. F. *Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do estado do Rio de Janeiro: relatório de pesquisa*. Rio de Janeiro: FAERJ: SEBRAE-RJ, 2006.