



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE/PRODEMA



**USOS POTENCIAIS DE *Moringa oleifera* Lam., UMA MATRIZ
PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E TRATAMENTO DE
ÁGUA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

BEATRIZ CAVALCANTE DA SILVA

2012
Natal – RN
Brasil

Beatriz Cavalcante da Silva

**USOS POTENCIAIS DE *Moringa oleifera* Lam., UMA MATRIZ
PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E TRATAMENTO DE ÁGUA
NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN), como parte dos requisitos à obtenção do título de Mestre.

Orientador: **Profa. Dra. Juliana Espada Lichston.**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Daniel Durante Pereira Alves.**

2012

Natal – RN

Brasil

BEATRIZ CAVALCANTE DA SILVA

Dissertação submetida ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em: 08 de fevereiro de 2012.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Juliana Espada Lichston
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN)

Prof. Dr. André Luis Calado Araújo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)

Profa. Dra. Magnólia Fernandes Florêncio de Araújo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN)

AGRADECIMENTOS

À prof. Juliana Lichston, que me acompanha desde a primeira semana na UFRN, demonstrando sempre atenção, dedicação, competência e amizade no processo de orientação dos trabalhos e de condução de todas as etapas da vida acadêmica;

Ao prof. Daniel Durante, pelas orientações e acompanhamento do trabalho e por me tranquilizar no decorrer da realização dos experimentos e da elaboração do texto;

Ao prof. André Calado, por apoiar e orientar, de forma muito dedicada e interessada, a realização dos experimentos de tratamento de água;

À prof. Marta Costa e às suas alunas, Nayanna e Jaqueline, por possibilitarem a realização das análises químicas.

RESUMO

Usos potenciais de *Moringa oleifera* Lam., uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água no semiárido nordestino

A crise ambiental que vivenciamos hoje exige que transformemos as relações entre sociedade, natureza e desenvolvimento, considerando a sustentabilidade. Nesse contexto, um dos principais temas é a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, como o biodiesel. Uma potencial oleaginosa a ser utilizada como matriz para produção de biodiesel é *Moringa oleifera* Lam. (moringa), um vegetal de múltiplos usos que também pode ser utilizado para tratamento de água. Assim, os objetivos deste trabalho foram: analisar as adaptações anatômicas de caule e folha e as reservas oleíferas da semente de moringa, investigar características químicas do óleo da semente de moringa, considerando a produção de biodiesel, e avaliar a função coagulante dessas sementes no tratamento de água. Foram confeccionadas lâminas histológicas semipermanentes, nas quais observou-se que o caule apresenta cutícula espessa, estômatos abaixo da linha da epiderme, medula oca, drusas e tricomas tectores como adaptações às condições edafoclimáticas em que a espécie está inserida, enquanto a folha é dorsivental e possui cutícula espessa, tricomas tectores e drusas. A semente, por sua vez, possui reservas oleíferas abundantes. Essas características favorecem o cultivo da moringa como matriz para produção de biodiesel no semiárido nordestino. A avaliação química foi realizada por meio de extração do óleo com solvente via agitação mecânica e análise do óleo em espectrofotômetro UV-Visível. Foi feita a transesterificação do óleo, com análise do biodiesel gerado por cromatografia gasosa. Obteve-se bom rendimento de óleo e biodiesel de boa qualidade. Para avaliação da atividade coagulante das sementes, foram realizados ensaios de coagulação e floculação em jarreste, nos quais foi aplicado um extrato de sementes de moringa na água a ser tratada. As sementes se mostraram eficientes no processo de coagulação para tratamento de água, podendo ser utilizadas diretamente em sistemas rudimentares de tratamento ou servindo como matéria-prima para a extração de proteínas coagulantes a serem utilizadas em larga escala, como alternativas aos coagulantes tradicionais. Conclui-se que *M. oleifera* possui características que favorecem sua utilização para as funções associadas de produção de biodiesel e tratamento de água.

Palavras-chave: *Moringa oleifera* Lam., biodiesel, anatomia vegetal, química de óleo vegetal, coagulante natural.

ABSTRACT

Potential uses of *Moringa oleifera* Lam., a raw material to biodiesel production and water treatment in Brazil's Northeast semiarid region

The current environmental crisis demands transformations in the relations among society, nature and development, considering sustainability. In this context, an important theme is replacing fossil fuels with biofuels, such as biodiesel. *Moringa oleifera* Lam. is a species that can be used as a raw material to produce biodiesel. Besides, it is a multiple purposes plant, which can be used also in water treatment. Thus, the aims of this work were to analyze the anatomical adaptations found in the stem and in the leaf and the seed's oil stores of *M. oleifera*., to investigate chemical characteristics of *M. oleifera*'s seed oil, considering biodiesel production, and to evaluate the coagulation activity of these seeds in water treatment. Semipermanent histological laminas were made and it follows that the stem has thick cuticle, stomata whose cells guard are below the epidermis line, hollow medulla, druses and tector trichomes as adaptations to climate and soil conditions in which the species is found and the leaf is dorsiventral and it has thick cuticle, tector trichomes and druses. The seed has great reserves of oil. These features favor the use of *Moringa oleifera* Lam. as a raw material to produce biodiesel in Brazil's Northeast semiarid region. Chemical analysis were made through oil solvent extraction using mechanic stirrer. The oil was analyzed in UV spectrophotometer. A transesterification was made and biodiesel was analyzed in gas chromatography. Oil yield was high and good quality biodiesel was obtained. To evaluate seeds coagulation activity, coagulation and flocculation essays in jarrest were made, using seed extract to treat raw water. Seeds were efficient in cogulation process to treat water. So, they can be used in rudimentary systems or as a raw material to coagulant proteins extraction, as an alternative to traditional coagulants. *M. oleifera* has characteristics that favor its use to biodiesel production and water treatment.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam., biodiesel, vegetal anatomy, seed oil chemical characteristics, natural coagulant.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1: Secções transversais de órgãos de *Moringa oleifera* Lam. 67

Capítulo 2

Figura 1: Amostras de água tratada com 200, 175, 150, 125 e 100 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera* e de água bruta (à direita) 88

Figura 2: Ensaio de tratamento de água com extrato de sementes de *Moringa oleifera* em jarreste, utilizando água bruta de baixa turbidez (três cubas à esquerda) e de alta turbidez (três cubas à direita) 89

Figura 3: Ensaio de tratamento de água com extrato de sementes de *Moringa oleifera* em jarreste, utilizando água bruta de baixa turbidez (três cubas à esquerda) e de alta turbidez (três cubas à direita), após as etapas de coagulação, floculação e decantação 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Redução da emissão de gases poluentes na combustão de biodiesel em relação ao diesel 21

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Espectro de UV-Visível do óleo de sementes de <i>Moringa oleifera</i> Lam. coletadas em Macaíba	85
Gráfico 2: Espectro de UV-Visível do óleo de sementes de <i>Moringa oleifera</i> Lam. coletadas em Apodi	85
Gráfico 3: Valores de turbidez (UNT) e sólidos suspensos (mg/L) obtidos em ensaio com agitador magnético, utilizando água bruta e dosagens de 100, 125, 150, 175 e 200 mg/L de extrato de <i>Moringa oleifera</i>	88
Gráfico 4: Valores de turbidez (UNT) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	91
Gráfico 5: Valores de turbidez (UNT) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	92
Gráfico 6: Valores de cor (PtCo) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	93
Gráfico 7: Valores de cor (PtCo) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	93
Gráfico 8: Valores de sólidos suspensos (mg/L) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	94
Gráfico 9: Valores de sólidos suspensos (mg/L) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	95
Gráfico 10: Valores de DQO (demanda química de oxigênio, em mg/L) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	97
Gráfico 11: Valores de DQO (demanda química de oxigênio, em mg/L) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	97

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
REFLEXÕES SOBRE SOCIEDADE, NATUREZA E DESENVOLVIMENTO	12
A ATUAL REVOLUÇÃO ENERGÉTICA	18
O BIODIESEL COMO UMA MATRIZ ENERGÉTICA ALTERNATIVA	20
O BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	28
A IMPORTÂNCIA DE ESTUDAR MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E O PAPEL DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL	32
A ESPÉCIE VEGETAL <i>Moringa oleifera</i> Lam. E SUAS POTENCIALIDADES	33
UTILIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIODIESEL	33
UTILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA	35
USOS ALIMENTÍCIOS E MEDICINAIS	38
MATRIZES DISCIPLINARES NECESSÁRIAS AO ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DA MORINGA	39
METODOLOGIA GERAL	42
ANÁLISES HISTOLÓGICAS	42
ANÁLISES QUÍMICAS DO ÓLEO	42
ANÁLISES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	43
REFERÊNCIAS	46
CAPÍTULO 1: ADAPTAÇÕES ANATÔMICAS DE <i>Moringa oleifera</i> Lam., UMA MATRIZ PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL	56
RESUMO	56
ABSTRACT	57
INTRODUÇÃO	58
MATERIAIS E MÉTODOS	61
RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO ÓLEO E ATIVIDADE COAGULANTE DE SEMENTES DE <i>Moringa oleifera</i> Lam., UMA MATRIZ PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E TRATAMENTO DE ÁGUA	71
INTRODUÇÃO	72
METODOLOGIA	78
RESULTADOS E DISCUSSÃO	82

CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS	99
CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
ANEXO 1: NORMAS GERAIS PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS NA REVISTA CERNE	112
ANEXO 2: COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO: “ADAPTAÇÕES ANATÔMICAS DE <i>Moringa oleifera</i> Lam., UMA MATRIZ PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL”	114
ANEXO 3: NORMAS GERAIS PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS NA REVISTA BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING	116

INTRODUÇÃO GERAL E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

REFLEXÕES SOBRE SOCIEDADE, NATUREZA E DESENVOLVIMENTO

Os desequilíbrios na utilização dos recursos naturais pela população e a poluição resultante da forma como esses recursos são utilizados resultou na crise ambiental que se vivencia hoje (BRAGA *et al.*, 2005). Essa crise é marcada pela exploração desenfreada do meio em prol da maximização dos lucros. Nesse contexto, emerge a gestão ambiental, como um conjunto de medidas direcionadas à melhoria da relação entre sociedade, natureza e desenvolvimento.

As iniciativas para lidar com a problemática ambiental resultaram em diversos acordos multilaterais, que podem ser agrupados em três fases (RIBEIRO, 2001). A primeira fase, que começa no início do século XX, engloba as tentativas mal sucedidas de conter a destruição dos recursos naturais nas colônias africanas. A segunda começa com a Guerra Fria e tem mais sucesso, exemplificada pelo destaque da questão ambiental no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU). Já a terceira fase, que abrange o período pós Guerra Fria, tem como evento importante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), no Rio de Janeiro, em 1992. A partir dessa fase, os acordos multilaterais passam a privilegiar a segurança ambiental global e o desenvolvimento sustentável.

Para Acot (1990), a preocupação ambiental foi demonstrada em eventos anteriores a essas fases. O projeto da realização de um encontro internacional para a proteção da natureza acompanhou a criação de parques nacionais nos Estados Unidos – o Parque de *Yellowstone*, criado em 1872, foi o primeiro deles. No que concerne à gestão ambiental global, o autor considera como início de um novo período o I Congresso Internacional para a Proteção da Natureza (que teve lugar em Paris, em 1923), que se destacou pela abordagem dos problemas ambientais e pela luta para a criação de uma instituição internacional permanente para a proteção da natureza.

Barbieri (2004) considera outra periodização para tratar da gestão ambiental. A primeira fase começa no início do século XX e se estende até 1972, tendo como característica a abordagem pontual das questões ambientais (como pássaros e peixes) e a falta de vínculo com o crescimento. A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano (realizada em Estocolmo, em 1972) indica o início da segunda fase, marcada pela “busca de uma nova relação entre meio ambiente e desenvolvimento”. Nessa fase, a ONU criou, em

1987, a Comissão Mundial para o Desenvolvimento e Meio Ambiente, famosa pelo relatório *Brundtland* ou relatório “Nosso Futuro Comum”. Esse documento contém a definição de desenvolvimento sustentável: “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades”. Já a fase atual da gestão ambiental global tem início com a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (realizada em 1992) e é marcada também pela elaboração do Protocolo de Quioto, em 1997.

No que concerne à evolução da gestão ambiental, Barata *et al.* (2007) destacam que, no fim da década de 60 do século passado, constatou-se a incompatibilidade entre os níveis de crescimento e a capacidade de assimilação e regeneração dos ecossistemas. Eles destacam que, inicialmente, os setores produtivos apenas adotavam, em alguns casos, medidas para evitar punições por não se enquadrarem na legislação. Isso mudou com a ocorrência de graves acidentes ambientais, como a explosão do reator nuclear em Chernobyl (na então União Soviética, em 1986) e o vazamento de petróleo, em 1989, do navio petroleiro Exxon Valdez, que acarretavam gastos com indenizações, recuperação ambiental e controle dos danos, além de prejuízo da imagem das empresas. Então, algumas empresas passaram a adotar a gestão ambiental.

Pombo & Magrini (2008) destacam que, nas décadas de 70 e 80 do século passado, a gestão ambiental praticada pelo Estado privilegiava os instrumentos de comando e controle. Estes, segundo Barbieri (2004), “objetivam alcançar as ações que degradam o meio ambiente, limitando ou condicionando o uso de bens, a realização de atividades e o exercício de liberdades individuais em benefício da sociedade”. A década de 90, com o conceito de desenvolvimento sustentável, foi marcada pela entrada de novos atores na questão ambiental – atitudes pró-ativas das empresas, ecodiplomacia, atuação das administrações locais e avanço de uma sensibilização ambiental difusa por toda a sociedade (MAGRINI, 2001).

Diante desse breve histórico das medidas tomadas para lidar com a problemática ambiental, podem ser identificadas algumas definições que refletem a visão predominante acerca da gestão ambiental. Para Braga *et al.* (2005), esta consiste na “forma sistemática de a sociedade encaminhar a solução de conflitos de interesse no acesso e uso do ambiente pela humanidade”. Barbieri (2004) define gestão ambiental como:

As diretrizes e as atividades administrativas e operacionais, tais como planejamento, direção, controle, alocação de recursos e outras realizadas com o objetivo de obter efeitos positivos sobre o meio ambiente, quer reduzindo ou eliminando os danos ou problemas causados pelas ações humanas, quer evitando que eles surjam.

Philippi Jr. *et al.* (2004), por sua vez, apontam:

O processo de gestão ambiental inicia-se quando se promovem adaptações ou modificações no ambiente natural, de forma a adequá-lo às necessidades individuais ou coletivas, gerando dessa forma o ambiente urbano nas suas mais diversas variedades de conformação e escala. [...] Gestão ambiental é o ato de administrar, de dirigir ou reger os ecossistemas naturais e sociais em que se insere o homem, individual e socialmente, num processo de interação entre as atividades que exerce, buscando a preservação dos recursos naturais e das características essenciais do entorno, de acordo com padrões de qualidade.

Considerando as definições expostas (as quais têm sido úteis em certa medida), verifica-se que as relações entre sociedade, natureza e desenvolvimento são concebidas de maneira tênue nas visões tradicionais da problemática ambiental. Predominam as tendências às perspectivas materialistas, as quais, de acordo com Lacey (1998), examinam os objetos isoladamente do contexto social, econômico, cultural e ambiental em que se inserem.

Em contraposição a esses panoramas pontuais, Leff (2009) coloca a concretização dos objetivos da *gestão ambiental de desenvolvimento* no contexto da *racionalidade ambiental*. Pode-se ressaltar que, para Morin (1990), a racionalidade é o diálogo em nossa mente, criando estruturas lógicas, aplicando-as sobre o mundo e dialogando com o mundo real. Leff (2009) destaca o conceito bachelardiano de racionalidade: uma dialética entre a razão e sua expressão, isto é, a relação entre o processo de construção do conceito e seu poder transformador, mediante as condições de aplicação (BACHELARD, 1996). No enquadramento da racionalidade ambiental, a cultura ecológica deve ser concebida de modo mais amplo e os processos ideológicos devem transformar as relações produtivas e as relações de poder entre Estado e sociedade, conduzindo a formas de desenvolvimento sustentável.

Desse modo, observa-se que, para se definir, planejar e implementar a gestão ambiental, devem ser ponderados diversos aspectos inerentes à existência humana, de modo que essa atividade seja desenvolvida de modo complexo. Conforme Morin (1990), na *complexidade*, tem-se o sentido do caráter multidimensional de qualquer realidade. Considera-se que as categorias de conhecimento criadas pelas universidades são realidades; todavia, uma dessas dimensões criadas contém as demais, sendo impossível compreender qualquer realidade de maneira unidimensional.

Morin (1990) ainda afirma que o paradigma da complexidade surgirá de novas concepções, visões, descobertas e reflexões que vão se conciliar, de modo a se opor ao paradigma da simplificação. Deve-se juntar a causa e o efeito, que se volta sobre a causa; distinguir e juntar as noções ao mesmo tempo; juntar o Uno e o Múltiplo, de modo que o Uno não se dissolva no Múltiplo e o Múltiplo faça parte do Uno. Para esse autor, trata-se de uma tarefa cultural, histórica, profunda e múltipla. Percebe-se que os pontos de vista de Morin (1990) estão em consonância com as propostas de Leff (2009).

Nesse sentido, Leff (2009) aponta os processos necessários à construção da racionalidade ambiental, a qual representa uma racionalidade produtiva alternativa: estabelecimento dos parâmetros axiológicos de uma *ética ambiental*, concernentes às posturas diante da natureza; construção de uma teoria ambiental de modo a conduzir a estilos de desenvolvimento sustentáveis; mobilização de diferentes grupos sociais e execução de projetos de gestão ambiental participativa. Assim, mostram-se necessárias transformações nos paradigmas do conhecimento – como aponta Morin (1990) –, nos sistemas de valores e nos modos de produção.

É fundamental destacar que a gestão ambiental do desenvolvimento sustentável está baseada em novos valores, o que conduz à exigência de sistematizar os princípios éticos do Ambientalismo, os quais se opõem à racionalidade econômica. Esta, que privilegia a maximização incessante do lucro, levou à homogeneização dos modelos produtivos e estilos de vida, o que desestabilizou os processos ecológicos e as identidades culturais tradicionais (LEFF, 2009).

No âmbito dessa discussão, compreende-se que a gestão ambiental efetiva vai além do manejo adequado dos recursos naturais e da disposição de resíduos, devendo apreender metamorfoses profundas nas práticas essenciais da sociedade e, conseqüentemente, nas características que atualmente são intrínsecas à existência humana e à sua inserção no mundo. Isso decorre do fato de que a forma como emergem as relações humanas de poder e de produção refletem determinado modo de viver, que é potencialmente destrutivo e incide diretamente sobre os objetos e funções ambientais com os quais a sociedade interage.

A racionalidade ambiental, assim, destaca-se como um instrumento de análise dos princípios éticos, da eficácia, das bases materiais e teóricas, dos instrumentos técnicos e legais e das ações políticas e sociais do Ambientalismo, que devem ser orientados na direção da gestão ambiental. Essa racionalidade, por conseguinte, é fundamentada em quatro esferas que estão marcadamente interligadas: a racionalidade substantiva (sistema de valores que direciona as ações para os objetivos da gestão ambiental); a racionalidade teórica; a racionalidade técnica ou instrumental e a racionalidade cultural. Esta conecta os princípios éticos da racionalidade substantiva com os meios da racionalidade instrumental em uma matriz em que se entrelaça a racionalidade teórica (LEFF, 2009).

Sendo fundamentalmente incomensuráveis a racionalidade econômica e a racionalidade ambiental (em virtude de que as estratégias desta não podem ser avaliadas simplesmente por meio de cálculos econômicos, pois envolvem valores essenciais e subjetivos da existência humana), surge o problema da valorização dos processos e patrimônios naturais. Isso requer a elaboração de instrumentos de gestão ambiental (que são

os elementos técnicos da racionalidade ambiental), tais como indicadores de qualidade de vida, do patrimônio de recursos naturais, dos custos ecológicos e sociais do crescimento econômico. Aponta-se, portanto, para a construção de uma racionalidade produtiva alternativa, com base no ambiente como um potencial produtivo e de modo que os processos naturais são congregados aos processos sociais, econômicos, culturais e tecnológicos (LEFF, 2009).

Outra característica da gestão ambiental conduzida pelos princípios da racionalidade ambiental é o processo de descentralização econômica e de desenvolvimento regional equilibrado, de modo a conter a acumulação de deseconomias e da intensa degradação ambiental. São bases desse processo o desenvolvimento rural integrado e o ordenamento ecológico do espaço urbano. Podem ser definidas, então, *unidades ambientais de manejo de recursos*, numa proposta de integração da Economia, Ecologia, Geografia e Cultura, a fim de estabelecer um zoneamento operativo para o manejo integrado dos recursos. Nessa proposta, a racionalidade produtiva é formada considerando a espacialidade e temporalidade dos processos naturais e sociais (definindo a oferta sustentável dos recursos) em formações socioeconômicas e ambientais específicas e em contextos político-econômicos e espaços também determinados. Observa-se que essa racionalidade se concretiza no nível local e comunitário (LEFF, 2009).

Apesar de sua definição predominantemente instrumentalista de gestão ambiental, o texto de Barbieri (2004) está em conformidade com as recomendações de Leff (2009). Para aquele autor, as iniciativas de gestão no nível global e regional devem ser acompanhadas de iniciativas locais, pois as ações de gestão ambiental ocorrem efetivamente no interior das localidades, comunidades e organizações. Barbieri (2004) também ressalta que é necessário ampliar a participação da população nos processos decisórios e complementa:

Isso significa considerar a participação efetiva de uma multiplicidade de atores que compõem uma dada sociedade na elaboração das políticas públicas ambientais nacionais e locais, que constituem as bases da gestão ambiental no âmbito de um determinado país e de suas subdivisões.

O estabelecimento dessas unidades ambientais requer o fortalecimento da capacidade de autogestão das comunidades, associado ao apoio financeiro, técnico e de serviços básicos do Estado. Nessa visão, são melhoradas as condições de existência das comunidades, no lugar da situação em que elas são apenas exploradas em sua força de trabalho e nos recursos de sua região. A noção de áreas comunitárias e regiões culturais como unidades indivisíveis gera uma concepção integral de desenvolvimento em contraposição às propostas excludentes.

Valoriza-se, nesse sentido, o pluralismo cultural e a gestão ambiental altamente participativa (LEFF, 2009).

Confrontando as visões tradicionais da gestão ambiental com o conceito de racionalidade ambiental exposto por Leff (2009), verifica-se que as primeiras, embora possam contribuir para as resoluções da problemática ambiental, ocultam alguns aspectos fundamentais à execução de uma gestão ambiental adequada. Tendo em vista que os processos intensos e crescentes de degradação ambiental, poluição e extração de recursos naturais que observamos hoje são decorrentes das interações da sociedade com a natureza em prol do que se denomina desenvolvimento, devem ser considerados, na gestão ambiental, atributos do estilo de vida subjacente à racionalidade econômica.

Pode-se questionar, então, que formas de vida (ou seja, de valores, práticas e experiências com o real) se sobressaem como alternativas ao racionalismo econômico, em direção ao racionalismo ambiental e a formas de desenvolvimento sustentável. Leff (2009) aponta alguns destinos que podem ser seguidos para que, ao menos, seja minimizada a pressão puramente econômica sobre as comunidades, valorizados outros modos de lidar com a natureza e fortalecidas as identidades culturais e as formas particulares de vida, diversas daquela imposta pelo racionalismo econômico. A gestão ambiental, nesse contexto, emerge como uma dimensão primordial e indissociável a ser considerada e ressaltada na relação entre sociedade, natureza e desenvolvimento, exigindo a contribuição de diversas áreas do conhecimento.

Ressalta-se que o desenvolvimento sustentável tem sido visto como uma mudança importante no entendimento das relações do homem com a natureza e com os demais, em contraste com a visão dominante nos últimos dois séculos, baseada na separação entre meio ambiente e questões socioeconômicas (HOPWOOD *et al.*, 2005). Braga *et al.* (2005) retomam o conceito de “desenvolvimento sustentável” proposto pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente, em 1987: “atender às necessidades da geração presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. Os próprios autores reconhecem que esse conceito não é absoluto, dependendo do país, da região, da sociedade e organização de cada local. Para Almeida (2002), a direção ao desenvolvimento sustentável não deve ser única e linear, mas devem ser reconhecidas diferentes formas de organização, com novos modos de enfrentar a crise social e ambiental.

Essas perspectivas corroboram a visão de Leff (2009) e Morin (1990), os quais reconhecem a existência de muitos fatores subjacentes na prática da gestão ambiental e do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, Veiga (2005) questiona o que se entende por desenvolvimento, o que, por sua vez, depende dos valores levados em consideração, tal como

explicado por Lacey (1998). Para Van Bellen (2006), a complexidade do termo “desenvolvimento sustentável” e a diversidade de conceitos relacionados a ele devem ser um estímulo para a descoberta de novas ferramentas em prol da sustentabilidade.

Um dos temas de maior importância atualmente no que concerne a gestão ambiental e desenvolvimento sustentável é o contexto energético, tema do tópico seguinte. Abramovay (2010), por exemplo, afirma que a redução da pobreza atingida no Brasil nos últimos anos não tem como base o crescimento econômico focado no menor uso de energia e de materiais e aponta que o Brasil não está acompanhando a tendência tecnológica contemporânea, que está voltada para promover sistemas produtivos que poupam materiais e energia e contribuem para a regeneração da biodiversidade. Nesse sentido, o autor afirma que o Brasil não está diante de uma questão especificamente ambiental, mas do desafio de formular uma estratégia de desenvolvimento sustentável.

A ATUAL REVOLUÇÃO ENERGÉTICA

O modelo de desenvolvimento adotado quando da industrialização teve como base fontes energéticas fósseis. O crescimento acelerado do consumo de tais recursos fez com que, nos dias atuais, vislumbremos o seu esgotamento. As principais fontes energéticas mundiais, o petróleo, o carvão e o gás natural, são limitadas (PERES *et al.*, 2005), contudo, elas perfazem 80% da matriz energética mundial (PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA, 2006).

Esses combustíveis mundiais participaram de profundas mudanças nos meios de crescimento econômico e no modo de vida das pessoas. O modelo de crescimento adotado, apoiado nesses combustíveis, explica o importante papel que eles exercem hoje no cenário energético mundial.

De acordo com a visão de que o comportamento da população humana e a dinâmica do meio em que ela vive estão atrelados à evolução da tecnologia, Nascimento (2005) afirma que elementos como máquinas a vapor, eletricidade e motores a combustão interna movidos a combustíveis fósseis interferiram no nosso desenvolvimento socioeconômico. Esses elementos melhoraram o padrão de vida da população e provocaram aumento na demanda energética para produção de força motriz, em lugar do trabalho humano e animal. O autor destaca os motores de combustão interna como um marco, já que promoveram crescimento do setor de transportes. Para Sawin (2004), “durante o século XX, a humanidade tornou-se uma

espécie extremamente móvel”, ultrapassando os limites do andar a pé e sofrendo mudanças na família, no trabalho e na natureza das cidades.

É possível afirmar que esses combustíveis tradicionais foram a base de profundas transformações em nossa sociedade, mudando nosso acesso a diferentes bens de consumo e meios de transporte. Entretanto, transformações negativas no que concerne ao meio ambiente também são decorrentes do uso desses combustíveis.

Considerando que os combustíveis fósseis são grandes poluidores do ambiente, pela emissão de gases de efeito estufa durante a combustão, descarte de resíduos ou derramamentos no mar e no solo (SILVA & FREITAS, 2008), e que são fontes energéticas limitadas (PERES *et al.*, 2005), pode-se considerar como alternativa o uso de outras fontes, que provoquem menor impacto ambiental negativo.

Sachs (2007) defende a ideia de que a revolução energética do século XXI será desencadeada pelo alto preço do petróleo e influenciada por três fatores: consumo de petróleo maior que a descoberta de reservas; necessidade de “redução do consumo das energias fósseis para evitar mudanças climáticas deletérias e irreversíveis, causadas pela emissão excessiva de gases de efeito estufa” e ameaça à paz decorrente da geopolítica do petróleo. Segundo ele, a transição da era do petróleo ao pós-petróleo será longa e é difícil antecipar o seu transcurso, embora ressalte que “a extrapolação para o ano 2050 das tendências de consumo de energias fósseis, observadas nos últimos 50 anos, leva claramente a uma ruptura”.

Sachs (2007) ainda explica que a escassez de petróleo será adiada através da exploração de óleos pesados e da transformação do carvão em combustíveis gasosos e líquidos (motivadas pelo alto preço do petróleo). Ele ressalta que as revoluções energéticas pretéritas não foram devidas ao esgotamento físico de uma fonte, mas pela descoberta de uma nova fonte com qualidade superior e custos inferiores (como aconteceu com a passagem da energia de biomassa ao carvão e deste ao petróleo e gás natural). Em seguida, ele diferencia a revolução energética atual pelos seguintes fatos: “nenhuma das energias alternativas oferece, por enquanto, vantagens econômicas claras com relação ao petróleo e seus derivados” e “o imperativo ecológico vai, segundo tudo indica, atuar com uma força cada vez maior, à medida que se afinam os contornos da crise desencadeada pelas mudanças climáticas”. Sachs acrescenta que essa revolução energética dependerá da definição de políticas públicas pelos Estados e pela Organização das Nações Unidas para que a matriz energética adotada polua e custe menos, com base em três medidas: primeiro, minimização da demanda energética; segundo, maior eficiência no uso da energia e, em terceiro lugar, substituição das energias fósseis por bioenergias e por outras energias renováveis, “sem descartar o uso ‘limpo’ das energias fósseis abundantes como o carvão, mediante o sequestro dos gases de efeito estufa”.

O BIODIESEL COMO UMA MATRIZ ENERGÉTICA ALTERNATIVA

A escassez dos combustíveis fósseis, as crescentes emissões de poluentes gerados durante sua combustão e seus elevados preços tornam a biomassa uma fonte interessante de energia alternativa (SENSOZ *et al.*, 2000). Em virtude das crescentes preocupações quanto ao futuro da oferta global de petróleo e a de outras opções de combustível disponíveis para o setor de transportes, os biocombustíveis representam a melhor das opções de uso da energia de biomassa (GOLDEMBERG, 2009).

Um dos combustíveis provenientes da biomassa é o biodiesel, ao qual tem sido dada atenção no mundo todo e cujo uso é menos poluente que o dos combustíveis fósseis (HU *et al.*, 2008) e minimiza a extração de recursos naturais. Esse biocombustível é a atual alternativa para o petrodiesel, pois é exequível tecnicamente, economicamente competitivo, aceitável do ponto de vista ambiental e facilmente disponível (DERMIBAS, 2009). Ademais, reduz as emissões de gases do efeito estufa, promove desenvolvimento regional e fortalece a estrutura social, principalmente em países em desenvolvimento (DERMIBAS & DERMIBAS, 2007). Segundo Rashid *et al.* (2008), o biodiesel é biodegradável, renovável, atóxico, possui lubricidade inerente e reduz grande parte das emissões provocadas pelo petrodiesel, além de que seu uso reduz a dependência de combustíveis fósseis importados, que continuam a decrescer em disponibilidade.

De acordo com Hinrichs & Kleinbach (2003), o uso do biodiesel apresenta alguns impactos ambientais positivos:

- Redução na emissão de materiais particulados (fuligem e fumaça preta);
- Redução na emissão de monóxido de carbono;
- Redução na quantidade de hidrocarbonetos não queimados;
- Redução na emissão de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos;
- Redução na emissão de óxidos de enxofre;
- Redução de 45 a 71% na emissão de dióxido de carbono quando do uso de motores a diesel em lugar de motores a gasolina;
- Absorção de dióxido de carbono (sequestro de carbono) durante o crescimento das oleaginosas usadas como matéria-prima, não gerando aumento nas emissões.

A utilização do biodiesel ajuda a promover redução da poluição ambiental nos grandes centros urbanos (KOZERSKI & HESS, 2006), podendo reduzir em 78% a emissão de gás carbônico, em 90% as emissões de fumaça e praticamente eliminar as emissões de óxidos de enxofre (LIMA, 2004; HINRICHS & KLEINBACH, 2003).

Barnwal & Sharma (2005) analisaram a emissão de gases poluentes pelas combustões de biodiesel e de óleo diesel de petróleo, podendo afirmar que os resultados são favoráveis para o biocombustível (tabela 1). Rosa *et al.* (2003) corroboram essa afirmativa, dizendo que o biodiesel tem potencial para reduzir a emissão de poluentes, mesmo que o consumo seja maior que o do diesel devido à menor eficiência energética do biodiesel.

Segundo Hinrichs & Kleinbach (2003), o biodiesel auxilia na redução de emissões tóxicas (tabela 1) e na eliminação da irritabilidade nos olhos. No que concerne à redução da emissão do material particulado, Rosa *et al.* (2003) apresentam dado diferente daqueles autores (que apontam uma redução de 26,8%), colocando uma redução de 50% da emissão quando utilizado o biodiesel em lugar do diesel.

Tabela 1: Redução da emissão de gases poluentes na combustão de biodiesel em relação ao diesel.

Componente emitido	Redução (%)
Fuligem	60
Hidrocarbonetos não queimados	14,2
Hidrocarbonetos poliaromáticos	>70
Material particulado	26,8
Monóxido de carbono (CO)	9,8
Monóxido de enxofre (SO)	100
Óxidos de nitrogênio	4,6

Fontes: Hinrichs & Kleinbach (2003) e Barnwal & Sharma (2005).

Sheehan *et al.* (1998) concluíram que a emissão de gás carbônico pelo biodiesel de soja puro, desde a produção agrícola até a queima pelo motor, foi 78,5% menor que a do diesel, desde a extração. Entretanto, outra conclusão foi a de que a combustão do biodiesel puro resulta em aumentos de 13,3% na emissão de óxidos de nitrogênio e de 13,6% na de ácido clorídrico.

No que se refere aos óxidos de nitrogênio, esse resultado é semelhante ao presente em Rosa *et al.* (2003), que propõem estudos para verificar se as misturas de biodiesel e diesel atendem aos valores máximos permitidos. Contudo, esse dado é diferente do exposto por Hinrichs & Kleinbach (2003), que apresentam uma redução de 4,6% na emissão desse composto quando usado o biodiesel no lugar do diesel. Os óxidos de nitrogênio podem causar danos à saúde (FERNANDES, 2005; ROSA *et al.*, 2003) e contribuem para a intensificação do efeito estufa (RANGEL & CARVALHO, 2003) e para a formação da fumaça fotoquímica

(RANGEL & CARVALHO, 2003; LOUREIRO, 2005; ROSA *et al.*, 2003), da chuva ácida (FERNANDES, 2005) e do ozônio na troposfera (BAIRD, 2002; ROSA *et al.*, 2003).

Os óxidos de enxofre, cuja emissão é praticamente eliminada com o uso do biodiesel, podem reagir com a umidade do ar, formando os ácidos sulfuroso (H_2SO_3) e sulfúrico (H_2SO_4), que podem contribuir para as chuvas ácidas (LOUREIRO, 2005). Quando sofre combustão junto ao diesel, o biodiesel favorece a oxidação das mercaptanas presentes no diesel, formando dióxido de enxofre (ROSA *et al.*, 2003). Estes autores consideram o dióxido de enxofre menos danoso aos seres vivos que as mercaptanas, compostos nocivos que contêm enxofre.

O cultivo agrícola voltado para a produção de biodiesel capta gás carbônico durante o crescimento e apenas parte desse composto é liberada durante a combustão nos motores, ajudando no controle do efeito estufa. Esse biocombustível também permite que países como o Brasil atinjam as metas do Protocolo de Quioto e participem do mercado de créditos de carbono (RATHMANN *et al.*, 2005).

Quando o álcool utilizado na produção de biodiesel é de origem vegetal (etanol), a emissão de dióxido de carbono na combustão é compensada pela reabsorção, graças à fotossíntese, durante o crescimento das plantas das quais são retirados tanto o álcool como o óleo. Quando o álcool é mineral (metanol), considera-se a compensação apenas referente às plantas produtoras de óleo (ROSA *et al.*, 2003). Parente (2003) alerta para o fato de que essa vantagem do etanol pode desaparecer, se o metanol for obtido a partir da biomassa. Diante dessas considerações acerca da poluição do ar, deve-se ressaltar que o progresso na frota de veículos é necessário para que a diminuição na emissão de partículas quando da utilização do biodiesel seja significativa (DIAS, 2007).

Conforme dados de pesquisa do IBRE/FGV (Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas), com o uso do B5 (mistura de 5% de biodiesel e 95% de diesel), na cidade de São Paulo, foram economizados R\$ 11 milhões na saúde pública, referentes a tratamentos de doenças respiratórias, entre os anos de 2010 e 2011. Estima-se que, com o B20 (mistura de 20% de biodiesel e 80% de diesel), seriam economizados R\$ 71 milhões na saúde pública, além de serem evitadas 77 mil internações e 11 mil óbitos no ano de 2020 (TAGUCHI, 2011). Sabe-se que a poluição atmosférica nos centros urbanos é um fator responsável pelo aumento na incidência de doenças respiratórias e cardiovasculares (CIFUENTES *et al.*, 2001; MARTINS *et al.*, 2001; MOURA *et al.*, 2009).

No que concerne à poluição do solo, o diesel em concentrações acima de 3% é tóxico aos microrganismos, ao contrário do biodiesel (LAPINSKIENE *et al.*, 2006). Hinrichs & Kleinbach (2003) confirmam isso ao dizer que a contaminação por derramamento é nula para

o biodiesel e muito alta para o diesel. Eles também afirmam que o biodiesel possui alta biodegradabilidade e não é tóxico, ao contrário do diesel, e que a transferência e estocagem do biodiesel não apresentam riscos, enquanto as do diesel são altamente perigosas.

É importante ressaltar que o cultivo de oleaginosas para produção do biodiesel pode ocorrer em sistemas integrados de produção de alimentos e energia. Dessa forma, minimiza-se a disposição de resíduos no meio, como no modelo biodiesel-pecuária: uma parte dos pastos pode se destinar a cultivos alimentares, os resíduos da extração do óleo constituem uma ração para o gado, o esterco processado nos biodigestores produz adubos e energia aproveitável na usina de biodiesel (SACHS, 2007). Para Goldemberg (2009), está crescendo o interesse no desenvolvimento de sistemas integrados que permitam a coprodução de matéria-prima energética com outro produto agrícola, como meio de atingir economias significativas no custo e benefícios ambientais. O autor cita o exemplo da produção de biodiesel utilizando sementes não comestíveis como matéria-prima ou realizada em conjunto com o cultivo de alimento animal.

A utilização de sistemas integrados de produção também está relacionada à geração de subprodutos fabricação de biodiesel, como a glicerina, lecitina, farelo e torta de oleaginosa. O incremento na produção de biodiesel aumenta, por exemplo, a oferta de glicerina, que é um subproduto da transesterificação. Desse modo, devem surgir novas utilizações da glicerina no Brasil e também deve ser aproveitada a demanda externa (RATHMANN *et al.*, 2005). À medida que a produção de biodiesel aumenta e o preço da glicerina, conseqüentemente, diminui, novas aplicações para este subproduto são viabilizadas (PARENTE, 2003).

Essa discussão conduz a outra temática: o papel da agricultura familiar na produção de biodiesel. Segundo Garcez & Vianna (2009), o PNPB tem como aspecto básico a promoção da inclusão social dos agricultores familiares, considerando a alta concentração de terras existente no país e a distribuição de renda injusta na agricultura.

Conforme Peixoto (2008), o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) tem o objetivo de consolidar um novo mercado para os agricultores familiares e assentados da reforma agrária, em consonância com a proteção ambiental. O autor, no entanto, ressalta que esse objetivo depende da atuação conjunta (em rede) de diversas instituições, tais como: pesquisas agrônômicas, tecnológicas e industriais; organização social da produção; associações e cooperativas de produtores; empresas; organizações não governamentais; órgãos governamentais de fomento, regulamentação e fiscalização; representações de populações tradicionais; órgãos gestores.

Peixoto (2008) também aponta a necessidade de adotar um enfoque regional para a efetivação do PNPB, de modo que os projetos sejam adaptados às condições de solo e clima

de cada região dos estados, assim como às diferenciadas circunstâncias sociais. Ele exemplifica essa necessidade ao dizer que, na região Sul do Pará, estão sendo feitas tentativas de produção de biodiesel a partir do girassol, enquanto se produz biodiesel a partir do dendê no nordeste paraense.

Nesse sentido, Monteiro (2007) salienta que a diversificação dos sistemas produtivos da agricultura familiar, para cultivo de diversas oleaginosas visando à produção de biodiesel no semiárido do Nordeste brasileiro, consiste em um fator que contribui para a sustentabilidade dessa atividade. Ademais, aumenta a capacidade de resposta desses produtores diante da variabilidade climática atual e das mudanças climáticas projetadas pela autora, tendo em vista que os produtores especializados estão sujeitos à perda da produção e às dificuldades de dar continuidade à atividade agrícola.

Abramovay & Magalhães (2007) corroboram com a visão de Peixoto (2008) e Monteiro (2007), ao afirmarem que o PNPB está voltado para a integração dos agricultores familiares à oferta de biocombustíveis, contribuindo com o fortalecimento de sua capacidade de geração de renda. Segundo aqueles autores, essa integração deve ser promovida por meio de modalidades produtivas que evitem a monocultura e que permitam o uso de áreas e de matérias-primas consideradas, até então, pouco atrativas. Eles também afirmam que o objetivo do Governo Federal de vincular a produção de biodiesel à agricultura familiar recebeu a adesão, tanto de grandes empresas processadoras de matérias-primas para a produção de biodiesel como do movimento sindical de trabalhadores rurais, constituindo uma tríade aparentemente inédita no plano internacional.

Para Carioca *et al.* (2009), o PNPB visa aliar o aumento da produção de óleo vegetal para biocombustíveis à oferta de novas oportunidades de emprego para pequenos produtores da agricultura familiar. Desta forma, constitui-se uma política agrícola justa para grande parte da comunidade rural brasileira. Além disso, o programa envolve a decisão política de direcionar o setor produtivo para uma nova era de produção de biocombustíveis no país. Conforme dados do IBRE/FGV, quando o PNPB envolver 160 mil famílias, estima-se que será movimentado R\$ 1,5 bilhão na agricultura familiar (TAGUCHI, 2011).

A fim de garantir o desenvolvimento regional e socioeconômico, foram estabelecidas taxas de redução dos tributos (referentes às contribuições federais) a serem pagos pelo produtor industrial de biodiesel. A taxa é de 100% no caso de mamona ou palma produzida nas regiões Norte, Nordeste e no Semiárido pela agricultura familiar; 67,9% para qualquer matéria-prima que seja produzida pela agricultura familiar e 30,5% para mamona ou palma produzida nas regiões Norte, Nordeste e no Semiárido pelo agronegócio. Os produtores que utilizam a agricultura familiar, com uma garantia de compra a preços pré-estabelecidos,

recebem o Selo Combustível Social, que garante isenções fiscais e melhores condições de financiamento (SUAREZ & MENEGHETTI, 2007).

Em contraposição às propostas iniciais do PNPB, Garcez & Vianna (2009) discutem a forma como a agricultura familiar está sendo inserida na prática do programa, tendo em vista que os grandes produtores de biodiesel são favorecidos, ao passo que a participação dos agricultores familiares fica limitada ao fornecimento de matéria-prima. Ademais, estes não possuem as condições adequadas ao estabelecimento dos contratos com os produtores industriais de biodiesel.

Outro aspecto do programa que vai de encontro à sua proposta de inclusão social é a predominância de grandes produtores de biodiesel nos leilões da ANP (GARCEZ & VIANNA, 2009; ANP, 2011), associada à sua concentração na região Centro-oeste do país e a presença da soja como principal matéria-prima, conforme se pode observar a partir dos dados da ANP (2011). Schaffel & La Rovere (2010) também apontam a ampla utilização da soja e o fortalecimento de grupos industriais consolidados como aspectos contrários à ideia de produção sustentável por agricultores familiares. Desse modo, Garcez & Vianna (2009) indicam a necessidade de fornecer apoio técnico e financeiro aos agricultores familiares e de encorajar o desenvolvimento regional e a produção de variadas matérias-primas, assim como fortalecer o papel das cooperativas de agricultores na produção industrial de biodiesel, as quais não são consideradas na base legal do PNPB.

Segundo Abramovay & Magalhães (2007), a relação entre as empresas e os sindicatos pode ser melhorada porque a incorporação da agricultura familiar corresponde tanto ao interesse dos sindicatos, de ampliar as oportunidades para a sua base social e fortalecer sua representatividade, quanto ao das indústrias, de contar com uma rede estável de fornecedores, com produção diversificada.

Schaffel & La Rovere (2010) afirmam que a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira foi feita de forma inovadora, encorajando a participação de agricultores familiares por meio do Selo Combustível Social, que beneficia os produtores que fomentam a inclusão social e o desenvolvimento regional, ao comprar quantidades mínimas de sementes de oleaginosas dos agricultores familiares. O PNPB, então, permite que as empresas associem a produtividade a práticas mais responsáveis – tendo em vista não somente aquelas de gestão ambiental estrita, mas também as sociais –, o que pode ser o início do que os autores estabelecem como eficiência eco-social. Contudo, considerando a Responsabilidade Social Corporativa, as empresas produtoras de biodiesel estão envolvidas em algumas contradições, como a predominância do cultivo da soja e de grupos industriais consolidados e o fato de que as empresas podem comprar a produção da agricultura familiar para outros usos além do

biodiesel, aumentando os benefícios do Selo Combustível Social para ambos. Na visão desses autores, a sustentabilidade do PNPB deve ser avaliada considerando-o uma política social, e não apenas um programa de energia. Eles ressaltam também que o conceito de ecoeficiência e o contexto socioeconômico são indissociáveis, levando em conta as especificidades da agricultura familiar.

Ao estudarem o emergente arranjo produtivo de biodiesel no Piauí, Santos & Rathmann (2009), observaram que os benefícios sociais desse arranjo permanecem como efeitos indiretos, relacionados a outras indústrias e políticas específicas, dado que a distribuição de renda na região não foi alterada de forma significativa. Os autores afirmam que, no caso estudado, o objetivo de criar um centro de desenvolvimento socioeconômico por meio dos incentivos do PNPB não foi atingido, sendo fundamental o estreitamento das relações com as instituições locais, a fim de que esse arranjo produtivo seja bem sucedido.

Em relação às sementes e à forma como elas são utilizadas, Lacey (2003) afirma que, na história recente, as sementes têm sido transformadas de recursos regenerativos a *commodities*, por meio dos modelos agrícolas intensivos, de modo aliado à transformação das relações sociais na agricultura em direção à dominância do agronegócio. Assim, a forma de entender as sementes exclui suas relações com os arranjos sociais, os impactos ecológicos ou com qualquer outro valor. Segundo Lacey (1998), devem ser evitadas as abordagens descontextualizadas dos objetos. Em contrapartida, nos agroecossistemas, a sustentabilidade é definida pelas seguintes características: capacidade produtiva, integridade ecológica, saúde social e identidade cultural (LACEY, 2003). Esses aspectos precisam ser ponderados quando se trata do contexto social em que o uso do biodiesel está inserido.

Percebe-se também que uma crítica frequente ao uso dos biocombustíveis se refere ao uso da terra, ou seja, ao aproveitamento das terras agricultáveis para produção de combustível em detrimento da de alimentos. Estudos apontam que a demanda mundial por biomassa pode dobrar até 2050, havendo também tensões na apropriação dessas terras (RATHMANN *et al.*, 2005). Segundo as nossas Diretrizes de Política de Agroenergia, a expansão da agroenergia não afetará a produção de alimentos para consumo interno, além de os subprodutos contribuir para complementar a alimentação humana e animal (PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA, 2006). Dabdoub *et al.* (2009) afirmam que o uso de óleos vegetais não alimentícios tem sido proposto como forma de aliviar o debate de alimentos *versus* biocombustíveis, por meio da utilização de plantas como a mamona (*Ricinus communis* L.) e o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). Segundo Santos e Rathmann (2009), é necessário estudar oleaginosas que tenham maior rendimento de óleo e que não se oponha à produção de alimentos.

Para Sachs (2007), é importante questionar o avanço na produção de biocombustíveis, mas a fome que parte de nossa população sofre não está relacionada a déficit de alimentos, mas a falta do poder aquisitivo. Conforme exposto anteriormente, o autor também destaca a possibilidade de haver “sistemas integrados de produção de alimentos e energia adaptados aos diferentes biomas”, bem como a produção de óleos combustíveis em áreas degradadas que não servem às culturas alimentícias. No que se refere ao biodiesel, a problemática do uso da terra pode ter como soluções a produção a partir de microalgas; o cultivo de plantas adaptadas a ambientes que não são favoráveis ao cultivo de vegetais usualmente destinados à alimentação e o cultivo de plantas que atendam tanto à produção de biodiesel quanto à de alimentos. Garcez & Vianna (2009) afirmam que a política de biodiesel no Brasil deve incorporar medidas para assegurar que a indústria agrícola promova a segurança alimentar para a população.

Abramovay & Magalhães (2007) apontam as principais críticas que são feitas em relação aos biocombustíveis: nos Estados Unidos e na Europa, os principais produtos em que se apóia a oferta de biocombustíveis apresentam balanço energético baixo; a contribuição desses produtos para reduzir o efeito estufa é pequena (pelo uso de combustíveis fósseis na produção e por conduzir, muitas vezes, ao desmatamento); o avanço dos biocombustíveis é uma ameaça à segurança alimentar mundial; a produção de biocombustíveis acentua a concentração de renda e a importância dos grandes produtores. Os autores, então, afirmam que esses argumentos não consideram o fato de que o padrão tecnológico em que se apóia a oferta de biocombustíveis pode ser diferente do predominante hoje e ressaltam que é necessária a execução de sistemas integrados de produção de alimentos e energia, nos quais o atual padrão ambiental, energético e social em que se apóia a maior parte da produção de biocombustíveis no mundo pode ser substituído por modalidades de bases sociais e ambientais capazes de evitar os problemas mencionados.

Em relação ao biodiesel, discute-se também sobre a utilização de terras para produção de oleaginosas frente à importância da conservação e preservação das áreas naturais e da biodiversidade. Para Abramovay & Magalhães (2007), no âmbito do PNPB, as empresas têm incentivos para investir em áreas degradadas e de baixa utilização agrícola, portanto, diferentemente do que ocorre com a expansão do álcool, nada indica que o PNPB ameace áreas florestais.

Finco & Doppler (2010), por meio de estudos de caso realizados no estado de Tocantins, constataram que as áreas de produção de oleaginosas em pequena escala estavam associadas ao desmatamento de florestas nativas e à utilização de terras antes utilizadas para culturas alimentícias. Frente a esses resultados, os autores sugerem que, nas regiões

estudadas, sejam aplicados projetos de redução de emissões pelo desflorestamento e degradação de florestas (REDD – *Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation*), a fim de preservar as florestas nativas, garantir a segurança alimentar e fornecer uma fonte de renda para os pequenos agricultores.

Novaes (2001) afirma que a maioria das políticas relativas ao desenvolvimento agrário no Brasil apontam para a insustentabilidade. Conforme esse autor, a estratégia a ser utilizada no semiárido está baseada nos métodos de convivência com as condições climáticas da região, por meio do aumento da eficiência no aproveitamento dos recursos locais. Para tanto, faz-se necessária uma gestão competente, sendo o uso de tecnologias apropriadas e a capacitação e organização dos agricultores a base para um desenvolvimento agrário sustentável. Diante dessa perspectiva, pode-se perceber que a discussão acerca do cultivo de oleaginosas deve ultrapassar os limites do debate dos biocombustíveis, a fim de atingir as questões maiores que prejudicam a conservação e preservação das áreas naturais e da biodiversidade.

No que se refere aos aspectos técnicos, muitos pesquisadores têm desenvolvido pesquisas a fim de otimizar os parâmetros da produção de biodiesel e aumentar sua qualidade. Segundo Dabdoub *et al.* (2009), a procura por novas matérias-primas a serem utilizadas na produção do biodiesel veio de encontro ao fato de que muitos óleos ou gorduras vegetais e animais não possuem composição adequada para permitir que o produto da sua transesterificação se enquadre nas especificações de qualidade exigidas para ser usado como combustível. Os autores também apontam que são relevantes as pesquisas sobre o processo produtivo do biodiesel, considerando vantagens técnicas e econômicas. Ademais, ressaltam a importância de que essas pesquisas extrapolem o meio acadêmico e sejam úteis na realidade da indústria e afirmam que o desenvolvimento científico e tecnológico necessário à viabilização econômica da produção do biodiesel é realizável.

Diante do exposto, percebe-se que o biodiesel, como uma matriz energética alternativa, possui vantagens ambientais, sociais, econômicas e técnicas. Por ser uma matriz emergente, ainda exige adaptações na sua produção, comercialização e uso. Contudo, diante do contexto energético atual, o biodiesel se apresenta como uma alternativa viável, em fase de expansão e que atende às necessidades dos combustíveis da nova revolução energética.

O BIODIESEL NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Segundo o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, o Brasil importa 10% do diesel que consome principalmente no transporte de passageiros e de cargas. Este

combustível é o mais utilizado no país, correspondendo a 57,7% do consumo nacional de combustíveis veiculares. O biodiesel ajuda na autossuficiência de petróleo no Brasil, pois permite a economia na importação de petróleo e de óleo diesel, além de minimizar a poluição gerada pelos motores a diesel. Segundo pesquisa do IBRE/FGV, quando o país liberar a utilização do B10, economizará aproximadamente R\$ 4,3 bilhões com a importação de diesel (TAGUCHI, 2011).

O interesse do Brasil na produção de biodiesel tem crescido bastante nos últimos anos. Conforme relatam Suarez & Meneghetti (2007), em 2003, foi criado um Grupo de Trabalho Interministerial para estudar a viabilidade do uso de óleos, gorduras e derivados como combustível e indicar as ações necessárias para a sua implementação. No mesmo ano, foi criada uma Comissão Executiva Interministerial (CEIB), associada a membros da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e Petrobras. Em 2004, foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) do Governo Federal. O programa tem como objetivo promover a implantação de projetos autossustentáveis, produzindo biodiesel a partir de diferentes oleaginosas cultivadas em diversas regiões do país, gerando renda para a população local e promovendo a inclusão social e o desenvolvimento regional.

Segundo o Plano Nacional de Agroenergia (2006), o Brasil possui uma série de vantagens que impulsionam o país rumo a uma posição de liderança no mercado global de bioenergia: disponibilidade de terras agricultáveis, clima tropical, alta biodiversidade, grande quantidade de recursos hídricos, indústria agrícola estabelecida e um grande mercado doméstico de biocombustíveis, que seja capaz de apoiar a expansão no mercado internacional. Para Quintella *et al.* (2009), “o Brasil apresenta um diferencial significativo, tendo diversidade de culturas que não competem com as de alimentação, terras agricultáveis, clima, solo, mão-de-obra, tecnologia e mercado interno crescente”.

A lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, incluiu os biocombustíveis derivados de óleos e gorduras em nossa matriz energética. Em 2008, o uso de B2 (mistura de 2% de biodiesel ao diesel) passou a ser obrigatório. No Brasil, a produção de biodiesel tem aumentado intensamente nos últimos anos e o país está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo. Em 2009, a capacidade nominal de produção de biodiesel puro (B100) foi de aproximadamente 4,4 bilhões de litros, com uma produção efetiva de 1,6 bilhões de litros, o que correspondeu a 36,6% da capacidade total (ANP, 2010).

Até agosto de 2011, foram realizados 23 leilões de biodiesel da ANP. No primeiro, realizado em 23 de novembro de 2005, foram arrematados 70.000 m³ (ANP, 2010) e, no 23º,

o volume arrematado subiu para 700.000 m³, representando um montante negociado de aproximadamente 1,6 bilhões de reais (ANP, 2011). Destaca-se a transição da mistura opcional de 2% de biodiesel ao diesel (fase em que houve os primeiros cinco leilões) para a obrigatoriedade da mistura de 4% no terceiro trimestre de 2009 e de 5%, a partir de janeiro de 2010 (ANP, 2011). A Resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que aumentou de 4% para 5% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel, incentivou a aquisição de biodiesel pelas distribuidoras. Inicialmente, essa transição para o B5 estava previsto apenas para 2013.

Muitos estudos científicos recentes têm mostrado as vantagens de incentivar a produção e utilização de biodiesel no Brasil. Allen *et al.* (2008), ao investigarem a poluição atmosférica causada por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos na região da Baixada Santista, concluíram que as emissões desses poluentes são causadas principalmente pelos veículos movidos a diesel, cujo tráfego na área é intenso. Os autores ressaltam que as emissões de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos geradas no transporte rodoviário superam aquelas das fontes industriais do complexo de Cubatão. Desse modo, eles afirmam que o uso crescente de biodiesel em misturas com o diesel convencional pode reduzir as emissões de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no transporte rodoviário.

Coronado *et al.* (2009), por sua vez, analisaram as emissões de gás carbônico decorrentes da utilização dos principais combustíveis do mercado brasileiro, considerando a sua frota veicular no período de dezembro de 2002 a janeiro de 2008. Esse trabalho mostrou que o combustível que libera a maior quantidade de CO₂ na atmosfera é o diesel, enquanto a natureza oxigenada do biodiesel faz com que sejam produzidas taxas menores de hidrocarbonetos não queimados e de monóxido de carbono no escapamento. A principal vantagem, no caso biodiesel, é que as emissões de CO₂ podem ser consideradas como créditos de carbono, tendo em vista que ele é um biocombustível, produzido por meio da fotossíntese. Portanto, as emissões decorrentes do uso do biodiesel são 78,45% menores em comparação com o uso do diesel.

Após estimar o total de poluente emitidos por ônibus e microônibus abastecidos com diesel, gás natural ou biodiesel na cidade de Campo Grande (MS), Koserski & Hess (2006) afirmam que a substituição do diesel pelo biodiesel poderia reduzir as emissões de poluentes, promover a geração de novos empregos nas atividades agrícolas e industriais e permitir a diminuição na importação de petróleo (que o Brasil realiza, principalmente, para suprir a demanda de diesel).

No que se refere à qualidade do biodiesel no Brasil, Souza *et al.* (2009) analisaram o biodiesel e as misturas de biodiesel e diesel que são comercializadas na cidade de Manaus (AM). Diante da caracterização físico-química realizada, puderam afirmar que as misturas

estavam de acordo com as especificações da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – para os parâmetros analisados. Ademais, aconselham que sejam intensificados os trabalhos de quantificação da porcentagem de biodiesel acrescido ao diesel nos postos de combustíveis brasileiros.

Tomando como referência esse contexto favorável ao uso do biodiesel no Brasil, é possível observar que a mídia brasileira divulgou, em 2010, muitas notícias sobre o assunto, permitindo traçar um quadro situacional do consumo de biodiesel. Com frequência, são divulgadas reportagens sobre a Linha Verde de Curitiba, a primeira do Brasil a utilizar o B100. Como efeito, verificou-se uma redução de 30% nas emissões de monóxido de carbono e de 25% nas emissões de fumaça em relação ao diesel, além de não terem sido observados problemas mecânicos. A frota de seis veículos completou um ano de uso em agosto de 2010 e pretende-se ampliá-la para 150 unidades até 2012, o que representa 10% dos ônibus de Curitiba (VALLE, 2010).

No Rio de Janeiro, uma frota especial de ônibus abastecidos com B20 está circulando, como parte do Programa Experimental Biodiesel 20%, de modo a investigar a viabilidade de usar esse combustível nos veículos coletivos durante os Jogos Olímpicos de 2016. Em 2011, o Governo do Estado pretende alcançar a meta de 8.500 ônibus circulando com biodiesel. Também nessa cidade, começaram a ser testados, no início de dezembro de 2010, ônibus híbridos movidos a biodiesel e energia elétrica, que já foram testados em São Paulo e Curitiba. As pesquisas previamente realizadas trazem a expectativa de que esses veículos sejam responsáveis por uma grande economia no consumo de combustível, bem como uma redução de até 90% na emissão de poluentes atmosféricos (DIAS, 2010). Em 2010, também começou a ser utilizada a nova frota de ônibus da Câmara de Deputados em Brasília, sendo movida a biodiesel (PRADO, 2010), e, em 2011, circulam 1,2 mil ônibus com B30 em São Paulo.

Uma pesquisa realizada pela CNT (Confederação Nacional do Transporte) e pelo Sest Senat (2010) avaliou as implicações da adição de 4% de biodiesel ao diesel comum no consumo e na manutenção dos veículos, por meio de entrevistas com 262 empresas de transporte de cargas e de passageiros, rodoviário e urbano que participam do Despoluir (Programa Ambiental do Transporte) nas cinco regiões brasileiras, no período de agosto a novembro de 2009. Dessas empresas, 76% não observaram nenhuma alteração nos motores de seus veículos em virtude da adição do biodiesel ao diesel.

Entretanto, o governo brasileiro ainda precisa incentivar de forma mais ágil a produção e consumo de biodiesel no Brasil, tendo em vista os seus benefícios e o fato de que as indústrias não estão operando em sua capacidade total. Esses incentivos seriam: liberar um

novo marco regulatório, aumentando o percentual da mistura de biodiesel ao diesel; estimular políticas públicas que permitam a exportação do biodiesel; reduzir o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e promover a diversificação das matérias-primas, aumentando a participação da agricultura familiar (TAGUCHI, 2011).

A IMPORTÂNCIA DE ESTUDAR MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E O PAPEL DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Há diversas matérias-primas para a produção de biodiesel: óleos e gorduras residuais (evitando o descarte no meio ambiente), gorduras animais, óleos vegetais (PARENTE, 2003) e óleo proveniente de microalgas (CHISTI, 2007). O biocombustível obtido a partir da extração dos óleos vegetais tem sido muito estudado (DERMIBAS & DERMIBAS, 2007). Em pesquisa realizada por Azam *et al.* (2005), foram examinados perfis de ácidos graxos de óleos de sementes de 75 espécies de plantas tendo 30% ou mais de óleo fixado em sua semente. Muitos desses vegetais têm potencial para uso na produção de biodiesel e concluiu-se que 26 deles contêm óleos com ácidos graxos de ésteres metílicos adequados para transformação em biodiesel de acordo com os padrões da Organização de Padrões dos Estados Unidos e Europa.

Conforme dados do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, existem dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas, tais como mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja. Outras alternativas são algodão, nabo forrageiro e licuri (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006). É importante notar que os óleos vegetais escolhidos para a produção de biocombustíveis variam de acordo com o local, que deve apresentar clima, geografia e economia específicos (FERRARI *et al.*, 2005). Gärtner & Reinhardt (2006) afirmam que as condições climáticas predominantes em cada região e a infraestrutura local ajudam a determinar qual a melhor matéria-prima para a produção de biodiesel. Garcez & Vianna (2009) ressaltam que um importante aspecto do PNPB é a não especificidade, ou seja, o biodiesel produzido no Brasil não deve ser limitado por nenhuma matéria-prima nem por processos industriais, permitindo que esse biocombustível seja produzido a partir de diversas matérias-primas em todas as regiões do país.

Segundo Suarez & Meneghetti (2007), a produção brasileira de artigos com o tema geral “biodiesel” equipara-se à de países como França, Alemanha e Itália. Porém, o baixo número de patentes internacionais originadas em nosso país reflete a dificuldade de converter ciência em tecnologia utilizada nas plantas de produção de biodiesel, gerando uma

dependência tecnológica dos outros países. A existência dessa dificuldade foi confirmada por Quintella *et al.* (2009).

Entretanto, amplas discussões sobre as oleaginosas que podem ser utilizadas para biodiesel no Brasil não são matéria frequente da literatura técnica. Por conseguinte, são importantes as pesquisas nessa área, com a finalidade de apoiar a produção de biodiesel no país, utilizando matérias-primas adaptadas às suas condições, e favorecer o desenvolvimento regional.

A região Nordeste destaca-se no cenário de inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, pois seu clima favorece o crescimento de diversos vegetais que são potenciais matérias-primas para biodiesel. As culturas energéticas mais adequadas ao nordeste semiárido são aquelas que não necessitam de irrigação intensa e convivem bem com o regime pluviométrico da região, a qual possui diversas espécies xerófitas que podem servir para a produção de óleo para o biodiesel. Ademais, o cultivo de oleaginosas realizado pelas comunidades dessa área fomenta a geração de emprego e renda, representando uma alternativa que promove melhorias ambientais e incentiva o crescimento socioeconômico.

A ESPÉCIE VEGETAL *Moringa oleifera* Lam. E SUAS POTENCIALIDADES

UTILIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA PARA BIODIESEL

Uma oleaginosa que pode ser utilizada como matriz para biodiesel no semiárido nordestino é *Moringa oleifera* Lam. (conhecida como moringa), árvore de regiões semiáridas ou úmidas (MORTON, 1991, e MUGHAL *et al.*, 1999, *apud* ANWAR & BHANGER, 2003). Trata-se de uma espécie de crescimento rápido e que se desenvolve bem mesmo em solos pobres, sendo pouco afetada pela seca (RASHID *et al.*, 2008; MORTON, 1991, e MUGHAL *et al.*, 1999, *apud* ANWAR & BHANGER, 2003), e é originária de regiões da Ásia, África e América do Sul (MORTON, 1991, *apud* RASHID *et al.*, 2008). Segundo Joly (2005), o gênero *Moringa* é o único da família Moringaceae e atualmente é encontrado nas regiões tropicais de todo o mundo.

No Brasil, a espécie é conhecida no Maranhão desde 1950 (AMAYA *et al.*, 1992, *apud* GALLÃO *et al.*, 2006) e foi introduzida como planta ornamental (ALVES *et al.*, 2005). Seu estudo tem sido ampliado em nosso país, o que é comprovado pela realização do Encontro Nacional de Moringa, evento anual que tem acontecido desde 2009. Os trabalhos

apresentados neste e em outros eventos apontam a ocorrência da moringa nos estados do Rio Grande do Norte, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná, sendo amplamente distribuída no país.

Suas sementes têm aproximadamente 40% de óleo, sendo 76% de ácido oléico (ANWAR & BHANGER, 2003; RASHID *et al.*, 2008), adequado para produção de biodiesel. Segundo Pritchard *et al.* (1991, *apud* ANWAR & BHANGER, 2003), o conteúdo médio de óleo das sementes de moringa é maior que o de quatro culturas oleíferas convencionais: algodão (15 a 24%), soja (17 a 21%), cártamo (25 a 40%) e mostarda (24 a 40%), cultivadas nos Estados Unidos, Brasil, China e em outros países asiáticos e europeus. Anwar & Bhangar (2003) observaram que o óleo de moringa apresenta um bom estado oxidativo e consideraram que a concentração de δ -tocoferol pode contribuir para a excelente estabilidade oxidativa desse óleo, protegendo-o durante a estocagem e o processamento.

Para Rashid *et al.* (2008), o biodiesel derivado da moringa é ótimo substituto para o petrodiesel. Esses pesquisadores encontraram o valor de 67,07 para o número de cetano do biodiesel derivado da moringa, o que está de acordo com os padrões de qualidade internacionais e representa a principal qualidade desse biodiesel. Gerpen (2006) explica que o número de cetano é uma das propriedades mais importantes do diesel e que os combustíveis com altos valores promovem pequenos retardamentos na ignição dos motores. Os autores reportam que esse biocombustível tem um dos maiores números de cetano já relatados para biodiesel, o que é corroborado pelos valores apresentados por Knothe *et al.* (2006) para os ésteres de diferentes óleos vegetais, óleos utilizados em frituras e gordura animal. Rashid *et al.* (2008) também obtiveram valores adequados de viscosidade, estabilidade oxidativa, lubrificidade e acidez para o biodiesel derivado do óleo de *M. oleifera*, considerando os padrões de qualidade.

Anwar & Bhangar (2003) verificaram que o resíduo da semente de moringa, resultante da extração do óleo, apresenta um alto conteúdo de proteínas, que variou de 26,5 a 32% entre as sementes coletadas em diferentes localidades. Conforme os autores, esse resíduo, então, poderia ser acrescentado à dieta de aves e utilizado como fertilizante, conferindo valor aos subprodutos da extração do óleo.

Entretanto, o conteúdo e as propriedades do óleo de *Moringa oleifera* variam de acordo com as condições ambientais do seu local de cultivo (IBRAHIM *et al.*, 1974, *apud* ANWAR & BHANGER, 2003), sendo importantes as pesquisas científicas com foco nos espécimes coletados em diferentes locais de estudo. Em geral, os trabalhos que tratam das características do óleo da moringa, principalmente aqueles que o relacionam a biodiesel, são

bastante recentes e não foram realizados no Brasil (KAFUKU & MBARAWA, 2010; MARTÍN *et al.*, 2010; KAFUKU *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010; RASHID *et al.*, 2008). Tratando-se de uma espécie já cultivada neste país, é fundamental estudar os aspectos dos espécimes nele existentes.

UTILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Essa espécie vegetal também pode ser utilizada no tratamento de água para consumo humano. Nesse contexto, deve-se considerar que a água apresenta-se como um bem público de uso bastante restrito. Sabe-se que ela é a substância mais abundante em nosso planeta, mas apenas 0,3% do total está disponível para consumo humano, já que o restante está nos oceanos, geleiras, atmosfera ou a uma profundidade acima de 800 m (BASSOI & GUAZELLI, 2004). Além disso, a água está distribuída de forma desigual em nosso planeta; a poluição causada pelas atividades humanas é intensa, comprometendo sua qualidade, e a falta de gestão ambiental e gestão pública adequadas agrava a situação e prejudica o acesso de populações mais remotas, como as do semiárido do nordeste do Brasil, a água potável.

Esse complexo quadro resulta em milhares de mortes a cada ano devido à falta de água ou ao consumo de água de péssima qualidade, que causa diversas doenças já combatidas nos países desenvolvidos. Verifica-se que a água é um bem que permite o controle e prevenção de doenças, a manutenção de hábitos higiênicos adequados e a redução da mortalidade (FUNASA, 2006), devendo ser protegida e fornecida em boas condições à população humana. Ademais, a falta de água potável é um problema que compromete o desenvolvimento social e econômico (ARNAL *et al.*, 2006).

Em áreas rurais de países em desenvolvimento, a água subterrânea, que requer pouco ou nenhum tratamento, é a mais utilizada para consumo humano. Em sua ausência, são utilizadas águas relativamente limpas de lagos ou córregos, as quais devem ser tratadas com métodos simples (SCHULZ & OKUN, 1984, *apud* BABU & CHAUDHURI, 2005). Para consumo humano, a água deve ser potável, ou seja, apresentar parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos que atendam aos padrões de potabilidade e não oferecer riscos à saúde (FUNASA, 2006). No Brasil, a legislação referente aos padrões de potabilidade da água é a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, de 2011.

Contudo, milhões de pessoas sofrem com a falta de água potável e, em países em desenvolvimento, problemas como o custo das estações de tratamento, o baixo poder aquisitivo e a escassez de tecnologias adequadas devem ser combatidos com sistemas de

tratamento de água sustentáveis, de baixo custo e fácil operação e que utilizem os recursos locais (GHEBREMICHAEL, 2004; GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005).

As principais operações realizadas no tratamento convencional de água são: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. A coagulação é um processo crucial na remoção de partículas dissolvidas e suspensas na água, consistindo na desestabilização das partículas coloidais que podem ser removidas nas etapas seguintes (GHEBREMICHAEL, 2004). Trata-se de um tratamento químico que permite a posterior deposição das substâncias em suspensão e em colóides presentes na água, sendo utilizado um composto como sulfato de alumínio ou sulfato ferroso. Esse processo é realizado com uma mistura rápida, em que os compostos químicos são adicionados quando a água está turbulenta em função da presença de estruturas como calha Parshall ou vertedores (FUNASA, 2006). Realizar coagulação e floculação adequadas, seguidas de sedimentação e filtração, pode promover também uma remoção de 99% de bactérias e vírus (FAUST & ALY, 1998, *apud* GHEBREMICHAEL, 2004).

Na floculação, os compostos químicos acrescidos na coagulação reagem com a alcalinidade da água, formando partículas com carga elétrica superficial positiva que retêm as impurezas presentes na água (material suspenso, colóides, alguns sais dissolvidos e bactérias), que têm carga elétrica superficial negativa. Os flocos formados nessa etapa são removidos da água por meio da sedimentação e as partículas que ainda permanecem em suspensão na água são removidas com a filtração (operação em que a água passa por uma camada filtrante, formada, por exemplo, por areia de granulometria específica suportada por cascalho). Por fim, a desinfecção elimina os microrganismos patogênicos que ainda estão presentes na água (FUNASA, 2006).

Esses processos do tratamento convencional de água podem ser simulados em laboratório, através de ensaios de tratabilidade em equipamentos como o jarteste, que é um conjunto de reatores estáticos que fornece diferentes gradientes de velocidade. Desse modo, podem ser testados diferentes coagulantes na água a ser tratada e podem ser simuladas também a floculação e a sedimentação, sendo a água analisada antes e depois da realização dessas operações (DI BERNARDO *et al.*, 2005). Trata-se de um método largamente utilizado para avaliar os processos de coagulação e floculação (ABALIWANO *et al.*, 2008).

Alguns parâmetros são utilizados na avaliação da qualidade da água, como DQO (demanda química de oxigênio, que é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica por um agente químico), cor e turbidez (PHILIPPI JR. *et al.*, 2004). Esta é causada pela presença de substâncias em suspensão na água, como argila e matéria orgânica, e

afeta sua transparência, enquanto a cor é devida a substâncias dissolvidas e não afeta a transparência da água (FUNASA, 2006).

Sais de alumínio e de ferro são os coagulantes mais utilizados no tratamento de água para consumo humano, porém seu custo e efeitos no meio ambiente têm motivado o uso de coagulantes orgânicos derivados de plantas (GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005). Algumas sementes são coagulantes eficientes, como as de *Moringa oleifera* (JAHN, 1988, *apud* BABU & CHAUDHURI, 2005; GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005). Nesse sentido, muitos autores confirmam que as sementes de *Moringa oleifera* agem como um coagulante que remove turbidez e melhora a qualidade microbiológica da água (BABU & CHAUDHURI, 2005; GHEBREMICHAEL, 2006; ABALIWANO *et al.*, 2008; GHEBREMICHAEL *et al.*, 2005).

Segundo Ndabigengesere & Narasiah (1998) e Ndabigengesere *et al.* (1995), as sementes de moringa possuem um viável coagulante alternativo ao alumínio, que pode ser utilizado não apenas em países em desenvolvimento, mas em todo o mundo. Ao contrário dos sais de alumínio, a aplicação das sementes de moringa resulta em menor volume de sedimentos e não apresenta riscos à saúde. Lédo *et al.* (2010) confirmam que *M. oleifera* funciona como um eficiente coagulante, cujo efeito é comparável ao do sulfato de alumínio, sendo uma tecnologia de baixo custo e aceitável do ponto de vista ambiental.

Ghebremichael (2006) afirma que a proteína coagulante isolada das sementes de moringa promove coagulação semelhante ao sulfato de alumínio, contribuindo para o fortalecimento do uso sustentável da planta. Abaliwano *et al.* (2008) isolaram a proteína coagulante de moringa, encontraram uma remoção de mais de 95% da turbidez de águas altamente túrbidas (com valores de turbidez acima de 100 UNT) e sugerem seu uso também como coagulante auxiliar para reduzir o consumo de outros coagulantes.

Ghebremichael *et al.* (2005) confirmaram o efeito antimicrobiano da proteína coagulante de moringa, testada sobre *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus thuringiensis*. Pritchard *et al.* (2010a), por sua vez, afirmam que a redução de *E. coli* na água tratada com *M. oleifera* encontrada em seu trabalho está diretamente relacionada à remoção de turbidez promovida pela coagulação.

Ao estudar o uso da moringa como coagulante para tratamento de água, Silva & Matos (2008) verificaram que a remoção do conteúdo oléico das sementes de *M. oleifera* pode contribuir para maior remoção de turbidez na água. Os autores observaram também que a aplicação da moringa é mais apropriada a águas que apresentam maior turbidez e que a utilização de sementes de *M. oleifera* sem casca e sem óleo resultou em menores valores residuais de cor aparente e turbidez da água tratada. Ghebremichael *et al.* (2005), por sua vez, não observaram diferenças na atividade coagulante antes e depois da extração do óleo da

semente. Contudo, dizem que é possível obter a proteína responsável pela função coagulante a partir do resíduo da extração do óleo.

Nesse sentido, Ghebremichael *et al.* (2005) afirmam que uma das vantagens de utilizar coagulantes provenientes da moringa é a variedade de produtos úteis que podem ser extraídos da semente: óleo; sólidos residuais (que podem ser usados como ração animal e fertilizante); cascas (que podem ser ativadas e utilizadas como um material adsorvente). Conforme o trabalho desses autores, a proteína coagulante isolada a partir de *M. oleifera* é termorresistente, o que torna mais viável o seu processamento e a extração de óleo por tratamento de calor previamente ao processo de purificação da proteína. Para Anwar & Bhangar (2003), a farinha resultante da extração do óleo da semente de moringa pode ser uma fonte de produtos químicos para tratamento de água, agregando valor ao cultivo da espécie. Ndabigengesere & Narasiah (1998), por sua vez, afirmam que é mais vantajoso utilizar as sementes de moringa como coagulante e como fonte de óleo vegetal simultaneamente. Gallão *et al.* (2006) ressaltam que a cultura dessa espécie está difundida no semiárido nordestino, devido a sua utilização no tratamento de água para uso doméstico.

USOS ALIMENTÍCIOS E MEDICINAIS

Ressalta-se que a moringa é um vegetal de múltiplos usos: também possui alto valor nutricional e usos medicinais (ANWAR *et al.*, 2007), favorecendo o uso sustentável da espécie. Sánchez-Machado *et al.* (2010) afirmam que a moringa tem sido plantada em várias partes do mundo e tem sido utilizada em programas de nutrição adequada para a população rural de regiões áridas. Estes autores também explicam que o consumo da moringa como alimento pode gerar benefícios financeiros e sociais para a população dos países em que ocorre seu cultivo, favorecido pelo rápido crescimento e pela alta tolerância a diferentes condições climáticas.

Na Ásia, as flores de *M. oleifera* são misturadas a outros alimentos por serem fonte de cálcio, potássio e flavonóides, que são antioxidantes, e as folhas são usadas em várias partes do mundo como suplemento nutricional por possuírem quantidades significativas de vitaminas A, B e C, cálcio, ferro e proteínas (RAMACHANDRAN *et al.*, 1980, *apud* FERREIRA *et al.*, 2008). Considerando que a quantidade de vitamina A nas folhas dessa planta (23.000 UI) é bem maior que aquela presente em outros alimentos, como brócolis (5.000 UI), cenoura (3.700 UI), espinafre (1.900 UI) e alface (1.000 UI) (AMAYA *et al.*, 1992, *apud* FERREIRA *et al.*, 2008; SILVA & KERR, 1999, *apud* FERREIRA *et al.*, 2008),

no Brasil, a moringa tem sido divulgada como uma fonte dessa vitamina (FERREIRA *et al.*, 2008).

Mendieta-Araica *et al.* (2011) afirmam que as folhas de espécimes de moringa produzidos localmente podem fazer parte da dieta de vacas leiteiras como fonte de proteínas. Já Sánchez-Machado *et al.* (2010) concluíram que as folhas e flores dessa espécie são uma fonte de proteínas com perfil de aminoácidos adequado à alimentação humana, enquanto as vagens imaturas apresentam um alto conteúdo de fibras e baixo teor de lipídios.

Alguns pesquisadores também estudaram as funções medicinais de *M. oleifera*. Anwar *et al.* (2007) identificaram, na literatura, relatos das propriedades medicinais de várias partes da planta (folha, raiz, semente, casca, flor e fruto), tais como anti-inflamatória, antioxidante, hepatoprotetora e diurética. Chuang *et al.* (2007) estudaram a atividade antifúngica de sementes e folhas da espécie e sugerem a sua utilização no desenvolvimento de agentes para tratar doenças dermatológicas.

Jain *et al.* (2010), por sua vez, reportam a ação que extratos da folha de moringa têm na redução das taxas de colesterol, em pesquisa com animais de laboratório. Siddhuraju & Becker (2003), que estudaram a atividade antioxidante das folhas de moringa, afirmam que a combinação entre os conhecimentos tradicionais e aqueles adquiridos por meio de experimentos em laboratório pode fortalecer a utilização da moringa como forma de melhorar a saúde humana, em virtude das propriedades nutricionais e medicinais desse vegetal. Serafini & Silva (2011) observaram um incremento na deposição de patentes em bancos de dados internacionais, para as quais foi utilizada a moringa como matéria-prima, principalmente no que se refere a aplicações medicinais e cosméticas.

MATRIZES DISCIPLINARES NECESSÁRIAS AO ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DA MORINGA

Observa-se que as funções de *Moringa oleifera* podem ser associadas, gerando múltiplos benefícios, o que justifica sua escolha como objeto de estudo dentro da temática de matrizes para produção de biodiesel. Ademais, o uso de plantas adaptadas às condições do semiárido diminui os investimentos em irrigação e insumos utilizados no cultivo agrícola e valoriza os recursos naturais disponíveis na própria região. Vê-se, então, que é necessário realizar estudos relacionados à moringa em diferentes áreas do conhecimento, com o propósito de integrá-los no objetivo comum de fundamentar a utilização da espécie para diversos fins. Nesse contexto, a proposta de desenvolvimento sustentável deve servir como

base para essa integração, considerando o que foi apresentado e discutido no primeiro tópico deste texto.

Algumas dessas áreas do conhecimento são identificadas no presente trabalho como ferramentas para a compreensão das funções da moringa, com foco na sua utilização como matriz para produção de biodiesel. A primeira delas é a Anatomia Vegetal, “o ramo da Botânica que estuda a estrutura interna dos organismos vegetais” (APPEZZATO-DA-GLÓRIA & CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Tendo em vista que os estudos anatômicos auxiliam no entendimento da fisiologia, produtividade e formas adequadas de manejo de plantas de interesse econômico, a Anatomia Vegetal é um campo de destaque na Agronomia (SILVA *et al.*, 2005). A organização histológica vegetal também reflete diversos aspectos funcionais e adaptativos, fornecendo indicativos da relação da planta com o ambiente em que está inserida. Conforme Esaú (2002), adaptações evolutivas das plantas aos diferentes habitats podem estar associadas a características estruturais diferentes, principalmente no que diz respeito à disponibilidade hídrica. Assim, a anatomia vegetal torna-se uma ferramenta importante no estudo das respostas evolutivas das espécies ao seu meio, além de contribuir para classificação taxonômica e filogenética das espécies e para o conhecimento existente acerca da biodiversidade. Este, por sua vez, é fundamental para a conservação de biomas como a caatinga, ameaçados pela exploração descontrolada. Ademais, o estudo anatômico das sementes que podem ser utilizadas como matrizes para produção de biodiesel permite identificar suas reservas de óleo.

Outro campo importante para compreender as funções da moringa é a Química, que tem sido útil no estudo do óleo de espécies vegetais que podem ser matrizes para produção de biodiesel. Isso consta em Kafuku & Mbarawa (2010), Martín *et al.* (2010), Kafuku *et al.* (2010), Silva *et al.* (2010) e Rashid *et al.* (2008), que estudaram o óleo de *M. oleifera*, bem como em Albuquerque *et al.* (2005), Azam *et al.* (2005), Bozan & Temelli (2008), Lima *et al.* (2007), Martínez-Herrera *et al.* (2006), Matos *et al.* (1992), Mayworm *et al.* (1998) e Santos *et al.* (2008), que estudaram outros óleos vegetais, como o de buriti (*Mauritia flexuosa* L.), pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e castanhola (*Terminalia catappa* L.).

Além disso, para estudar o potencial de utilização da moringa para tratamento de água, os conhecimentos da área de Saneamento Ambiental são importantes. Essa área compreende o conjunto de ações socioeconômicas que objetivam alcançar salubridade ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger

e melhorar as condições de vida urbana e rural. Trata-se de um instrumento de promoção da saúde que pretende superar os entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que dificultam a extensão dos benefícios aos residentes em áreas rurais, municípios e localidades de pequeno porte, considerando que a maioria dos problemas sanitários que afetam a população mundial estão relacionados com o meio ambiente (FUNASA, 2006).

Tendo em vista essas considerações, a hipótese deste trabalho é que a moringa tem características que justificam seu cultivo com fins de produção de biodiesel e tratamento de água no semiárido nordestino. Desse modo, o objetivo do trabalho é investigar o potencial da moringa para essas duas funções. Para isso, identificam-se os seguintes objetivos específicos: analisar a anatomia de caule e folha de *Moringa oleifera*, identificando suas adaptações ao ambiente; analisar a anatomia da semente para observação das reservas oleíferas; quantificar e qualificar o óleo das sementes, verificando se ele tem características favoráveis à produção de biodiesel; produzir uma amostra de biodiesel a partir desse óleo; investigar o potencial coagulante das sementes para tratamento de água. Nessa perspectiva, a proposta do trabalho é ajudar a direcionar as políticas de desenvolvimento no semiárido nordestino, com base em uma espécie vegetal que tem múltiplos usos: a moringa.

Conforme padronização estabelecida pelo PRODEMA/UFRN, esta dissertação tem como conteúdo: introdução geral e fundamentação teórica; metodologia geral empregada para o conjunto da obra; referências utilizadas na introdução geral e na metodologia geral; um capítulo intitulado “Adaptações anatômicas de *Moringa oleifera* Lam., uma matriz para produção de biodiesel”; um capítulo intitulado “Características químicas do óleo e atividade coagulante de sementes de *Moringa oleifera* Lam., uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água”; conclusão geral. Os dois capítulos correspondem a artigos científicos que serão submetidos à publicação em periódico. Portanto, esses capítulos estão no formato dos periódicos aos quais serão submetidos e cujas normas encontram-se em anexo. O primeiro será submetido à Revista Cerne (cujas normas se encontram no Anexo 1) e o segundo, à Brazilian Journal of Chemical Engineering (cujas normas se encontram no Anexo 3).

METODOLOGIA GERAL

ANÁLISES HISTOLÓGICAS

Para a realização do presente trabalho, foi feita uma revisão da literatura científica a respeito dos temas em estudo. Para a análise anatômica, foram coletadas amostras da parte vegetativa aérea (caule e folha) de 10 espécimes de *Moringa oleifera* Lam., sendo 5 coletadas na cidade de Natal e 5, na cidade de Apodi (Rio Grande do Norte, Brasil). Natal está localizada em uma região de clima tropical chuvoso quente com verão seco e Apodi, em uma região de clima muito quente e semiárido (IDEMA, 2011). Também foi utilizada uma amostra de sementes coletadas em Orlando, Estados Unidos. As amostras vegetativas foram fixadas em álcool 70% e, em seguida, foram confeccionadas lâminas histológicas semipermanentes. Para isso, foi seguida a metodologia de Luque *et al.* (1996, modificado).

As secções transversais dos fragmentos caulinares e foliares foram feitas à mão livre, com lâmina de aço inox, e alvejadas em solução de hipoclorito de sódio para retirar os pigmentos naturais. Essas secções foram coradas com azul de alcian 1% e safranina 1%, para evidenciar os tecidos de forma diferencial, e imersas em álcool 80% acidificado e em álcool 100%, de modo a fixar os corantes. Também foi utilizada como corante uma solução à base de iodo, para identificar reservas de amido (amiloplastos) em secções transversais do caule. Nas secções transversais da semente, foi utilizado o corante sudan black para evidenciar as reservas lipídicas. Por fim, as secções foram postas em lâminas com glicerina 50%. As secções histológicas foram analisadas em microscópio óptico (marca Bioval, modelo L2000A), bem como fotografadas com câmera digital.

ANÁLISES QUÍMICAS DO ÓLEO

A fim de investigar as características químicas do óleo das sementes de *Moringa oleifera*, foram feitas análises no Laboratório de Química Orgânica Analítica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Inicialmente, foi realizada a extração do óleo das sementes sem casca, as quais foram coletadas nos municípios de Macaíba e de Apodi, Rio Grande do Norte. A cidade de Macaíba está localizada em uma região de clima tropical chuvoso (clima muito semelhante ao da capital do estado, Natal) e Apodi, em uma região de clima muito quente e semiárido (IDEMA, 2011).

As sementes foram maceradas em almofariz e postas para secar em estufa a 120 °C durante 75 minutos, tendo em vista que a umidade presente na amostra poderia alterar os resultados de rendimento obtidos na extração. Foi determinada a massa inicial das sementes maceradas e foi realizada a pesagem da amostra nos tempos de 15, 30, 45, 60 e 75 minutos após o início da secagem, para acompanhar a redução da umidade.

Em seguida, o pó resultante foi submetido à extração por solvente via agitação mecânica, na qual se utilizou 100 mL de clorofórmio e metanol na proporção de 1:1. A análise foi realizada em triplicata, sendo de aproximadamente 1,0 g a massa de sementes utilizada em cada amostra. As suspensões de sementes de moringa e solvente foram colocadas em agitador mecânico durante 30 minutos, com rotação de 1.500 rpm. Então, foi adicionado sulfato de sódio anidro e, após 15 minutos, foi realizada a filtração do material em papel de filtro. As amostras resultantes foram colocadas em evaporador, a fim de retirar os solventes utilizados e a umidade residual, e foram pesadas novamente.

O óleo obtido foi analisado em espectrofotômetro UV-Visível (Evolution 60, Thermo Scientific). Para isso, foi dissolvido 0,05 mL do óleo obtido em 3 mL do solvente usado na extração, o qual também foi usado como branco. Foi realizada uma varredura de 200 a 600 nm de comprimento de onda, com intervalos de 2 nm. Por meio do software VisionNite, foi plotado o gráfico de comprimento de onda e absorbância.

A fim de obter uma amostra de biodiesel produzido a partir do óleo de moringa, foi realizada uma reação de transesterificação do óleo extraído das sementes. Foi utilizado metanol (com equivalente molar de 20:1) e catálise básica (com 1% de NaOH), durante 1 hora. O material passou pelas etapas de lavagem, secagem e evaporação e o biodiesel (éster metílico) resultante foi analisado por meio de cromatografia gasosa (com detector por ionização de chama, GC-FID).

ANÁLISES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Para analisar o efeito das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água, foram realizados experimentos no Laboratório de Pesquisas Ambientais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. A primeira etapa foi a preparação do extrato de moringa para aplicação na água como coagulante, com base em Pritchard *et al.* (2010a), Arantes *et al.* (2009), Lédo *et al.* (2010) e Babu & Chaudhuri (2005). Desse modo, as sementes (coletadas nos municípios de Macaíba/RN, Nordestina/BA e Tucano/BA) sem casca foram maceradas em almofariz e postas para secar em estufa a 100 °C durante um dia,

para eliminar a umidade presente na amostra. Ndabigengesere & Narasiah (1998) afirmam que tanto sementes de moringa com casca como sem casca podem ser utilizadas como coagulante, mas aquelas sem casca são mais eficientes. Com 10 g do pó de sementes obtido e 1 L de água destilada, foi preparada uma suspensão, resultando numa concentração de 10 g/L. Ndabigengesere *et al.* (1995) avaliaram a atividade coagulante de extratos de moringa obtidos com diferentes solventes e a água foi o único solvente com o qual foi observada atividade coagulante. Após uma etapa de decantação, foi retirado o sobrenadante da suspensão para uso nos experimentos.

Em seguida, avaliou-se o efeito do extrato de moringa no tratamento de uma amostra de água coletada em uma lagoa de captação de águas pluviais do município de Natal, Rio Grande do Norte. Verificou-se que a turbidez inicial da água bruta coletada era de 20,2 UNT e o seu pH era 10,42. A obtenção deste valor de pH exigiu uma correção, a fim de atingir o valor de 8, que foi considerado ótimo para a atividade coagulante da moringa por Bergamasco *et al.* (2009); Madrona *et al.* (2010) e Okuda *et al.* (2001). A correção foi feita utilizando-se ácido sulfúrico 0,1 N, no volume de 8 mL para 1 L de água a ser tratada.

A coagulação, a floculação e a sedimentação podem ser simuladas em laboratório, através de ensaios de tratabilidade em jarreste, que é um conjunto de reatores estáticos que fornece diferentes gradientes de velocidade (DI BERNARDO *et al.*, 2005), sendo um método largamente utilizado (ABALIWANO *et al.*, 2008). Foi realizado, então, um ensaio em jarreste, em que cada jarro recebeu 1 L de água bruta. Nos jarros 1 e 2, foi feita a correção de pH e, nos jarros 3 e 4, preservou-se o pH original. Nos jarros 1 e 3, utilizou-se 5 mL do extrato de moringa (MO), o que corresponde a uma dosagem de 50 mg/L, e, nos jarros 2 e 4, utilizou-se 10 mL do extrato de moringa, o que corresponde a uma dosagem de 100 mg/L. A mistura rápida, para a etapa de coagulação, foi realizada durante 20 segundos, com rotação de 120 rpm e a mistura lenta, para a etapa de floculação, foi realizada durante 5 minutos, com rotação de 30 rpm, seguida de decantação, durante 10 minutos.

Nesse ensaio, não foi observada a formação de flocos. Assim, realizou-se um teste em pequena escala com agitador magnético, utilizando-se uma amostra de 200 mL de água bruta com pH corrigido, à qual foi aplicada uma dosagem crescente do extrato de moringa, até 250 mg/L, e 1 mL de polímero, para auxiliar no processo de floculação. Contudo, houve apenas a formação de flocos pequenos, que não se aglutinaram nem decantaram. Em uma amostra de água bruta com pH corrigido, testou-se a dosagem de 300 mg/L de extrato, mas o processo de floculação também não foi eficiente.

Diante desses resultados, optou-se por verificar o efeito coagulante da moringa no tratamento de uma amostra de água sintética, produzida em laboratório com argila gorda.

Primeiramente, foi feito um ensaio com agitador magnético, com amostras de água de 200 mL, a fim de determinar a faixa de dosagens do extrato de moringa adequada para ser utilizada no ensaio em jarreste. Foram utilizadas as dosagens de 100, 125, 150, 175, e 200 mg/L e foram determinadas a turbidez, a concentração de sólidos suspensos (SS) e o pH inicial da amostra. Este era 8,42, não sendo necessário fazer a correção. As análises de cor, turbidez e sólidos suspensos foram realizadas em espectrofotômetro.

Em seguida, foi realizado um ensaio em jarreste. Nos jarros de 1 a 3, foi utilizada uma amostra de água sintética com baixa turbidez (BT) e, nos jarros de 4 a 6, a amostra de água apresentava alta turbidez (AT), considerando que estudos já realizados (SILVA & MATOS, 2008; ABALIWANO *et al.*, 2008; PRITCHARD *et al.*, 2010b; MUYIBI & EVISON, 1995; KATAYON *et al.*, 2004; KATAYON *et al.*, 2006) afirmam que a eficiência do extrato de moringa na coagulação é maior em águas mais túrbidas. Nos jarros 1 e 4, foi utilizada a dosagem de 150 mg/L do extrato de moringa; nos jarros 2 e 5, 200 mg/L e, nos jarros 3 e 6, 250 mg/L. A mistura rápida foi realizada durante 30 segundos, com rotação de 120 rpm e a lenta, durante 10 minutos, com rotação de 40 rpm. O tempo de decantação foi de 15 minutos.

Foram determinadas a cor, a turbidez, a concentração de sólidos suspensos e a DQO (demanda química de oxigênio) da água bruta e da água tratada. As análises de DQO foram feitas de acordo com *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 1998), com o objetivo de determinar a presença de resíduos orgânicos na água tratada com moringa e suas consequências no consumo da água.

Diante dos resultados do último ensaio em jarreste, foram realizadas cinco repetições do ensaio, a fim de confirmar os dados obtidos inicialmente. Seguiu-se o mesmo procedimento para a preparação do extrato de moringa, na concentração de 10 g/L, mas as sementes foram postas para secar em estufa durante uma hora e foi utilizada toda a suspensão obtida (não apenas o sobrenadante após decantação).

Em cada um dos cinco ensaios, foram utilizadas 3,42 g de argila para preparação de 3 L de água de baixa turbidez e 10,75 g para 3 L de água de alta turbidez, de modo que cada jarro recebeu 1 L de água bruta. Nos jarros de 1 a 3, foi colocada a água de baixa turbidez e, nos jarros de 4 a 6, a água de alta turbidez. Ademais, foram utilizadas as seguintes dosagens de extrato de moringa: 125 mg/L (nos jarros 1 e 4), 150 mg/L (nos jarros 2 e 5) e 200 mg/L (nos jarros 3 e 6). A dosagem de 125 mg/L foi incluída por ser um valor intermediário entre a dosagem de 150 mg/L, com a qual foram obtidos bons resultados, e a dosagem de 100 mg/L, com a qual não foi observada a floculação. Também foram determinadas a cor, a turbidez, a concentração de sólidos suspensos e a DQO da água bruta e da água tratada. Os resultados foram analisados no programa Statistica, por meio de ANOVA (análise de variância).

REFERÊNCIAS

- ABALIWANO, J. K.; GHEBREMICHAEL, K. A.; AMY, G. L. Application of the Purified *Moringa oleifera* Coagulant for Surface Water Treatment. **Water Mill Working Paper Series**, n. 5. UNESCO – Institute for Water Education. 2008.
- ABRAMOVAY, R. Desenvolvimento sustentável: qual a estratégia para o Brasil? **Novos Estudos**, n. 87, 2010.
- ABRAMOVAY, R.; MAGALHÃES, R. O acesso dos agricultores familiares aos mercados de biodiesel – parcerias entre grandes empresas e movimentos sociais. **Textos para discussão FIPE**, n. 6, 2007.
- ACOT, P. **História da ecologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1990.
- ALBUQUERQUE, M. L. S.; GUEDES, I.; ALCANTARA JR., P.; MOREIRA, S. G. C.; BARBOSA NETO, N. M.; CORREA, D. S.; ZILIO, S. C. Characterization of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) Oil by Absorption and Emission Spectroscopies. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 16, n. 6A, 2005, p. 1113-1117.
- ALLEN, A. G.; ROCHA, G. O.; CARDOSO, A. A.; PATERLINI, W. C.; MACHADO, C. M. D.; ANDRADE, J. B. Atmospheric particulate polycyclic aromatic hydrocarbons from road transport in southeast Brazil. **Transportation Research Part D**, n. 13, 2008.
- ALMEIDA, J. A problemática do desenvolvimento sustentável. In: BECKER, D. F. (Org.). **Desenvolvimento sustentável – necessidade e/ou possibilidade?** Santa Cruz do Sul, RS: EDUNISC. 4. ed. 2002.
- ALVES, M. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M. E.; OLIVEIRA, V. C. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição. **Ciênc. agrotec. Lavras**, v. 29, n. 5, 2005, p. 1083-1087.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: ANP, 2010.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Leilões de biodiesel**. Texto disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=39867&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1294441357517>>. Acesso em: 07 jan. 2011.
- ANWAR, F.; BHANGER, M. I. Analytical Characterization of *Moringa oleifera* Seed Oil Grown in Temperate Regions of Pakistan. **J. Agric. Food Chem.**, n. 51, 2003, p. 6558-6563.
- ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A. H. *Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, n. 21, 2007, p. 17-25.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. New York: American Public Health Association Inc. 1998.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. ed. rev. e atual. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

ARANTES, C. C.; PATERNIANI, J. E. S.; RIBEIRO, L. C. L. J. Uso de coagulantes naturais a base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino visando a redução de turbidez e cor aparente em águas de abastecimento para comunidades rurais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife/PE. **Anais...** Recife: ABES, 2009.

ARNAL, J. M.; GARCÍA-FAYOS, B.; SANCHO, M.; LORA, J.; VERDÚ, G. Water potabilization in developing countries: membrane technology and natural coagulants. **Desalination**, n. 200, 2006.

AZAM, M. M.; WARIS, A.; NAHAR, N. M. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. **Biomass and bioenergy**, v. 29, n. 4, p. 293-302, out. 2005.

BABU, R.; CHAUDHURI, M. Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. **Journal of Water and Health**, v. 3, n. 1, 2005.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARATA, M. M. L.; KLIGERMAN, D. C.; MINAYO-GOMEZ, C. A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 165-170, 2007.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BARNWAL, B. K.; SHARMA, M. P. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 9, p. 363–378, 2005.

BASSOI, L. J.; GUAZELLI, M. R. Controle Ambiental da Água. In: PHILIPPI JR., Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet (Org.). **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004. Cap. 3.

BERGAMASCO, R.; KONRADT-MORAES, L. C.; CARDOSO, K. C.; VIEIRA, A. M. S.; MADRONA, G. S.; KLEN, M. R. F. Diagramas de coagulação utilizando a *Moringa Oleifera* Lam. e o sulfato de alumínio, visando a remoção de cor e turbidez da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife/PE. **Anais...** Recife: ABES, 2009.

BOZAN, B.; TEMELLI, F. Chemical composition and oxidative stability of flax, safflower and poppy seed and seed oils. **Bioresource Technology**, n. 99, 2008, p. 6354-6359.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2. ed. 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Licuri**. Brasília: Gráfica e Editora Ideal, 2006.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.097**, de 13 de janeiro de 2005. Texto disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004.../2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em: 22 nov. 2011.

BRASIL. Presidência da República. **Resolução CNPE nº 6**, de 16 de setembro de 2009. Texto disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_cnpe/2009/rcnpe%206%20-%202009.xml>. Acesso em: 22 nov. 2011.

CARIOCA, J. O. B.; HILUY FILHO, J. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACAMBIRA, F. S. The hard choice for alternative biofuels to diesel in Brazil. **Biotechnology Advances**, n. 27, 2009.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances**, v. 25, p. 294–306, 2007.

CHUANG, P.; LEE, C.; CHOU, J.; MURUGAN, M.; SHIEH, B.; CHEN, H. Anti-fungal activity of crude extracts and essential oil of *Moringa oleifera* Lam. **Bioresource Technology**, n. 98, 2007, p. 232-236.

CIFUENTES, L.; BORJA-ABURTO, V. H.; GOUVEIA, N.; THURSTON, G.; DAVIS, D. L. Assessing the Health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated with Climate Change Mitigation (2000–2020): Santiago, São Paulo, México City, and New York City. **Environmental Health Perspectives**, v. 109, suplemento 3, jun. 2001.

CNT; SEST SENAT. **A adição do biodiesel e a qualidade do diesel no Brasil**. Texto disponível em: <<http://cntdespoluir.org.br>>. Acesso em: 09 dez. 2010.

CORONADO, C. R.; CARVALHO JR., J. A.; SILVEIRA, J. L. Biodiesel CO₂ emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market. **Fuel Processing Technology**, n. 90, 2009.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy Conversion and Management**, n. 50, 2009, p. 14-34.

DEMIRBAS, A.; DEMIRBAS, I. Importance of rural bioenergy for developing countries. **Energy Conversion and Management**, n. 48, 2007, p. 2386-98.

DIAS, G. L. S. Um desafio novo: o biodiesel. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, 2007.

DIAS, M. **Rio: ônibus híbrido tem redução de 90% na emissão de poluentes**. Texto disponível em: <<http://extra.globo.com/geral/casosdecidade/posts/2010/12/03/rio-onibus-hibrido-tem-reducao-de-90-na-emissao-de-gases-poluentes-346697.asp>>. Acesso em: 09 dez. 2010.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2005.

ESAÚ, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blücher. 2002. 293 p.

FERNANDES, J. E. **Catalisadores Cu⁺, Co⁺ ou FeZSM-5** – caracterização e avaliação na redução de NO a N₂ com hidrocarbonetos na presença ou ausência de vapor de água. 2005. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja — taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n.1, jan./fev. 2005.

FERREIRA, P. M. P.; FARIAS, D. F.; OLIVEIRA, J. T. A.; CARVALHO, A. F. U. *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. **Rev. Nutr.**, Campinas, v. 21, n. 4, p. 431-437, jul./ago., 2008.

FINCO, M. V. A.; DOPPLER, W. Bioenergy and sustainable development: The dilemma of food security and climate change in the Brazilian savannah. **Energy for Sustainable Development**, n. 14, p. 194-199, 2010.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 1, 2006, p. 106-109.

GARCEZ, C. A. G.; VIANNA, J. N. S. Brazilian Biodiesel Policy: Social and environmental considerations of sustainability. **Energy**, n. 34, p. 645-654, 2009.

GÄRTNER, S. O.; REINHARDT, G. A. Implicações Ambientais do Biodiesel (Análise do Ciclo de Vida). In: KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. (Ed.). **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

GERPEN, J. V. Conceitos básicos sobre motores diesel e seus combustíveis. In: KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. (Ed.). **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

GHEBREMICHAEL, K. A. **Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment**. KTH Land and Water Resources Engineering, 2004.

GHEBREMICHAEL, K. A. **Natural Resources for Appropriate Water Treatment**. In: WEDC International Conference, 32, Colombo, Sri Lanka. 2006.

GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K. R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, n. 39, p. 2338-2344, 2005.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

HOPWOOD, B.; MELLOR, M.; O'BRIEN, G. Sustainable development: mapping different approaches. **Sustainable Development**, n. 13, p. 38-52, 2005.

HU, Z.; TAN, P.; YAN, X.; LOU, D. Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China. **Energy**, n. 33, 2008, p. 1654-1658.

IDEMA. **Perfil do seu município.** Texto disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/enviados/perfil_municipio.asp>. Acesso em: 05 dez. 2011.

JAIN, P. G.; PATIL, S. D.; HASWANI, N. G.; GIRASE, M. V.; SURANA, S. J. Hypolipidemic activity of *Moringa oleifera* Lam., Moringaceae, on high fat diet induced hyperlipidemia in albino rats. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 6, 2010, p. 969-973.

JOLY, A. B. **Botânica** – introdução à taxonomia vegetal. 13. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 2005.

KAFUKU, G.; LAM, M. K.; KANSEDO, J.; LEE, K. T.; MBARAWA, M. Heterogeneous catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil. **Fuel Processing Technology**, n. 91, 2010, 1525-1529.

KAFUKU, G.; MBARAWA, M. Alkaline catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil with optimized production parameters. **Applied Energy**, n. 87, 2010, p. 2561-2565.

KATAYON, S.; NOOR, M. J. M. M.; ASMA, M.; GHANI, L. A. A.; THAMER, A. M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B. C.; SULEYMAN, A. M. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, n. 97, 2006, p. 1455-1460.

KATAYON, S.; NOOR, M. J. M. M.; ASMA, M.; THAMER, A. M.; ABDULLAH, A. G. L.; IDRIS, A.; SULEYMAN, A. M.; AMINUDDIN, M. B.; KHOR, B. C. Effects of storage duration and temperature of *Moringa oleifera* stock solution on its performance in coagulation. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 1, n. 2, 2004, p. 146-151.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. (Ed.). **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

KOSERSKI, G. R.; HESS, S. C. Estimativa dos poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Campo Grande/MS, empregando como combustível diesel, biodiesel ou gás natural. **Eng. sanit. ambient.**, v. 11, n. 2, abr./jun. 2006, p. 113-117.

LACEY, H. Seeds and their socio-cultural nexus. In: HARDING, S.; FIGUEROA, R. (Ed.). **Philosophical explorations of science, technology and diversity**. New York: Routledge, 2003.

LACEY, H. **Valores e Atividade Científica**. São Paulo: Discurso Editorial, 1998.

LAPINSKIENE, A.; MARTINKUS, P.; REBZDAITE, V. Eco-toxicological studies of diesel and biodiesel fuels in aerated soil. **Environmental Pollution**, n. 142, p. 432-437, 2006.

LÉDO, P. G. S.; LIMA, R. F. S.; PAULO, J. B. A. Efficiency of aluminium sulphate and *Moringa oleifera* seeds as coagulants for the clarification of water. **Land Contamination & Reclamation**, v. 18, n. 1, 2010.

LEFF, E. **Ecologia, capital e cultura** – A territorialização da racionalidade ambiental. Petrópolis: Editora Vozes, 2009.

LIMA, P. C. R. **O Biodiesel e a inclusão social**. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Brasília. 2004.

LIMA, A.; SILVA, A. M. O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R. P. & MANCINI-FILHO, J. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Rev. Bras. Frutic.**, v. 29, n. 3, 2007, p. 695-698.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas** – estudo de caso: avaliação do inventário de emissões atmosféricas da região metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis. 2005. 153 f. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LUQUE, R.; SOUSA, H. C.; KRAUS, J. E. Métodos de coloração de Roeser (1972) - modificado e Kropp (1972) visando a substituição do azul de astra por azul de alciano 8GS ou 8GX. **Acta Botanica Brasilica**, v. 10, n. 2, 1996, p. 199-211.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the *Moringa oleifera* Seed's Active Component for Water Treatment. **Water Air Soil Pollut.**, n. 211, 2010, p. 409-415.

MAGRINI, A. Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos. In: MAGRINI, A.; SANTOS, M. A. **Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas**. Rio de Janeiro: Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais – IVIG, 2001.

MARTÍN, C.; MOURE, A.; MARTÍN, G.; CARRILLO, E.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J. C. Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. **Biomass and Bioenergy**, n. 34, 2010, p. 533-538.

MARTÍNEZ-HERRERA, J.; SIDDHURAJU, P.; FRANCIS, G.; DÁVILA-ORTIZ, G. & BECKER, K. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **Food Chemistry**, v. 96, n. 1, 2006, p. 80-89.

MARTINS, L. C.; LATORRE, M. R. D. O.; SALDIVA, P. P. H. N.; BRAGA, A. L. F.. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Rev. Bras. Epidemiol.**, v. 4, n. 3, 2001.

MATOS, F. J. A.; ALENCAR, J. W.; CRAVEIRO, A. A. & MACHADO, M. I. L. Ácidos graxos de algumas oleaginosas tropicais em ocorrência no nordeste do Brasil. **Química Nova**, v. 15, n. 3, 1992.

MAYWORM, M. A. S.; NASCIMENTO, A. S.; SALATINO, A. Seeds of species from the “caatinga”: proteins, oils and fatty acid contents. **Rev. bras. Bot.**, v. 21, n. 3, 1998.

MENDIETA-ARAICA, B.; SPÖRNDLY, R.; REYES-SÁNCHEZ, N.; SPÖRNDLY, E. Moringa (*Moringa oleifera*) leaf meal as a source of protein in locally produced concentrates for dairy cows fed low protein diets. **Livestock Science**, n. 137, 2011, p. 10-17.

MONTEIRO, J. M. G. **Plantio de Oleaginosas por Agricultores Familiares do Semi-Árido Nordestino para Produção de Biodiesel como uma Estratégia de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas**. 2007. 302 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MOURA, M.; JUNGER, W. L.; MENDONÇA, G. A. S.; PONCE DE LEON, A. Air quality and emergency pediatric care for symptoms of bronchial obstruction categorized by age bracket in Rio de Janeiro, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, v. 25, n. 3, 2009, p. 635-644.

MORIN, E. **Introdução ao Pensamento Complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 1990.

MUYIBI, S. A.; EIVSON, L. M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. **Wat. Res.**, v. 29, n. 12, 1995, p. 2689- 2695.

NASCIMENTO, M. A. **Gás natural na matriz energética da Bahia: utilização em empreendimentos residenciais**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. Quality water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. **Wat. Res.**, v. 32, n. 3, 1998.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **War. Res.**, v. 29, n. 2, 1995, p. 703-710.

NOVAES, W. Dilemas do desenvolvimento agrário. **Estudos avançados**, v. 15, n. 43, 2001.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in moringa oleifera seeds. **Wat. Res.**, v. 35, n. 3, 2001, p. 830-834.

Ônibus abastecidos com biodiesel B20 circulam nas ruas do Rio de Janeiro. Texto disponível em: <<http://www.transportabrasil.com.br/2010/10/onibus-abastecidos-com-biodiesel-b20-circulam-nas-ruas-do-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: 09 dez. 2010.

PARENTE, E. J. Sá. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Tecbio, 2003, 68 p.

PEIXOTO, R. C. D. A Rede Paraense de Agricultura Familiar e Biodiesel. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, v. 3, n. 3, 2008.

PERES, J. R. R.; FREITAS JÚNIOR, E.; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis – uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, ano 14, n. 1, jan.-mar. 2005.

PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. (Ed.). **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

POMBO, F. R.; MAGRINI, A. Panorama de aplicação da norma ISO 14001 no Brasil. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 1-10, jan.-abr. 2008.

PRADO, L. **Novos ônibus da Câmara são movidos a biodiesel**. Texto disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/responsabilidade-social/ecocamara/noticias/novos-onibus-da-camara-sao-movidos-a-biodiesel>>. Acesso em: 09 dez. 2010.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. **Physics and Chemistry of the Earth**, n. 35, 2010a, p. 798-805.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A study of the parameters affecting the effectiveness of *Moringa oleifera* in drinking water purification. **Physics and Chemistry of the Earth**, n. 35, 2010b, p. 791-797.

Programa nacional de produção e uso do biodiesel. Disponível em: <www.biodiesel.gov.br>. Acesso em: 6 maio 2006.

QUINTELLA, C. M.; TEIXEIRA, L. S. G.; KORN, M. G. A., COSTA NETO, P. R.; TORRES, E. A.; CASTRO, M. P.; JESUS, C. A. C. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 793-808, 2009.

RANGEL, M. C.; CARVALHO, M. F. A. Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 26, n. 2, mar.-abr. 2003.

RASHID, U.; ANWAR, F.; MOSER, B. R.; KNOTHE, G. *Moringa oleifera* oil: a possible source of biodiesel. **Bioresource Technology**, n. 99, p. 8175-8179, 2008.

RATHMANN, R.; PLÁ, J. A.; PADULA, A. D.; BENEDETTI, O. **Biodiesel: Uma Alternativa Estratégica na Matriz Energética Brasileira?**. In: II SEMINÁRIO DE GESTÃO DE NEGÓCIOS, 2005, Curitiba. Biodiesel: Uma Alternativa Estratégica na Matriz Energética Brasileira?. Curitiba: UNIFAE, v. 1, 2005.

RIBEIRO, W. C. **A ordem ambiental internacional**. São Paulo: Contexto, 2001.

ROSA, L. P.; OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O.; PIMENTEIRA, C. A. P.; MATTOS, L. B. R.; HENRIQUES, R. M.; ARANDA, D. A. G. Geração de energia a partir de resíduos de lixo e óleos vegetais. In: TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003. cap. 2, p. 93-161.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estud. av.**, São Paulo, v. 21, n. 59, jan.-abr. 2007.

SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; NÚÑEZ-GASTÉLUM, J. A.; REYES-MORENO, C.; RAMÍREZ-WONG, B.; LÓPEZ-CERVANTES, J. Nutritional Quality of Edible Parts of *Moringa oleifera*. **Food Anal. Methods**, n. 3, 2010, p. 175-180.

SANTOS, I. C. F.; CARVALHO, S. H. V.; SOLLETTI, J. I.; LA SALLES, W. F.; LA SALLES, K. T. S. de & MENEGHETTI, S. M. P. Studies of *Terminalia catappa* L. oil: Characterization and biodiesel production. **Bioresource Technology**, n. 99, 2008, p. 6545-6549.

SANTOS, O. I. B.; RATHMANN, R. Identification and analysis of local and regional impacts from the introduction of biodiesel production in the state of Piauí. **Energy Policy**, n. 37, p. 4011-4020, 2009.

SAWIN, J. L. Escolhendo melhor a energia. In: **Estado do mundo 2004: estado do consumo e o consumo sustentável**. Tradução Henry Mallett e Célia Mallett. Salvador: Uma, 2004. 326 p. Título original: State of the world 2004.

SENSOZ, S.; ANGIN, D.; YORGUN, S. Influence of particle size on the pyrolysis of rapeseed (*Brassica napus* L.): fuel properties of bio-oil. **Biomass & Bioenergy**, n. 19, 2000, p. 271-279.

SERAFINI, M. R.; SILVA, G. F. *Moringa oleifera* Lam.: informação tecnológica na área de concentração de Ciências da Saúde. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 3, 2011, Aracaju/SE. **Anais...** Aracaju, 2011.

SCHAFFEL, S. B.; LA ROVERE, E. L. The quest for eco-social efficiency in biofuels production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, n. 18, p. 1663-1670, 2010.

SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. **An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles**. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy, 1998.

SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Antioxidant Properties of Various Solvent Extracts of Total Phenolic Constituents from Three Different Agroclimatic Origins of Drumstick Tree (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves. **J. Agric. Food Chem.**, n. 51, 2003, p. 2144-2155.

SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de *Moringa oleifera* para tratamento de água. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 29, n. 2, 2008, p. 157-163.

SILVA, J. P. V.; SERRA, T. M.; GOSSMANN, M.; WOLF, C. R.; MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P. *Moringa oleifera* oil: Studies of characterization and biodiesel production. **Biomass and Bioenergy**, n. 34, 2010, p. 1527-1530.

SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta bot. bras.**, v. 19, n. 1, 2005, p. 183-194.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 843-851, maio-jun. 2008.

SOUZA, C. D. R.; CHAAR, J. S.; SOUZA, R. C. R.; JEFFREYS, M. F.; SOUZA, K. S.; COSTA, E. J. C.; SANTOS, J. C. Caracterização físico-química das misturas binárias de

biodiesel e diesel comercializados no Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, 2009, p. 383-388.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, v. 30, n. 8, 2007.

TAGUCHI, V. Biodiesel tem mais pressa que o governo. **Globo Rural**, n. 313, nov. 2011.

VALLE, D. **Ônibus a biodiesel reduz 30% da poluição em Curitiba**. Texto disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/775994-onibus-a-biodiesel-reduz-30-da-poluicao-em-curitiba.shtml>>. Acesso em: 09 dez. 2010.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável**: o desafio do século XXI. Rio de Janeiro: Garamond, 2005.

CAPÍTULO 1

ADAPTAÇÕES ANATÔMICAS DE *Moringa oleifera* Lam., UMA MATRIZ PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Beatriz Cavalcante da Silva¹

Juliana Espada Lichston²

Este artigo será submetido à Revista Cerne e, portanto, está formatado de acordo com as recomendações dessa revista (como consta no anexo 1).

Resumo

O modelo de desenvolvimento adotado pela população humana sempre esteve baseado numa forte exploração dos recursos naturais e gerou uma poluição bastante intensa do meio ambiente. Diante disso, muitas medidas têm sido tomadas a fim de melhorar a relação entre sociedade, natureza e desenvolvimento. Uma dessas medidas é a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis, como o biodiesel, que pode ser produzido a partir de matérias-primas vegetais. A espécie *Moringa oleifera* Lam., uma planta de múltiplos usos, tem sido objeto de estudo como uma matriz para produção de biodiesel. Neste trabalho, foram analisadas as adaptações anatômicas de caule e folha e as reservas oleíferas da semente de *M. oleifera*, por meio da confecção de lâminas histológicas semipermanentes com diferentes corantes. Observou-se que o caule apresenta cutícula espessa, estômatos abaixo da linha da epiderme, medula oca, drusas e tricomas tectores como adaptações às condições edafoclimáticas em que a espécie está inserida, enquanto a folha é dorsivental e possui

¹ Tecnóloga em Gestão Ambiental, Bióloga e Especialista em Gestão Ambiental. Mestranda do Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Endereço: Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova (Centro de Biociências), CEP 59072-970, Natal/RN, Brasil. E-mail: beacavalcante@yahoo.com.br.

² Bióloga, Mestre em Ciências e Doutora em Biologia Comparada. Pesquisadora e professora adjunta do Departamento de Botânica, Ecologia e Zoologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Endereço: Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova (Centro de Biociências), CEP 59072-970, Natal/RN, Brasil. E-mail: lichston@cb.ufrn.br.

cutícula espessa, tricomas tectores e drusas. A semente, por sua vez, possui reservas oleíferas abundantes. Essas características favorecem a utilização de *Moringa oleifera* Lam. como uma matriz para produção de biodiesel no semiárido nordestino.

Palavras-chave: anatomia vegetal, biocombustíveis, moringa.

ANATOMICAL ADAPTATIONS OF *Moringa oleifera* Lam., A RAW MATERIAL TO PRODUCE BIODIESEL

Abstract

The model of development adopted by human population has always been based in a strong exploitation of natural resources and it generated an intense pollution in the environment. Therefore, many actions have been made to improve the relation between society, nature and development. One of these actions is the substitution of fossil fuels by biofuels, such as biodiesel, which can be produced using plants as raw materials. The species *Moringa oleifera* Lam., a multiple purposes plant, has been object of some studies to investigate its potential to be a raw material to biodiesel production. In this work, semipermanent laminas were made, using different colourings, in order to analyze the anatomical adaptations found in the stem and in the leaf and the seed's oil stores of *M. oleifera*. It follows that the stem has thick cuticle, stomata whose cells guard are below the epidermis line, hollow medulla, druses and tector trichomes as adaptations to climate and soil conditions in which the species is found and the leaf is dorsiventral and it has thick cuticle, tector trichomes and druses. The seed has great reserves of oil. These features favor the use of *Moringa oleifera* Lam. as a raw material to produce biodiesel in Brazil's Northeast semiarid region.

Keywords: vegetal anatomy, biofuels, horseradish.

Introdução

Os desequilíbrios na utilização dos recursos naturais e a poluição resultante das atividades humanas resultaram na crise ambiental que se vivencia hoje (BRAGA et al., 2005). A gestão ambiental é direcionada à melhoria da relação entre sociedade, natureza e desenvolvimento, sendo o contexto energético um tema importante. As principais fontes energéticas mundiais (petróleo, carvão e gás natural) são limitadas (PERES et al., 2005), mas perfazem 80% da matriz energética mundial (PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA, 2006). Esses combustíveis são grandes poluidores do ambiente, pela emissão de gases de efeito estufa durante a combustão, descarte de resíduos ou derramamentos no mar e no solo (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006, apud SILVA; FREITAS, 2008) e são fontes energéticas limitadas e de elevados preços (PERES et al. 2005; SENSOZ et al., 2000), podendo-se considerar o uso de fontes alternativas. A biomassa é uma delas (SENSOZ et al., 2000), sendo os biocombustíveis a melhor das opções da energia de biomassa (GOLDEMBERG, 2009).

O biodiesel é um biocombustível ao qual tem sido dada atenção no mundo todo e cujo uso é menos poluente que o dos combustíveis fósseis (HU et al., 2008) e minimiza a extração de recursos naturais. Ele é a atual alternativa para o petrodiesel, pois é exequível tecnicamente, economicamente competitivo, aceitável do ponto de vista ambiental e facilmente disponível (DERMIBAS, 2009). Ademais, promove desenvolvimento regional e fortalece a estrutura social, principalmente de países em desenvolvimento (DERMIBAS; DERMIBAS, 2007). Segundo Rashid et al. (2008), o biodiesel é biodegradável, renovável, atóxico, reduz as emissões provocadas pelo petrodiesel e reduz a dependência de combustíveis fósseis importados.

No Brasil, a produção de biodiesel tem aumentado intensamente e o país está entre os maiores produtores e consumidores do mundo. Segundo Peixoto (2008), deve-se adotar um enfoque regional no PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel) e Monteiro

(2007) salienta que a diversificação dos sistemas produtivos da agricultura familiar, para cultivo de diversas oleaginosas visando à produção de biodiesel no semiárido nordestino, contribui para a sustentabilidade da atividade. Assim, os óleos vegetais escolhidos para a produção de biodiesel variam de acordo com o local, que tem clima, geografia e economia específicos (FERRARI et al., 2005).

Entretanto, amplas discussões sobre as oleaginosas que podem ser utilizadas para biodiesel no Brasil não são matéria frequente da literatura técnica. São importantes as pesquisas nessa área, a fim de apoiar a produção de biodiesel no país, utilizando matérias-primas adaptadas às suas condições, e favorecer o desenvolvimento regional. A região Nordeste destaca-se no cenário de inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, pois seu clima favorece o crescimento de diversos vegetais xerófitos que são potenciais matérias-primas para biodiesel.

Uma oleaginosa que pode ser utilizada como matriz para biodiesel no Nordeste é *Moringa oleifera* Lam. (moringa), árvore de regiões semiáridas ou úmidas (FOLKARD, 2000, apud BABU; CHAUDHURI, 2005; MORTON, 1991, e MUGHAL et al., 1999, apud ANWAR; BHANGER, 2003). É uma espécie de crescimento rápido que se desenvolve bem mesmo em solos pobres, sendo pouco afetada pela seca (RASHID et al., 2008), e é originária da Ásia, África e América do Sul (MORTON, 1991, apud RASHID et al., 2008). No Brasil, é conhecida no Maranhão desde 1950 (AMAYA et al., 1992, apud GALLÃO et al., 2006) e foi introduzida como planta ornamental (ALVES et al., 2005). Segundo Joly (2005), *Moringa* é o único gênero de Moringaceae e é encontrado nas regiões tropicais de todo o mundo. As sementes de moringa têm aproximadamente 40% de óleo, sendo 76% de ácido oléico (ANWAR; BHANGER, 2003; RASHID et al., 2008), adequado para produção de biodiesel. Para Rashid et al. (2008), o biodiesel derivado da moringa ótimo substituto para o petrodiesel.

Ressalta-se que a moringa é um vegetal de múltiplos usos: pode ser utilizada no tratamento de água para consumo humano (BABU; CHAUDHURI, 2005;

GHEBREMICHAEL, 2006; ABALIWANO et al., 2008; GHEBREMICHAEL et al., 2005) e possui alto valor nutricional e usos medicinais (ANWAR et al., 2007), favorecendo o uso sustentável da espécie. Gallão et al. (2006) ressaltam que a cultura dessa espécie está difundida no semiárido nordestino, devido a sua utilização no tratamento de água para uso doméstico. Assim, as funções da moringa podem ser associadas, gerando múltiplos benefícios, justificando sua escolha como objeto de estudo dentro da temática de matrizes para biodiesel. Ademais, o uso de plantas adaptadas às condições do semiárido diminui os investimentos em irrigação e insumos utilizados no cultivo agrícola e valoriza os recursos naturais disponíveis na região.

A Anatomia Vegetal é identificada no presente trabalho como uma ferramenta para a compreensão das funções e adaptações da moringa ao semiárido nordestino, com foco na utilização da espécie para produção de biodiesel. Os estudos anatômicos auxiliam no entendimento da fisiologia, produtividade e formas adequadas de manejo de plantas de interesse econômico, sendo Anatomia Vegetal um campo de destaque na Agronomia (SILVA et al., 2005). A organização histológica vegetal também reflete aspectos funcionais e adaptativos, fornecendo indicativos da relação da planta com o ambiente em que está inserida. Conforme Esaú (2002), adaptações evolutivas das plantas aos diferentes habitats podem estar associadas a características estruturais diferentes, principalmente no que diz respeito à disponibilidade hídrica. Assim, a anatomia vegetal torna-se uma ferramenta importante no estudo das respostas evolutivas das espécies ao seu meio, além de contribuir para classificação taxonômica e filogenética das espécies e para o conhecimento existente acerca da biodiversidade. Este, por sua vez, é fundamental para a conservação de biomas como a caatinga, ameaçados pela exploração descontrolada. Tendo em vista essas considerações, o objetivo deste trabalho foi analisar a anatomia de caule, folha e semente de *Moringa oleifera*, identificando suas adaptações ao ambiente em que está inserida e as reservas de óleo presentes na semente.

Materiais e métodos

Para a realização do presente trabalho, foi feita uma revisão da literatura científica a respeito dos temas em estudo. Para a análise anatômica, foram coletadas amostras da parte vegetativa aérea (caule e folha) de 10 espécimes de *Moringa oleifera* Lam., sendo 5 coletadas na cidade de Natal e 5, na cidade de Apodi (Rio Grande do Norte, Brasil). Natal está localizada em uma região de clima tropical chuvoso quente com verão seco e Apodi, em uma região de clima muito quente e semiárido (IDEMA, 2011). Também foi utilizada uma amostra de sementes coletadas em Orlando, Estados Unidos. As amostras vegetativas foram fixadas em álcool 70% e, em seguida, foram confeccionadas lâminas histológicas semipermanentes. Para isso, foi seguida a metodologia de Luque et al. (1996, modificado).

As secções transversais dos fragmentos caulinares e foliares foram feitas à mão livre, com lâmina de aço inox, e alvejadas em solução de hipoclorito de sódio para retirar os pigmentos naturais. Essas secções foram coradas com azul de alcian 1% e safranina 1%, para evidenciar os tecidos de forma diferencial, e imersas em álcool 80% acidificado e em álcool 100%, de modo a fixar os corantes. Também foi utilizada como corante uma solução à base de iodo, para identificar reservas de amido (amiloplastos) em secções transversais do caule. Nas secções transversais da semente, foi utilizado o corante sudan black para evidenciar as reservas lipídicas. Por fim, as secções foram postas em lâminas com glicerina 50%. As secções histológicas foram analisadas em microscópio óptico (marca Bioval, modelo L2000A), bem como fotografadas com câmera digital.

Resultados e discussão

Em referência à relação vegetal-água, as plantas são classificadas em xerófitas, adaptadas a clima seco, mesófitas, que requerem grande disponibilidade de água no solo e atmosfera úmida, e hidrófitas, que requerem bastante umidade ou crescem submersas na água. Suas características estruturais específicas são encontradas principalmente nas folhas (ESAÚ,

2002; APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Klich (2000) identificou variações anatômicas foliares em *Elaeagnus angustifolia* L. (Elaeagnaceae), as quais representam vantagens adaptativas que permitem à espécie se desenvolver em habitats heterogêneos no que se refere à radiação solar, temperatura e umidade. Nesse contexto, a análise anatômica do caule e folha de *Moringa oleifera* Lam. foi realizada à luz da relação entre a anatomia vegetal e o ambiente em que a espécie está inserida, considerando suas adaptações a esse ambiente.

A partir da análise das secções transversais do caule de *M. oleifera* (Fig. 1A), observou-se que esse órgão estava em estágio de crescimento primário. O tecido mais externo é a epiderme, coberta por cutícula espessa. Esse tecido é a camada celular que reveste o corpo primário da planta, conferindo proteção mecânica ao vegetal, protegendo-o contra a invasão de agentes patogênicos e restringindo a perda de água (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). A cutícula, por sua vez, também minimiza a perda de água (ESAÚ, 2002), o que permite à espécie adaptar-se ao estresse hídrico a que está sujeita nas regiões semiáridas, na medida em que evita a perda excessiva de água por evapotranspiração. Na epiderme, foi observada a presença de estômatos, que ocorrem em partes aéreas fotossintetizantes, como em caules jovens (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). As células estomáticas localizam-se em depressões, ou seja, abaixo das demais células epidérmicas, o que constitui um aspecto de plantas xerófitas (ESAÚ, 2002), por minimizar a perda hídrica através dos estômatos.

Na epiderme, também foram observados tricomas tectores unicelulares, que são apêndices desse tecido. Eles exercem diversas funções, como atuar na defesa contra insetos e promover maior reflectância da radiação luminosa, diminuindo a temperatura do órgão e minimizando a perda de água (RAVEN et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009). Essa característica auxilia a planta na manutenção da umidade e na minimização da perda hídrica por evapotranspiração, o que representa uma adaptação da espécie às condições ambientais a

que está submetida. A presença dos tricomas em plantas xerófitas parece ser uma eficiente proteção contra a transpiração por meio da regulação da temperatura, decorrente da reflexão da luz, que isola os tecidos do calor excessivo (LARCHER, 2000; ESAÚ, 2002; BARBOZA et al., 2006), uma provável adaptação da planta ao ambiente em que se encontra.

Internamente à epiderme e em direção ao centro, o caule apresenta os seguintes anéis teciduais: colênquima, parênquima cortical, colênquima, esclerênquima, floema, xilema (protoxilema e metaxilema) e parênquima medular. O parênquima cortical é formado por células circulares em secção transversal e tem função de preenchimento, participando no movimento da água e no transporte e armazenamento de substâncias (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006; ESAÚ, 2002).

O colênquima, por sua vez, apresenta células com paredes primárias flexíveis e irregularmente espessadas, sendo adaptado à sustentação de órgãos em crescimento (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). De acordo com a classificação apresentada por estas autoras, no órgão em estudo, o colênquima é do tipo anelar ou anular, em virtude de suas células possuírem paredes com espessamentos mais uniformes e lumes celulares circulares quando vistos em secções transversais. O esclerênquima também tem função de sustentação e, tal como descrito por Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2006), esse tecido forma uma faixa ao redor dos tecidos vasculares, protegendo-os.

Os tecidos vasculares apresentam-se em feixes separados por parênquima (regiões interfasciculares), formando um anel, configuração característica de eudicotiledôneas a qual é denominada eustelo (ESAÚ, 2002). Os feixes vasculares são formados por xilema e floema primários, sendo o floema localizado externamente ao xilema, configurando feixes colaterais (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). No centro do parênquima medular, as células se rompem, formando uma medula oca, que provavelmente serve para acumular água, em regiões de clima quente e seco.

Observou-se a presença de drusas no parênquima cortical, colênquima, floema e parênquima medular (próximo ao cilindro vascular). As drusas são agregados de cristais de oxalato de cálcio (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006), responsáveis pela defesa física da planta contra herbivoria (LUCAS et al., 2000; XIANG & CHEN, 2004). Santos et al. (2008) reportaram a presença de cristais de oxalato de cálcio em *Eucalyptus* e a relacionaram com a defesa da planta. Além disso, as drusas regulam o nível de cálcio nos tecidos e o excesso de cálcio pode ser estocado na forma de oxalato de cálcio, podendo ser realocado para regiões deficientes em certas condições (VOLK et al., 2002). Tais cristais podem ainda fornecer suporte mecânico para os tecidos (METCALFE; CHALK, 1988). Todas as amostras de caule analisadas, tanto as coletadas em Natal, como as coletadas em Apodi, apresentaram o mesmo padrão tecidual. As secções histológicas submetidas à coloração com iodo não indicaram a presença de amiloplastos no caule.

A anatomia do caule de *Moringa oleifera* em crescimento secundário foi descrita por Durin (1913), que relatou a seguinte estrutura: súber, anel esclerenquimático, parênquima cortical, esclerênquima, floema, câmbio, xilema, parênquima medular e canal medular. Neste, foi observada a presença de uma goma, que consiste em um líquido viscoso e branco. Essa pode ser outra função para a medula oca encontrada no caule neste trabalho. Durin (1913) afirma que o caule jovem possui tricomas na epiderme, tal como observado neste trabalho, e observou a presença de cristais de oxalato de cálcio apenas no floema e na parte externa ao anel esclerenquimático. Olson e Carlquist (2001) afirmam que a casca e a madeira de *Moringa* possuem drusas e células com goma. A existência de reservas de amido também foi descrita por Durin (1913), ao contrário do que se observou no presente trabalho.

Olson e Carlquist (2001) estudaram as implicações ecológicas de variações na madeira observadas em espécies de *Moringa*, afirmando que a madeira responde a pequenas diferenças nas condições ambientais. Segundo esses autores, apesar de ter sido coletada em ambiente com as estações úmida e seca bem definidas, *M. oleifera* não apresenta variações no diâmetro

das fibras libriformes correlacionadas com a disponibilidade de umidade sazonal (ao contrário do que ocorre com outras espécies do gênero, nas quais há uma tendência de aumento no diâmetro que acompanha o aumento da umidade), o que sugere um rígido controle da produção de fibras.

No que se refere à folha, Esaú (2002) afirma que folhas xeromorfas são pequenas e compactas, apresentando mesofilo espesso, rede vascular compacta e pequeno volume de espaço intercelular. Esses caracteres, encontrados na espécie em estudo, minimizam a perda de água por evapotranspiração, diminuindo a área da superfície foliar em relação ao seu volume.

As secções transversais da folha de *M. oleifera* (Fig. 1B), obtidas na região da nervura central, evidenciaram o padrão tecidual foliar da espécie, também observado em todas as amostras analisadas. As faces abaxial e adaxial do órgão são revestidas por epiderme e cutícula, como descrito em Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2006). Tricomas tectores, apêndices da epiderme encontrados no caule, também foram observados na face adaxial da folha. Esposito-Polesi et al. (2011) também observaram tricomas tectores na folha de *Eugenia glazioviana* Kiaersk (Myrtaceae), sendo suas funções associadas ao ambiente xerófito, tal como descrito anteriormente neste trabalho. Essas funções também foram associadas aos tricomas tectores foliares de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeisch (Asteraceae), por Dutra et al. (2010).

Há parênquima paliçádico na face adaxial e parênquima lacunoso na face abaxial, o que configura a folha como dorsiventral e mostra que o mesofilo é bastante diferenciado, com parênquima paliçádico mais desenvolvido que o esponjoso, o que é um caractere xerofítico (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). As drusas são abundantes no parênquima lacunoso e no parênquima paliçádico. A presença de drusas no mesofilo também foi descrita por Esposito-Polesi et al. (2011). A região da nervura central da folha de *M. oleifera* é preenchida por parênquima (tecido no qual também foram observadas drusas) e

pelo cilindro vascular, composto por xilema e floema e sustentado por colênquima. Considerando a orientação do xilema para a definição da face foliar (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006), os feixes vasculares da folha são colaterais, sendo, portanto, o xilema voltado para a face adaxial da folha.

Esse padrão tecidual é semelhante ao observado por Durin (1913). Este autor descreveu a anatomia da folha de *M. oleifera* em estágio mais avançado de crescimento, observando maior desenvolvimento dos vasos do xilema e do floema. Foi observada também a presença de colênquima entre o xilema e o parênquima da nervura central e entre o floema e a epiderme abaxial. No presente trabalho, o colênquima foi observado apenas entre a epiderme abaxial e o parênquima externo ao floema. Durin (1913) descreveu a existência de drusas no parênquima lacunoso e na nervura central; neste trabalho, as drusas também foram observadas no parênquima paliçádico.

Nas secções transversais da semente de *M. oleifera* (Fig. 1C e 1D), observou-se que, retirados os seus tegumentos, foram identificadas reservas oleíferas abundantes nas células parenquimáticas do endosperma, por meio da coloração com sudan black. Isso caracteriza o endosperma como oleaginoso (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Verificou-se que, nessas sementes, há grande investimento na produção de lipídios em detrimento da produção de vasos condutores de seiva e de outros tipos de reservas frequentemente encontrados em sementes, como amido e proteínas. A presença de lipídios nessas células também foi observada por Durin (1913).

Tendo em vista que o padrão tecidual caulinar e foliar foi o mesmo em todas as amostras analisadas, tanto as coletadas em Natal (cidade de clima tropical chuvoso) quanto as coletadas em Apodi (cidade de clima semiárido), pode-se afirmar que as adaptações anatômicas observadas em *M. oleifera* permitem que a espécie se desenvolva bem em regiões com diferentes condições climáticas. Essa informação é confirmada por autores já citados (FOLKARD, 2000, apud BABU & CHAUDHURI, 2005; MORTON, 1991, e MUGHAL et

al.,1999, apud ANWAR & BHANGER, 2003), que afirmam que a espécie é encontrada em regiões semiáridas ou úmidas. As adaptações anatômicas e as reservas de óleo observadas na semente de *M. oleifera* favorecem a sua utilização como uma potencial matriz para produção de biodiesel.

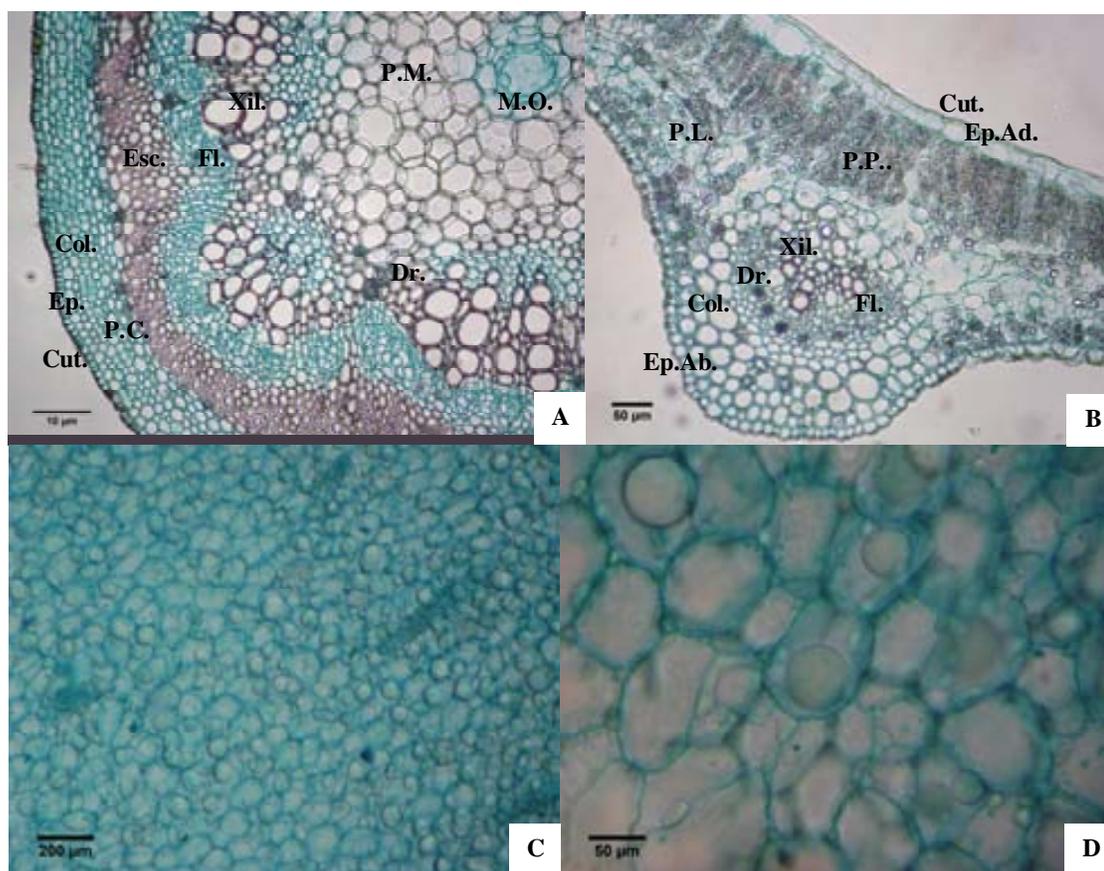


Figura 1: Secções transversais de órgãos de *Moringa oleifera* Lam. A) Caule. Aumento de 200 vezes. Barra = 10 µm. B) Folha. Aumento de 300 vezes. Barra = 50 µm. C) Semente. Aumento de 100 vezes. Barra = 200 µm. D) Detalhe das células da semente, repletas de gotículas de óleo. Aumento de 400 vezes. Barra = 50 µm. Col. = colênquima, Cut. = cutícula, Dr. = drusa, Ep. = epiderme, Ep.Ab. = epiderme abaxial, Ep.Ad. = epiderme adaxial, Esc. = esclerênquima, Fl. = floema, M.O. = medula oca, P.C. = parênquima cortical, P.L. = parênquima lacunoso, P.M. = parênquima medular, P.P. = parênquima paliçádico, Xil. = xilema.

Figure 1: Transverse sections of *Moringa oleifera* Lam.'s organs. A) Stem. Amplification of 200 times. Bar = 10 µm. B) Leaf. Amplification of 300 times. Bar = 50 µm. C) Seed. Amplification of 100 times. Bar = 200 µm. D) Detail of seed's cells, full of oil drops. Amplification of 400 times. Bar = 50 µm. Col. = collenchyma, Cut. = cuticle, Dr. = druse, Ep. = epidermis, Ep.Ab. = abaxial epidermis, Ep.Ad. = adaxial epidermis, Esc. = esclerenchyma, Fl. = phloem, M.O. = hollow medulla, P.C. = cortical parenchyma, P.L. = spongy parenchyma, P.M. = medullary parenchyma, P.P. = palisade parenchyma, Xil. = xylem.

Referências bibliográficas

- ABALIWANO, J. K.; GHEBREMICHAEL, K. A.; AMY, G. L. Application of the Purified *Moringa oleifera* Coagulant for Surface Water Treatment. **Water Mill Working Paper Series**, n. 5. UNESCO – Institute for Water Education. 2008.
- ALVES, M. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M. E.; OLIVEIRA, V. C. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição. **Ciênc. agrotec. Lavras**, v. 29, n. 5, p. 1083-1087, 2005.
- ANWAR, F.; BHANGER, M. I. Analytical Characterization of *Moringa oleifera* Seed Oil Grown in Temperate Regions of Pakistan. **J. Agric. Food Chem.**, n. 51, p. 6558-6563, 2003.
- ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A. H. *Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, n. 21, 2007, p. 17-25.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 2. ed. rev. e atual. Viçosa: Ed. UFV, 2006.
- BABU, R.; CHAUDHURI, M. Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. **Journal of Water and Health**, v. 3, n. 1, 2005.
- BARBOZA, S. B. S. C., GRACIANO-RIBEIRO, D., TEIXEIRA, J. B., PORTES T. A., SOUZA, L. A. C. Anatomia Foliar de Plantas Micropropagadas de Abacaxi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p.185-194, 2006.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental** – O desafio do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2. ed. 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.
- DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy Conversion and Management**, n. 50, p. 14-34, 2009.
- DEMIRBAS, A.; DEMIRBAS, I. Importance of rural bioenergy for developing countries. **Energy Conversion and Management**, n. 48, p. 2386-2398, 2007.
- DURIN, M. E. Contribution a l'étude des Moringées. **Revue Générale de Botanique**, n. 25, p. 449-471, 1913.
- DUTRA, R. C.; FERRAZ, S. O.; PIMENTA, D. S.; SOUSA, O. V. Caracterização morfoanatômica das folhas de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeisch, Asteraceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 6, p. 818-824, 2010.
- ESAÚ, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blücher. 2002. 293 p.

- ESPOSITO-POLESI, N. P.; RODRIGUES, R. R.; ALMEIDA, M. Anatomia ecológica da folha de *Eugenia glazioviana* Kiaersk (Myrtaceae). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.255-263, 2011.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja — taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n.1, jan./fev. 2005.
- GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.
- GHEBREMICHAEL, K. A. **Natural Resources for Appropriate Water Treatment**. In: WEDC International Conference, 32, Colombo, Sri Lanka. 2006.
- GHEBREMICHAEL, K. A.; GUNARATNA, K. R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, n. 39, p. 2338-2344, 2005.
- GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Quim. Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.
- HU, Z.; TAN, P.; YAN, X.; LOU, D. Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China. **Energy**, n. 33, p. 1654-1658, 2008.
- IDEMA. **Perfil do seu município**. Texto disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/enviados/perfil_municipio.asp>. Acesso em: 05 dez. 2011.
- JOLY, A. B. **Botânica** – introdução à taxonomia vegetal. 13. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 2005.
- KLICH, M. G. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. **Environmental and Experimental Botany**, n. 44, p. 171-183, 2000.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos. 2000. 531 p.
- LUCAS, P. W., TURNER, I. M., DOMINY, N. J. & YAMASHITA, N. Mechanical defenses to herbivory. **Annals of Botany**, n. 86, p. 913-920, 2000.
- LUQUE, R.; SOUSA, H. C.; KRAUS, J. E. Métodos de coloração de Roeser (1972) - modificado e Kropp (1972) visando a substituição do azul de astra por azul de alcião 8GS ou 8GX. **Acta Botanica Brasilica**, v. 10, n. 2, p. 199-211, 1996.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the Dicotyledons**. 2. ed. Oxford: Clarendon, 1988.
- MONTEIRO, J. M. G. **Plantio de Oleaginosas por Agricultores Familiares do Semi-Árido Nordeste para Produção de Biodiesel como uma Estratégia de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas**. 2007. 302 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

- OLSON, M. E.; CARLQUIST, S. Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (Moringaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, n. 135, p. 315-348, 2001.
- PEIXOTO, R. C. D. A Rede Paraense de Agricultura Familiar e Biodiesel. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**, v. 3, n. 3, 2008.
- PERES, J. R. R.; FREITAS JÚNIOR, E.; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis – uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, ano 14, n. 1, jan.-mar. 2005.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2001. 906 p.
- RASHID, U.; ANWAR, F.; MOSER, B. R.; KNOTHE, G. *Moringa oleifera* oil: a possible source of biodiesel. **Bioresource Technology**, n. 99, p. 8175-8179, 2008.
- SANTOS, L. D. T.; THADEO, M.; IAREMA, L.; MEIRA, R. M. S. A.; FERREIRA, F. A. Foliar anatomy and histochemistry in seven species of *Eucalyptus*. **R. Árvore**, v. 32, n. 4, p. 769-779, 2008.
- SENSOZ, S.; ANGIN, D.; YORGUN, S. Influence of particle size on the pyrolysis of rapeseed (*Brassica napus* L.): fuel properties of bio-oil. **Biomass & Bioenergy**, n. 19, p. 271-279, 2000.
- SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta bot. bras.**, v. 19, n. 1, p. 183-194, 2005.
- SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 843-851, maio-jun. 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 2009.
- XIANG, H.; CHEN, J. Interspecific variation of plant traits associated with resistance to herbivory among four species of *Ficus* (Moraceae). **Annals of Botany**, n. 94, p. 377-384, 2004.
- VOLK, G., LYNCH-HOLM, V., KOSTMAN, T., FRANCESCHI, V. R. The role of druse and raphide calcium oxalate crystals in tissue calcium regulation in *Pistia stratiotes* leaves. **Plant Biology**, n. 41, p. 34-45, 2002.

CAPÍTULO 2

Características químicas do óleo e atividade coagulante de sementes de *Moringa oleifera*

Lam., uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água

Beatriz Cavalcante da Silva¹

Juliana Espada Lichston²

André Luis Calado Araújo³

Daniel Durante Pereira Alves⁴

Marta Costa⁵

Este artigo será submetido ao periódico Brazilian Journal of Chemical Engineering e, portanto, está formatado de acordo com as recomendações dessa revista (como consta no anexo 3).

¹ Endereço: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal/RN, Brasil. E-mail: beacavalcante@yahoo.com.br. Telefone: 55 84 9991 1933.

² Endereço: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Departamento de Botânica, Ecologia e Zoologia. Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal/RN, Brasil. E-mail: lichston@cb.ufrn.br. Telefone: 55 84 3215 3443.

³ Endereço: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais. Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, CEP 59056-000, Natal, RN, Brasil. E-mail: andre.calado@ifrn.edu.br. Telefone: 55 84 9929 4596.

⁴ Endereço: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Filosofia. Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal/RN, Brasil. E-mail: durante@ufrnet.br. Telefone: 55 84 3215 3566.

⁵ Endereço: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Química. Caixa Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal/RN, Brasil. E-mail: martacosta@quimica.ufrn.br. Telefone: 55 84 3215 3828.

Resumo

Discute-se atualmente a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis. Uma potencial oleaginosa para produzir biodiesel é *Moringa oleifera* Lam., vegetal de múltiplos usos que pode ser utilizado para tratamento de água. Os objetivos deste trabalho foram investigar características químicas do óleo da semente de moringa, considerando a produção de biodiesel, e avaliar a função coagulante dessas sementes no tratamento de água. Realizou-se extração do óleo com solvente via agitação mecânica, que foi analisado em espectrofotômetro UV-Visível, e transesterificação, com análise do biodiesel por cromatografia gasosa. Obteve-se bom rendimento de óleo e biodiesel de boa qualidade. Realizaram-se ensaios de coagulação e floculação em jarreste, aplicando um extrato de sementes de moringa na água bruta. As sementes foram eficientes na coagulação, podendo ser utilizadas em sistemas rudimentares de tratamento ou como matéria-prima para extração de proteínas coagulantes, sendo alternativas aos coagulantes tradicionais.

Palavras-chave: *Moringa oleifera* Lam., biodiesel, química de óleo vegetal, coagulante natural.

Introdução

Os desequilíbrios na utilização dos recursos naturais pela população e a poluição resultante da forma como esses recursos são utilizados resultaram na crise ambiental que se vivencia hoje (Braga et al., 2005), marcada pela exploração desenfreada do meio em prol da maximização dos lucros. Nesse contexto, emerge a gestão ambiental, como um conjunto de medidas direcionadas à melhoria da relação entre sociedade, natureza e desenvolvimento.

Um dos temas de maior importância atualmente no que concerne a gestão ambiental e desenvolvimento sustentável é o contexto energético. O modelo de desenvolvimento adotado quando da industrialização teve como base fontes energéticas fósseis. Contudo, as principais fontes energéticas mundiais, o petróleo, o carvão e o gás natural, são limitadas (Peres et al., 2005), apesar de perfazerem 80% da matriz energética mundial (Plano Nacional de Agroenergia, 2006). Ademais, são grandes poluidores do ambiente, pela emissão de poluentes durante a combustão, descarte de resíduos ou derramamentos no mar e no solo (Silva e Freitas, 2008). Esses fatores tornam a biomassa uma fonte interessante de energia alternativa (Senoz et al., 2000), sendo os biocombustíveis a melhor das opções de uso da energia de biomassa (Goldemberg, 2009).

O biodiesel é um biocombustível ao qual tem sido dada atenção no mundo todo e cujo uso é menos poluente que o dos combustíveis fósseis (Hu et al., 2008; Hinrichs e Kleinbach, 2003; Kozerski e Hess, 2006; Barnwal e Sharma, 2005) e minimiza a extração de recursos naturais. Esse biocombustível é a atual alternativa para o petrodiesel, pois é exequível tecnicamente, economicamente competitivo, aceitável do ponto de vista ambiental e facilmente disponível (Dermibas, 2009). Ademais, reduz as emissões de gases do efeito estufa, promove desenvolvimento regional e fortalece a estrutura social, principalmente em países em desenvolvimento (Dermibas e Dermibas, 2007).

A lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, incluiu os biocombustíveis derivados de óleos e gorduras em nossa matriz energética. Em 2010, o uso de B5 (mistura de 5% de biodiesel ao diesel) passou a ser obrigatório. No Brasil, a produção de biodiesel tem aumentado intensamente nos últimos anos e o país está entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo.

Conforme dados do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, existem dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas, tais como mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja. É importante notar que os óleos

vegetais escolhidos para a produção de biocombustíveis variam de acordo com o local, que deve apresentar clima, geografia e economia específicos (Ferrari et al., 2005). Entretanto, amplas discussões sobre as oleaginosas que podem ser utilizadas para biodiesel no Brasil não é matéria frequente da literatura técnica. Por conseguinte, são importantes as pesquisas nessa área, com a finalidade de apoiar a produção de biodiesel no país, utilizando matérias-primas adaptadas às suas condições, e favorecer o desenvolvimento regional. O Nordeste destaca-se no cenário de inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, pois seu clima favorece o crescimento de diversos vegetais que são potenciais matérias-primas para biodiesel.

Uma oleaginosa que pode ser utilizada como matriz para biodiesel no semiárido nordestino é *Moringa oleifera* Lam. (conhecida como moringa), árvore de regiões semiáridas ou úmidas (Mughal et al., 1999, apud Anwar e Bhangar, 2003). Trata-se de uma espécie de crescimento rápido e que se desenvolve bem mesmo em solos pobres, sendo pouco afetada pela seca (Rashid et al., 2008; Morton, 1991, apud Anwar e Bhangar, 2003), e é originária de regiões da Ásia, África e América do Sul (Morton, 1991, apud Rashid et al., 2008). Segundo Joly (2005), o gênero *Moringa* é o único da família Moringaceae e atualmente é encontrado nas regiões tropicais de todo o mundo. No Brasil, a espécie é conhecida no Maranhão desde 1950 (Amaya et al., 1992, apud Gallão et al., 2006) e foi introduzida como planta ornamental (Alves et al., 2005), sendo hoje amplamente distribuída no país.

Suas sementes têm aproximadamente 40% de óleo, sendo 76% de ácido oléico (Anwar e Bhangar, 2003; Rashid et al., 2008), adequado para produção de biodiesel. Segundo Pritchard et al. (1991, apud Anwar e Bhangar, 2003), o conteúdo médio de óleo das sementes de moringa é maior que o de quatro culturas oleíferas convencionais: algodão (15 a 24%), soja (17 a 21%), cártamo (25 a 40%) e mostarda (24 a 40%), cultivadas nos Estados Unidos, Brasil, China e em outros países asiáticos e europeus. Anwar e Bhangar (2003) observaram que o óleo de moringa apresenta um bom estado oxidativo e consideraram que a concentração de δ -tocoferol pode contribuir para a excelente estabilidade oxidativa desse óleo, protegendo-

o durante a estocagem e o processamento. Para Rashid et al. (2008), o biodiesel derivado da moringa é ótimo substituto para o petrodiesel.

Entretanto, o conteúdo e as propriedades do óleo de *Moringa oleifera* variam de acordo com as condições ambientais do seu local de cultivo (Ibrahim et al., 1974, apud Anwar e Bhangar, 2003), sendo importantes as pesquisas científicas com foco nos espécimes coletados em diferentes locais de estudo. Em geral, os trabalhos que tratam das características do óleo da moringa, principalmente aqueles que o relacionam a biodiesel, são bastante recentes e não foram realizados no Brasil (Kafuku e Mbarawa, 2010; Martín et al., 2010; Kafuku et al., 2010; Silva et al., 2010; Rashid et al., 2008).

Essa espécie vegetal também pode ser utilizada no tratamento de água para consumo humano. A água permite controlar e prevenir doenças, manter hábitos higiênicos adequados e reduzir a mortalidade (FUNASA, 2006), sendo a falta de água potável um problema que compromete o desenvolvimento social e econômico (Arnal et al., 2006). Em áreas rurais de países em desenvolvimento, a água subterrânea, que requer pouco ou nenhum tratamento, é a mais utilizada para consumo humano. Em sua ausência, são utilizadas águas relativamente limpas de lagos ou córregos, que devem ser tratadas com métodos simples (Schulz e Okun, 1984, apud Babu e Chaudhuri, 2005). Para consumo humano, a água deve ser potável, apresentando parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos que atendam aos padrões de potabilidade e não oferecer riscos à saúde (FUNASA, 2006).

Contudo, milhões de pessoas sofrem com a falta de água potável e, em países em desenvolvimento, problemas como o custo das estações de tratamento, o baixo poder aquisitivo e a escassez de tecnologias adequadas devem ser combatidos com sistemas de tratamento de água sustentáveis, de baixo custo e fácil operação e que utilizem os recursos locais (Ghebremichael, 2004; Ghebremichael et al., 2005).

Sais de alumínio e de ferro são os coagulantes mais utilizados no tratamento de água para consumo humano, porém seu custo e efeitos no meio ambiente têm motivado o uso de

coagulantes orgânicos derivados de plantas (Ghebremichael et al., 2005). Algumas sementes são coagulantes eficientes, como as de *Moringa oleifera* (Jahn, 1988, apud Babu e Chaudhuri, 2005; Ghebremichael et al., 2005). Nesse sentido, muitos autores confirmam que as sementes de *Moringa oleifera* agem como um coagulante que remove turbidez e melhora a qualidade microbiológica da água (Babu e Chaudhuri, 2005; Ghebremichael, 2006; Abaliwano et al., 2008; Ghebremichael et al., 2005).

Segundo Ndabigengesere e Narasiah (1998) e Ndabigengesere et al. (1995), as sementes de moringa possuem um viável coagulante alternativo ao alumínio, que pode ser utilizado não apenas em países em desenvolvimento, mas em todo o mundo. Ao contrário dos sais de alumínio, a aplicação das sementes de moringa resulta em menor volume de sedimentos e não apresenta riscos à saúde. Lédo et al. (2010) confirmam que *M. oleifera* funciona como um eficiente coagulante, cujo efeito é comparável ao do sulfato de alumínio, sendo uma tecnologia de baixo custo e aceitável do ponto de vista ambiental.

Ghebremichael (2006) afirma que a proteína coagulante isolada das sementes de moringa promove coagulação semelhante ao sulfato de alumínio, contribuindo para o fortalecimento do uso sustentável da planta. Com a proteína coagulante de moringa isolada, Abaliwano et al. (2008) encontraram uma remoção de mais de 95% da turbidez de águas altamente túrbidas e sugerem seu uso também como coagulante auxiliar.

Ghebremichael et al. (2005) afirmam que uma das vantagens de utilizar coagulantes provenientes da moringa é a variedade de produtos úteis que podem ser extraídos da semente: óleo; sólidos residuais (que podem ser usados como ração animal e fertilizante); cascas (que podem ser ativadas e utilizadas como um material adsorvente). Para Anwar e Bhangar (2003), a farinha resultante da extração do óleo da semente de moringa pode ser uma fonte de produtos químicos para tratamento de água, agregando valor ao cultivo da espécie. Ndabigengesere e Narasiah (1998), por sua vez, afirmam que é mais vantajoso utilizar as sementes de moringa como coagulante e como fonte de óleo vegetal simultaneamente.

Ressalta-se que a moringa é um vegetal de múltiplos usos: também possui alto valor nutricional e usos medicinais (Anwar et al., 2007; Ferreira et al., 2008; Mendieta-Araica et al., 2011; Sánchez-Machado et al., 2010; Siddhuraju e Becker, 2003; Jain et al., 2010), o que favorece o uso sustentável da espécie.

Observa-se que as funções de *Moringa oleifera* podem ser associadas, gerando diversos benefícios, o que justifica sua escolha como objeto de estudo. Nesse contexto, ressalta-se que a produção do biodiesel pode ocorrer em sistemas integrados de produção, minimizando a disposição de resíduos no meio (Sachs, 2007). Para Goldemberg (2009), está crescendo o interesse em sistemas integrados que permitam a coprodução de matéria-prima energética com outro produto agrícola, para atingir benefícios econômicos e ambientais. A utilização de sistemas integrados de produção também está relacionada à geração de subprodutos da fabricação de biodiesel, como a glicerina e torta de oleaginosa. Nesse contexto, Novaes (2001) afirma que as políticas de desenvolvimento agrário no Brasil apontam para a insustentabilidade e que a estratégia a ser utilizada no semiárido está baseada na convivência com as condições climáticas da região, por meio do aumento da eficiência no aproveitamento dos recursos locais. Essas perspectivas estão relacionadas ao aproveitamento integral das funções da moringa, em sistemas integrados de produção e utilização da espécie.

Tendo em vista essas considerações, o objetivo do trabalho é investigar o potencial da moringa para produção de biodiesel e tratamento de água, por meio da quantificação e qualificação do óleo das sementes, verificando se ele tem características favoráveis à produção de biodiesel, e da investigação do potencial coagulante das sementes para tratamento de água.

Metodologia

A fim de investigar as características químicas do óleo das sementes de *Moringa oleifera*, foram feitas análises no Laboratório de Química Orgânica Analítica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Inicialmente, foi realizada a extração do óleo das sementes sem casca, as quais foram coletadas nos municípios de Macaíba e de Apodi, Rio Grande do Norte. A cidade de Macaíba está localizada em uma região de clima tropical chuvoso (clima muito semelhante ao da capital do estado, Natal) e Apodi, em uma região de clima muito quente e semiárido (IDEMA, 2011).

As sementes foram maceradas em almofariz e postas para secar em estufa a 120 °C durante 75 minutos, tendo em vista que a umidade presente na amostra poderia alterar os resultados de rendimento obtidos na extração. Foi determinada a massa inicial das sementes maceradas e foi realizada a pesagem da amostra nos tempos de 15, 30, 45, 60 e 75 minutos após o início da secagem, para acompanhar a redução da umidade.

Em seguida, o pó resultante foi submetido à extração por solvente via agitação mecânica, na qual se utilizou 100 mL de clorofórmio e metanol na proporção de 1:1. A análise foi realizada em triplicata, sendo de aproximadamente 1,0 g a massa de sementes utilizada em cada amostra. As suspensões de sementes de moringa e solvente foram colocadas em agitador mecânico durante 30 minutos, com rotação de 1.500 rpm. Então, foi adicionado sulfato de sódio anidro e, após 15 minutos, foi realizada a filtração do material em papel de filtro. As amostras resultantes foram colocadas em evaporador, a fim de retirar os solventes utilizados e a umidade residual, e foram pesadas novamente.

O óleo obtido foi analisado em espectrofotômetro UV-Visível (Evolution 60, Thermo Scientific.). Para isso, foi dissolvido 0,05 mL do óleo obtido em 3 mL do solvente usado na extração, o qual também foi usado como branco. Foi realizada uma varredura de 200 a 600

nm de comprimento de onda, com intervalos de 2 nm. Por meio do software VisionNite, foi plotado o gráfico de comprimento de onda e absorbância.

A fim de obter uma amostra de biodiesel produzido a partir do óleo de moringa, foi realizada uma reação de transesterificação do óleo extraído das sementes. Foi utilizado metanol (com equivalente molar de 20:1) e catálise básica (com 1% de NaOH), durante 1 hora. O material passou pelas etapas de lavagem, secagem e evaporação e o biodiesel (éster metílico) resultante foi analisado por meio de cromatografia gasosa (com detector por ionização de chama, GC-FID).

Para analisar o efeito das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água, foram realizados experimentos no Laboratório de Pesquisas Ambientais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. A primeira etapa foi a preparação do extrato de moringa para aplicação na água como coagulante, com base em Pritchard et al. (2010a), Arantes et al. (2009), Lédo et al. (2010) e Babu e Chaudhuri (2005). Desse modo, as sementes (coletadas nos municípios de Macaíba/RN, Nordestina/BA e Tucano/BA) sem casca foram maceradas em almofariz e postas para secar em estufa a 100 °C durante um dia, para eliminar a umidade presente na amostra. Ndabigengesere e Narasiah (1998) afirmam que tanto sementes de moringa com casca como sem casca podem ser utilizadas como coagulante, mas aquelas sem casca são mais eficientes. Com 10 g do pó de sementes obtido e 1 L de água destilada, foi preparada uma suspensão, resultando numa concentração de 10 g/L. Ndabigengesere et al. (1995) avaliaram a atividade coagulante de extratos de moringa obtidos com diferentes solventes e a água foi o único solvente com o qual foi observada atividade coagulante. Após uma etapa de decantação, foi retirado o sobrenadante da suspensão para uso nos experimentos.

Em seguida, avaliou-se o efeito do extrato de moringa no tratamento de uma amostra de água coletada em uma lagoa de captação de águas pluviais do município de Natal, Rio Grande do Norte. Verificou-se que a turbidez inicial da água bruta coletada era de 20,2 UNT e

o seu pH era 10,42. A obtenção deste valor de pH exigiu uma correção, a fim de atingir o valor de 8, que foi considerado ótimo para a atividade coagulante da moringa por Bergamasco et al. (2009); Madrona et al. (2010) e Okuda et al. (2001). A correção foi feita utilizando-se ácido sulfúrico 0,1 N, no volume de 8 mL para 1 L de água a ser tratada.

A coagulação, a floculação e a sedimentação podem ser simuladas em laboratório, através de ensaios de tratabilidade em jarreste, que é um conjunto de reatores estáticos que fornece diferentes gradientes de velocidade (Di Bernardo et al., 2005), sendo um método largamente utilizado (Abaliwano et al., 2008). Foi realizado, então, um ensaio em jarreste, em que cada jarro recebeu 1 L de água bruta. Nos jarros 1 e 2, foi feita a correção de pH e, nos jarros 3 e 4, preservou-se o pH original. Nos jarros 1 e 3, utilizou-se 5 mL do extrato de moringa (MO), o que corresponde a uma dosagem de 50 mg/L, e, nos jarros 2 e 4, utilizou-se 10 mL do extrato de moringa, o que corresponde a uma dosagem de 100 mg/L. A mistura rápida, para a etapa de coagulação, foi realizada durante 20 segundos, com rotação de 120 rpm e a mistura lenta, para a etapa de floculação, foi realizada durante 5 minutos, com rotação de 30 rpm, seguida de decantação, durante 10 minutos.

Nesse ensaio, não foi observada a formação de flocos. Assim, realizou-se um teste em pequena escala com agitador magnético, utilizando-se uma amostra de 200 mL de água bruta com pH corrigido, à qual foi aplicada uma dosagem crescente do extrato de moringa, até 250 mg/L, e 1 mL de polímero, para auxiliar no processo de floculação. Contudo, houve apenas a formação de flocos pequenos, que não se aglutinaram nem decantaram. Em uma amostra de água bruta com pH corrigido, testou-se a dosagem de 300 mg/L de extrato, mas o processo de floculação também não foi eficiente.

Diante desses resultados, optou-se por verificar o efeito coagulante da moringa no tratamento de uma amostra de água sintética, produzida em laboratório com argila gorda. Primeiramente, foi feito um ensaio com agitador magnético, com amostras de água de 200 mL, a fim de determinar a faixa de dosagens do extrato de moringa adequada para ser

utilizada no ensaio em jarreste. Foram utilizadas as dosagens de 100, 125, 150, 175, e 200 mg/L e foram determinadas a turbidez, a concentração de sólidos suspensos (SS) e o pH inicial da amostra. Este era 8,42, não sendo necessário fazer a correção. As análises de cor, turbidez e sólidos suspensos foram realizadas em espectrofotômetro.

Em seguida, foi realizado um ensaio em jarreste. Nos jarros de 1 a 3, foi utilizada uma amostra de água sintética com baixa turbidez (BT) e, nos jarros de 4 a 6, a amostra de água apresentava alta turbidez (AT), considerando que estudos já realizados (Silva e Matos, 2008; Abaliwano et al., 2008; Pritchard et al., 2010b; Muyibi e Evison, 1995; Katayon et al., 2004; Katayon et al., 2006) afirmam que a eficiência do extrato de moringa na coagulação é maior em águas mais túrbidas. Nos jarros 1 e 4, foi utilizada a dosagem de 150 mg/L do extrato de moringa; nos jarros 2 e 5, 200 mg/L e, nos jarros 3 e 6, 250 mg/L. A mistura rápida foi realizada durante 30 segundos, com rotação de 120 rpm e a lenta, durante 10 minutos, com rotação de 40 rpm. O tempo de decantação foi de 15 minutos.

Foram determinadas a cor, a turbidez, a concentração de sólidos suspensos e a DQO (demanda química de oxigênio) da água bruta e da água tratada. As análises de DQO foram feitas de acordo com *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 1998), com o objetivo de determinar a presença de resíduos orgânicos na água tratada com moringa e suas consequências no consumo da água.

Diante dos resultados do último ensaio em jarreste, foram realizadas cinco repetições do ensaio, a fim de confirmar os dados obtidos inicialmente. Seguiu-se o mesmo procedimento para a preparação do extrato de moringa, na concentração de 10 g/L, mas as sementes foram postas para secar em estufa durante uma hora e foi utilizada toda a suspensão obtida (não apenas o sobrenadante após decantação).

Em cada um dos cinco ensaios, foram utilizadas 3,42 g de argila para preparação de 3 L de água de baixa turbidez e 10,75 g para 3 L de água de alta turbidez, de modo que cada jarro recebeu 1 L de água bruta. Nos jarros de 1 a 3, foi colocada a água de baixa turbidez e,

nos jarros de 4 a 6, a água de alta turbidez. Ademais, foram utilizadas as seguintes dosagens de extrato de moringa: 125 mg/L (nos jarros 1 e 4), 150 mg/L (nos jarros 2 e 5) e 200 mg/L (nos jarros 3 e 6). A dosagem de 125 mg/L foi incluída por ser um valor intermediário entre a dosagem de 150 mg/L, com a qual foram obtidos bons resultados, e a dosagem de 100 mg/L, com a qual não foi observada a floculação. Também foram determinadas a cor, a turbidez, a concentração de sólidos suspensos e a DQO da água bruta e da água tratada. Os resultados foram analisados no programa Statistica, por meio de ANOVA (análise de variância).

Resultados e discussão

No processo de extração do óleo das sementes de *Moringa oleifera* coletadas em Macaíba, realizado com clorofórmio/metanol (1:1) via agitação mecânica, os rendimentos obtidos nas três amostras foram: 45,69; 43,17 e 43,31%, resultando em um rendimento médio de 44,06% de óleo. Com as sementes obtidas no município de Apodi, os rendimentos foram os seguintes: 38,86; 38,62 e 38,89%, sendo de 38,79% o rendimento médio.

As diferenças de rendimento observadas para as amostras de sementes de moringa coletadas nas duas localidades corroboram as observações de Ibrahim et al. (1974, apud Anwar e Bhangar, 2003). Os autores afirmam que a quantidade de óleo para a espécie estudada varia de acordo com as condições ambientais do seu local de cultivo. No presente trabalho, observa-se que, em condições de clima semiárido, o rendimento do óleo nas sementes de moringa é menor, quando comparado com o obtido para sementes coletadas em região de clima úmido. A disponibilidade de água parece ser um fator importante na fisiologia da espécie, interferindo na produção de óleo.

Palese et al. (2010) verificaram um aumento na quantidade de óleo nas sementes de oliveiras (*Olea europaea* L., cv Coratina) provenientes de plantas não irrigadas, em relação a

plantas irrigadas. Eiasu et al. (2009) observaram que, para *Pelargonium*, o rendimento de óleo é maior em condições de maior umidade no solo. Oktem (2008) obteve um aumento na concentração de proteínas do milho (*Zea mays* L. *saccharata* Sturt) em situação de deficiência hídrica, devido a alterações no metabolismo do vegetal. Esses resultados mostram que a mesma espécie pode apresentar variações na produção de substâncias em função da disponibilidade de água.

No que se refere ao rendimento, os resultados obtidos estão de acordo com o descrito por alguns autores. Após extração em Soxhlet com hexano, rendimentos de 38 a 42% foram obtidos por Anwar e Bhangar (2003), que utilizaram sementes coletadas em regiões de clima temperado, e de 35% por Rashid et al. (2008). Também com hexano, Silva et al. (2010) encontraram rendimento de 39%, utilizando sementes coletadas em áreas rurais de Pernambuco (que também fica na Região Nordeste do Brasil). Em comparação com a extração com éter e acetona, Mani et al. (2007) encontraram máximo rendimento com hexano: 33,5%. Lalas e Tsaknis (2002), por sua vez, observaram rendimentos de 25,1% na extração do óleo de moringa por pressão a frio, de 38,3% na extração com hexano e 41,4% na extração com clorofórmio e metanol. Por meio de cromatografia gasosa, Ayerza (2011) encontrou um percentual de 37% de óleo nas sementes de moringa obtidas em região árida da Argentina.

Rendimentos menores foram encontrados por Martín et al. (2010): 14% após extração mecânica e 24,1% após extração por solvente (hexano). Abdulkarim et al. (2005) obtiveram um rendimento de 30,8% ao extrair o óleo de moringa com solvente (éter de petróleo) em extrator Soxhlet, método que foi mais eficiente que a extração enzimática aquosa. Tsaknis et al. (1999) tiveram como resultado rendimentos de 25,8% na extração por pressão a frio, 35,7% na extração com hexano e 31,2% na extração com clorofórmio e metanol, utilizando sementes coletadas em região de clima seco do Quênia.

O método de extração de óleo de sementes de moringa utilizado neste trabalho (extração com clorofórmio e metanol via agitação mecânica) difere dos métodos mais comuns

descritos na literatura e resultou em rendimento ligeiramente maior que os encontrados pelos autores citados. Esse resultado assemelha-se apenas ao de Lalas e Tsaknis (2002). Os menores rendimentos descritos na literatura foram encontrados quando utilizadas sementes provenientes de regiões mais secas, tal como observado no presente trabalho.

Ressalta-se o caráter inovador dos resultados aqui obtidos, tendo em vista a análise do óleo de sementes coletadas em duas cidades do Nordeste brasileiro, sendo uma delas de clima semiárido. Corroborando os resultados encontrados, Abdulkarim et al. (2005) afirmam que as variações no rendimento obtido podem ser atribuídas a diferenças na variedade da planta, no clima em que foi cultivada, no estágio de maturação, na época de colheita das sementes e no método de extração utilizado.

Contudo, os rendimentos obtidos para as sementes das duas localidades ainda são considerados altos. Segundo Pritchard et al. (1991, apud Anwar e Bhanger, 2003), o conteúdo médio de óleo das sementes de moringa é maior que o de quatro culturas oleíferas convencionais: algodão (15 a 24%), soja (17 a 21%), cártamo (25 a 40%) e mostarda (24 a 40%), cultivadas nos Estados Unidos, Brasil, China e em outros países asiáticos e europeus. O percentual de óleo da moringa assemelha-se ao do girassol (*Heliantus annuus* L.), que é de 45 a 50%, sendo esta espécie uma matéria-prima para biodiesel (Rashid et al., 2008; Pinto et al., 2005). Já as sementes de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) apresentam 44,5% de óleo (Bringi, 1987, apud Azam et al., 2005) e as de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), 40 a 60% (Martínez-Herrera et al., 2006; Kumar e Sharma, 2008).

De acordo com as análises realizadas em espectrofotômetro UV-Visível (gráficos 1 e 2), o óleo de moringa extraído das sementes coletadas em Macaíba e em Apodi apresentou absorvância elevada no comprimento de onda de 236 nm, o que indica a presença de ácidos oléico, linoléico e linolênico (Reda, 2004), os quais são adequados para a produção de biodiesel (Kumar e Sharma, 2008). Segundo Anwar e Bhanger (2003) e Rashid et al. (2008), o ácido oléico perfaz 76% do óleo das sementes de moringa. Esse percentual é de 70,6%,

conforme Martín et al. (2010), de 78%, conforme Silva et al. (2010) e de 66,6%, conforme Kafuku et al. (2010).

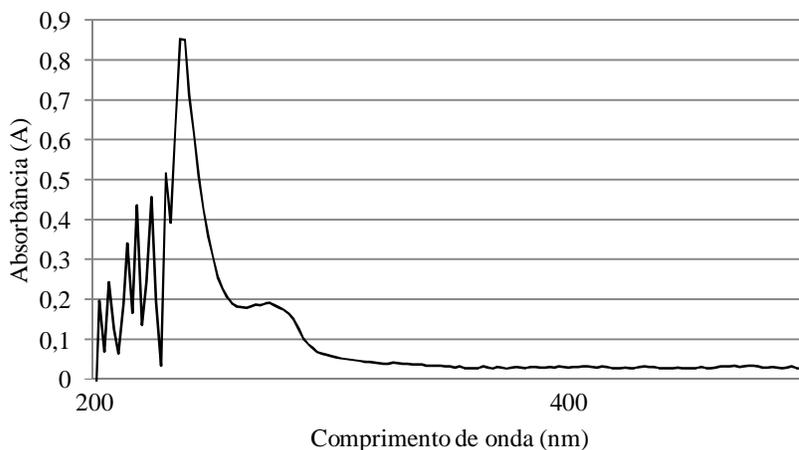


Gráfico 1: Espectro de UV-Visível do óleo de sementes de *Moringa oleifera* Lam. coletadas em Macaíba.

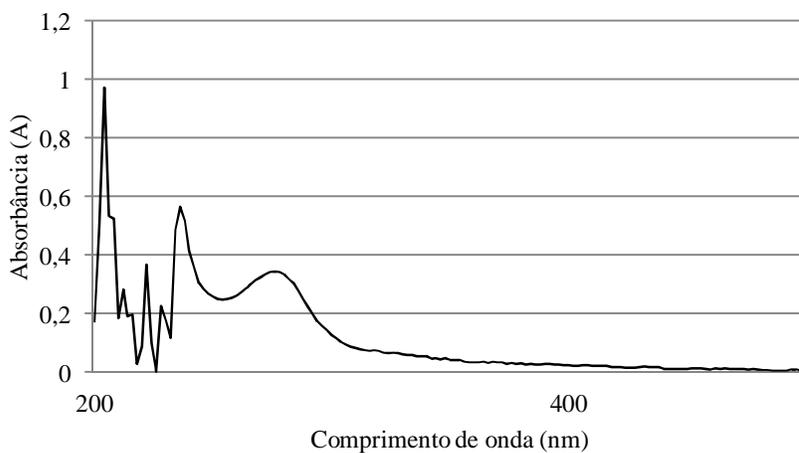


Gráfico 2: Espectro de UV-Visível do óleo de sementes de *Moringa oleifera* Lam. coletadas em Apodi.

Esse resultado obtido para o óleo de moringa é semelhante ao de outras matrizes em estudo para a produção de biodiesel. Pinto et al. (2005) afirmam que o girassol possui óleo composto por cerca de 73% de ácido linoléico e 18% de ácido oléico e o óleo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é composto por 77% de ácido linoléico e 13,5% de ácido oléico.

Além dessa variedade com alto teor de ácido linoléico, pode ser encontrada também uma variedade de cártamo que apresenta alta porcentagem (75 a 81%) de ácido oléico (Hamdan et al., 2008). O óleo das sementes de nim possui 61,9% de ácido oléico (Bringi, 1987, apud Azam et al., 2005) e o de pinhão manso, 47% de ácido oléico e 31,6% de ácido linoléico (Kumar e Sharma, 2008).

Na reação de transesterificação realizada com o óleo das sementes de moringa, obteve-se um rendimento de 98%. Este valor é superior ao obtido por Silva et al. (2010), que encontraram rendimentos de cerca de 70% após 4 horas de reação de transesterificação com catálise básica (sendo NaOH o catalisador, assim como utilizado neste trabalho), com a qual foram obtidos rendimentos maiores do que os obtidos com catálise ácida. Comparando-se com um padrão preestabelecido, a análise por cromatografia gasosa indicou que o biodiesel gerado tem pureza elevada, sendo constituído principalmente por ésteres de ácido oléico, que perfazem 76,6% do material. Esse percentual confirma os resultados obtidos por meio de espectrofotometria UV-Visível e aqueles informados pela literatura, como citado anteriormente.

No que se refere às análises de tratamento de água, inicialmente, observou-se que um aspecto que deve ser discutido em relação ao uso de *Moringa oleifera* como coagulante é a grande geração de resíduos com a retirada das cascas das sementes para preparação do extrato. Nesse sentido, é importante ressaltar que *M. oleifera* pode ser utilizada de forma integral, em função de suas várias potencialidades. Seu aproveitamento pode ser feito em sistemas integrados de produção, podendo-se utilizar as cascas como ração animal, fertilizante ou material adsorvente, por exemplo (Ghebremichael et al., 2005; Pollard et al., 1995). Ademais, essa geração de resíduos é minimizada em comunidades rurais, nas quais a semente é utilizada integralmente, sem a retirada das cascas para o tratamento de água.

No primeiro experimento realizado, verificou-se que o extrato de *Moringa oleifera* não foi eficiente para o tratamento da água coletada em lagoa de captação. No caso da amostra de

água bruta com pH corrigido, à qual foi aplicada a dosagem de 300 mg/L de extrato, a turbidez final foi de 75,3 UNT. Esse aumento da turbidez é devido à aplicação do extrato de moringa, que é uma suspensão, e à presença de flocos, que não atingiram tamanho e massa adequados para que ocorresse a decantação, bem como a consequente remoção dos sólidos suspensos na água.

Pode-se atribuir esses resultados à presença de grande quantidade de algas na água, conferindo a ela uma coloração esverdeada e um valor de pH mais elevado. Conclui-se, então, que o extrato de moringa não é eficiente no tratamento de águas cuja turbidez é gerada pela presença de algas. Ademais, a dosagem na qual a floculação começou a ser observada, de 250 mg/L, é mais alta que a descrita como eficiente por alguns autores (Ndabigengesere e Narasiah, 1998; Lédo et al., 2010; Pritchard et al., 2010b; Muyibi e Evison, 1995), o que exigiria maiores quantidades de sementes, bem como poderia acarretar um incremento na quantidade de resíduos orgânicos na água tratada.

Nos ensaios com água sintética produzida com argila, pôde-se observar a floculação gerada pela aplicação do extrato de moringa. Observou-se também que o aumento do tempo de decantação promove maior remoção aparente dos flocos da água, mesmo nas amostras de água com baixa turbidez.

Na figura 1, pode-se observar as amostras de água sintética utilizadas no ensaio com agitador magnético, no qual se utilizaram dosagens de 100, 125, 150, 175 e 200 mg/L de extrato de moringa e foram obtidas remoções de 59; 75; 80; 92 e 96% de turbidez e de ; 80; 83; 94 e 96% de sólidos suspensos, respectivamente, tal como mostra o gráfico 3.



Figura 1: Amostras de água tratada com 200, 175, 150, 125 e 100 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera* e de água bruta (à direita).

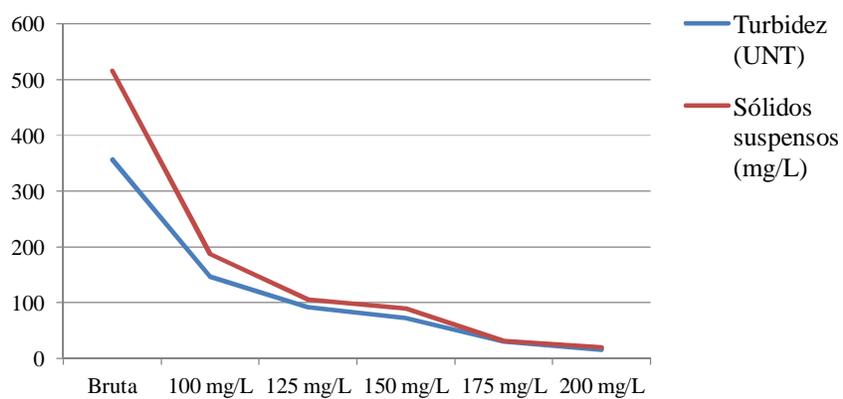


Gráfico 3: Valores de turbidez (UNT) e sólidos suspensos (mg/L) obtidos em ensaio com agitador magnético, utilizando água bruta e dosagens de 100, 125, 150, 175 e 200 mg/L de extrato de *Moringa oleifera*.

Na figura 2, pode-se observar o ensaio de tratamento de água sintética com extrato de sementes de *Moringa oleifera* em jarreste, utilizando água bruta de baixa e de alta turbidez e, na figura 3, o resultado do ensaio após as etapas de coagulação, floculação e decantação.

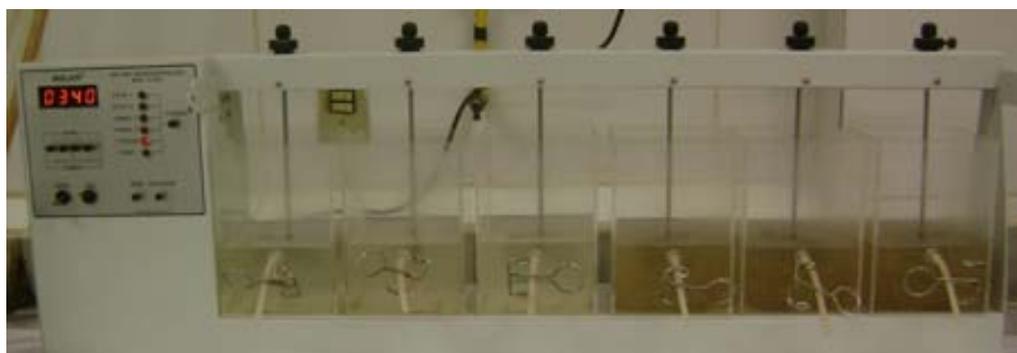


Figura 2: Ensaio de tratamento de água com extrato de sementes de *Moringa oleifera* em jarteste, utilizando água bruta de baixa turbidez (três cubas à esquerda) e de alta turbidez (três cubas à direita).

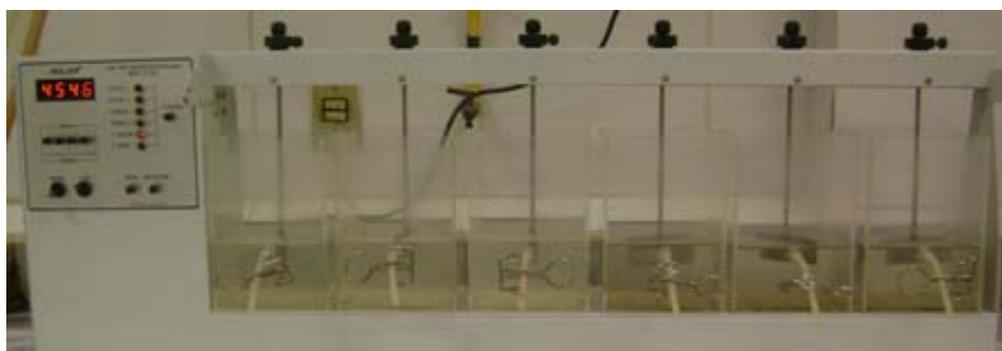


Figura 3: Ensaio de tratamento de água com extrato de sementes de *Moringa oleifera* em jarteste, utilizando água bruta de baixa turbidez (três cubas à esquerda) e de alta turbidez (três cubas à direita), após as etapas de coagulação, floculação e decantação.

Os resultados dos ensaios de tratamento de água sintética em jarteste, após realização da análise de variância (ANOVA), estão mostrados nos gráficos de 4 a 11. Foi utilizado um nível de confiança de 95% e, nesses gráficos, não há diferenças estatísticas entre resultados cujas barras de intervalos de confiança sofrem interseção.

De acordo com o gráfico 4, a aplicação do extrato de moringa não foi eficiente na remoção de turbidez da água bruta de baixa turbidez. Do ponto de vista estatístico, não há diferença entre a média dos valores de turbidez da água bruta e a média dos valores de turbidez das amostras tratadas com extrato de moringa, embora tenham sido observadas remoções médias de 52; 47 e 38% com as dosagens de, respectivamente, 125, 150 e 200 mg/L

de extrato. Não foi obtido o mesmo resultado para a água de alta turbidez, na qual a remoção de turbidez na água tratada foi significativa (gráfico 5). Entretanto, não foi observada diferença na remoção de turbidez entre as dosagens de extrato de moringa utilizadas, que promoveram reduções médias de 95% na turbidez em relação à água bruta.

Esses resultados corroboram os encontrados na literatura. Inicialmente, eles confirmam que as sementes de moringa promovem maior remoção de turbidez em águas com maior turbidez inicial, assim como exposto em Silva e Matos (2008), Abaliwano et al. (2008), Pritchard et al. (2010b), Muyibi e Evison (1995), Katayon et al. (2004) e Katayon et al. (2006). Pritchard et al. (2010b) obtiveram uma remoção de turbidez de 50% em águas com baixa turbidez (40 UNT) e de 90% em águas de alta turbidez (200 UNT), além de determinarem como ótima a dosagem de 50 mg/L de extrato de sementes de moringa. As taxas menores de remoção de turbidez encontradas em águas menos túrbidas podem ser atribuídas à baixa concentração de matéria coloidal, o que limita o contato entre as partículas e, conseqüentemente, a floculação (Weber, 1972, apud Pritchard et al., 2010b). A mesma explicação é dada por Muyibi e Evison (1995), que obtiveram remoção de 98,5% da turbidez de águas com turbidez inicial de 600 UNT, com a dosagem de 100 mg/L de extrato de moringa.

O trabalho de Ndabigengesere e Narasiah (1998) obteve como resultado uma remoção de 90% de turbidez de uma amostra de água bruta com 105 UNT, após utilização de extrato de sementes de moringa na dosagem de 50 mg/L. Pritchard et al. (2010b) também observaram que sementes estocadas durante 12 meses ainda promovem redução de 90% na turbidez de águas com valores de turbidez entre 150 e 200 UNT.

Pritchard et al. (2010a), por sua vez, apontam uma remoção de 74% na turbidez de água fluvial (com turbidez inicial de 45 UNT) após o tratamento com de *M. oleifera*, mas a dose utilizada foi de 250 mg/L. Arantes et al. (2009) encontraram como resultado uma remoção de 94% na turbidez de água bruta cuja turbidez inicial era 100 UNT, utilizando uma

dosagem de 300 mg/L de extrato de sementes de moringa. Para águas com turbidez elevada (acima de 200 UNT), Katayon et al. (2004) determinaram que a dosagem ótima do extrato de moringa é de 400 mg/L. Nestes últimos trabalhos, foram utilizadas dosagens maiores que as estudadas nesta pesquisa. Ressalta-se que o aumento nas dosagens de *M. oleifera* pode acarretar uma reversão de cargas e, conseqüentemente, o restabelecimento das partículas desestabilizadas, o que aumenta a turbidez residual (Weber, 1972, apud Muyibi e Evison, 1995).

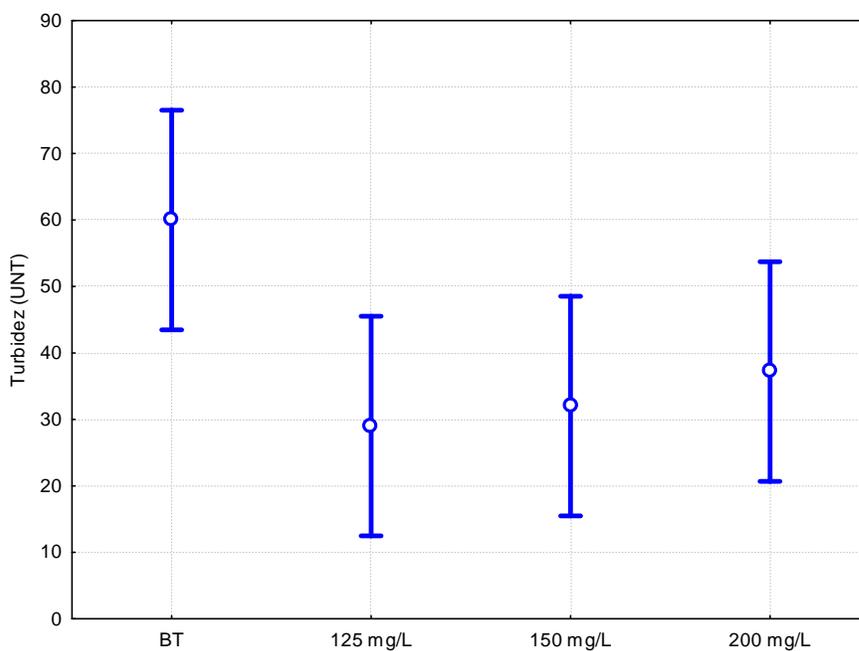


Gráfico 4: Valores de turbidez (UNT) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

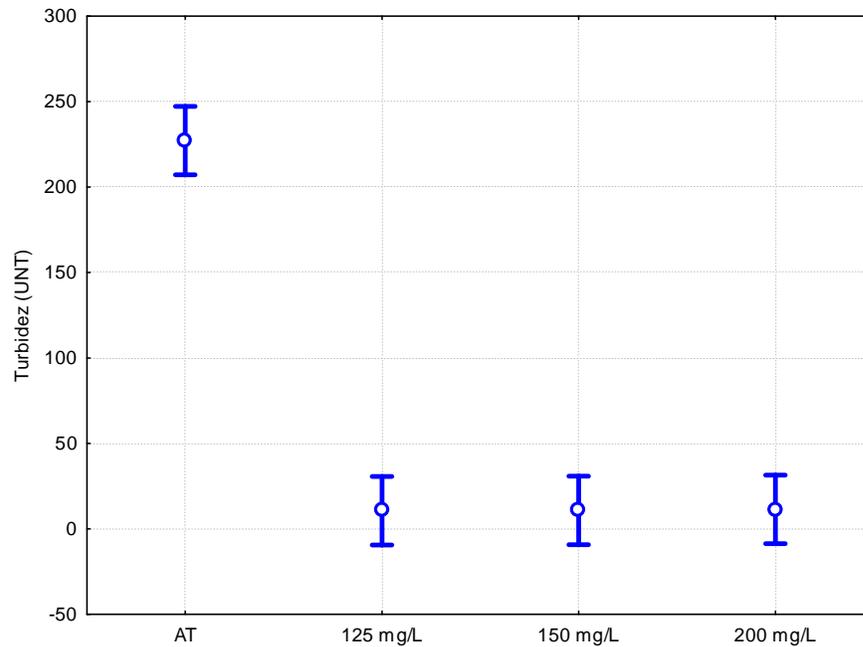


Gráfico 5: Valores de turbidez (UNT) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

Neste trabalho, foram obtidos resultados semelhantes no que se refere à cor. Não foram observadas diferenças estatísticas entre a amostra de água de baixa turbidez e as amostras de água tratada, conforme o gráfico 6. Foram observadas remoções médias de 47; 41 e 32% com as dosagens de, respectivamente, 125, 150 e 200 mg/L de extrato de moringa. Na água de alta turbidez (gráfico 7), a remoção de cor foi significativa em relação à água bruta, tendo sido observada uma redução média de 94% nas amostras de água tratada, considerando cada uma das três dosagens. Novamente, não foram observadas diferenças entre os efeitos das três dosagens do extrato de moringa.

Arantes et al. (2009) encontraram como resultado uma remoção de 91% na cor de água bruta cuja cor inicial era 700 PtCo, mas foi utilizada uma dose mais elevada, de 300 mg/L de extrato de sementes de moringa. Ao isolarem a proteína coagulante destas sementes em diferentes concentrações salinas, Madrona et al. (2010) alcançaram reduções de 82% na cor e 96% na turbidez de água fluvial com altos valores de cor e turbidez, utilizando 48 g da

proteína em ensaios em jarreste. Essa redução de cor é inferior à encontrada no presente trabalho.

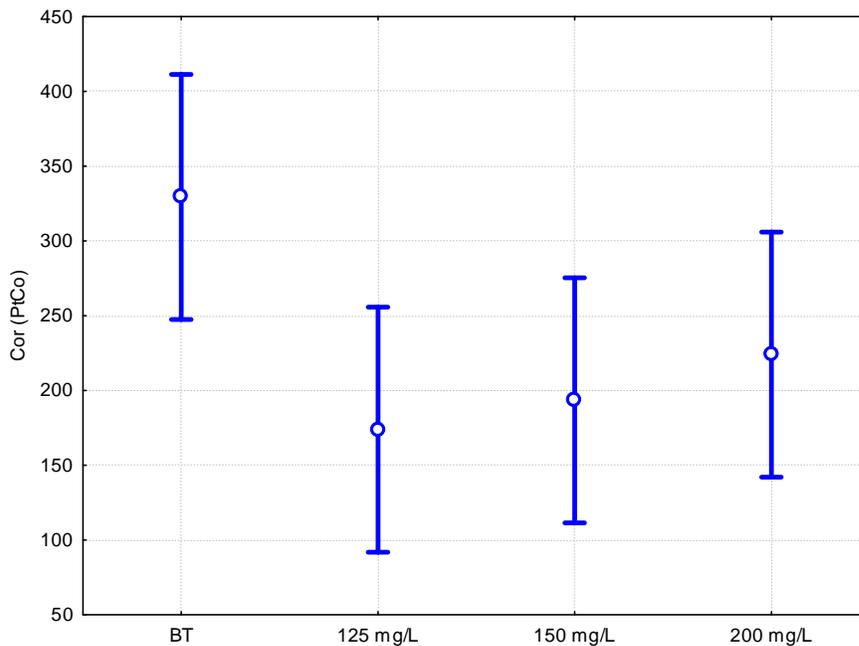


Gráfico 6: Valores de cor (PtCo) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

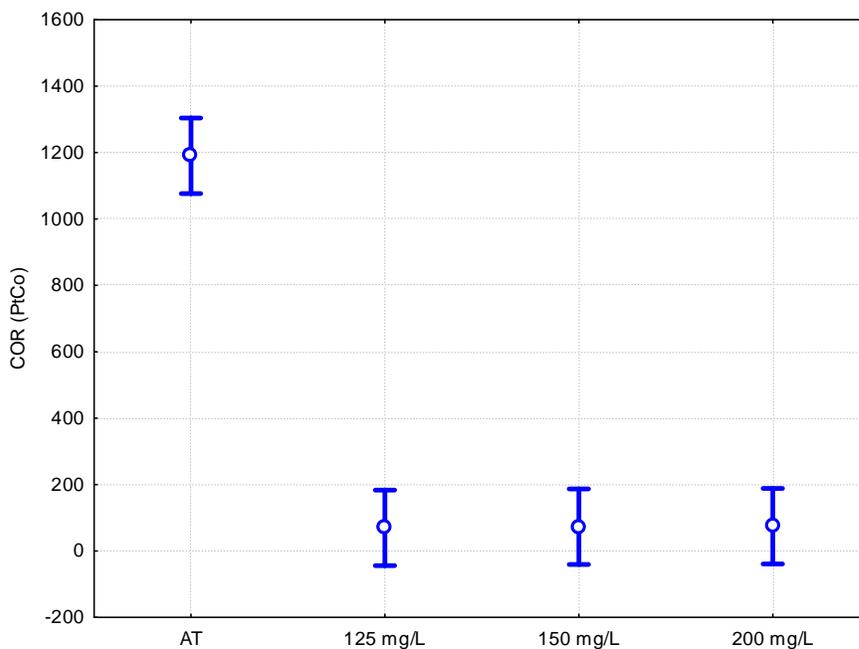


Gráfico 7: Valores de cor (PtCo) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

Conforme exposto no gráfico 8, para a água bruta de baixa turbidez, as três dosagens do extrato de moringa foram igualmente eficientes na remoção de sólidos suspensos. Utilizando as dosagens de 125, 150 e 200 mg/L de extrato de moringa, foram observadas remoções médias de 59; 55 e 45%, respectivamente. Para a água bruta de alta turbidez, o gráfico 9 mostra que, assim como foi observado para a turbidez e a cor, houve redução significativa de sólidos suspensos (média de 96% para as dosagens de 125 e 150 mg/L e de 95% para 200 mg/L) e não houve diferenças entre as dosagens de extrato de moringa. Então, recomenda-se a aplicação da dosagem de 125 mg/L, como meio de otimizar a utilização da matéria-prima, considerando as dosagens estudadas.

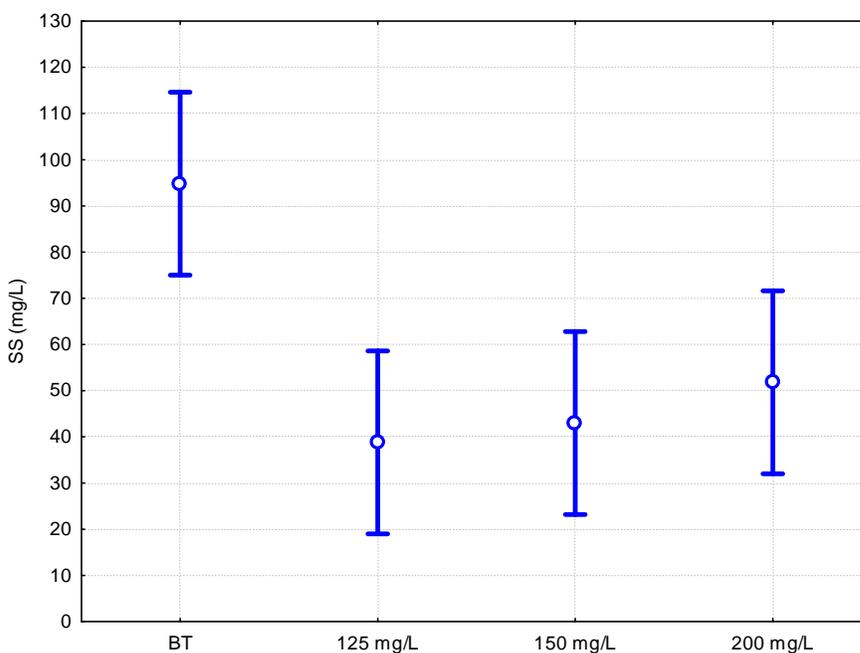


Gráfico 8: Valores de sólidos suspensos (mg/L) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

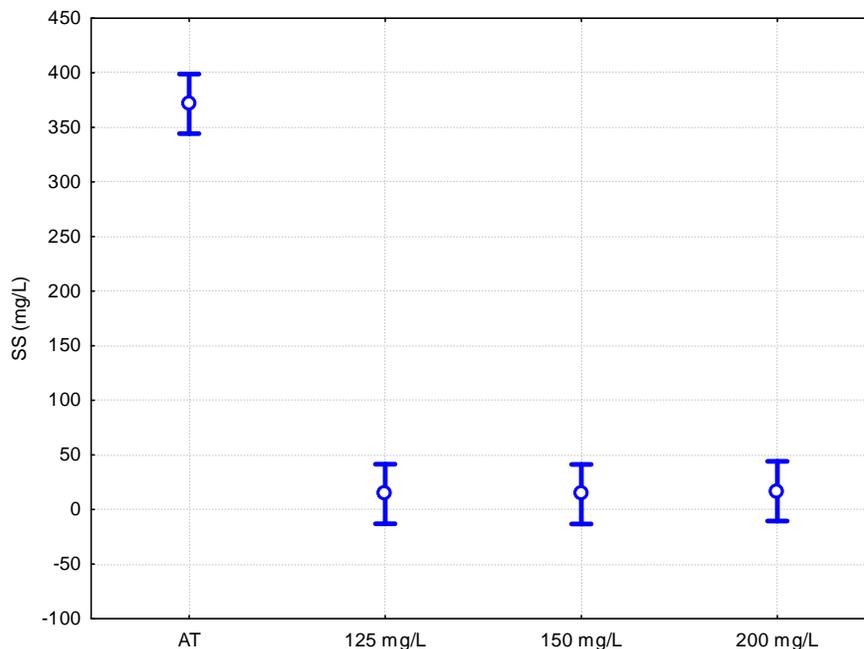


Gráfico 9: Valores de sólidos suspensos (mg/L) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

No que se refere aos valores de DQO, não foram observadas diferenças entre a água bruta e a água tratada com as três dosagens de extrato de moringa, tanto para a água de baixa turbidez como para a de alta turbidez (gráficos 10 e 11). Contudo, para a água bruta de baixa turbidez e com as dosagens de 125, 150 e 200 mg/L de extrato de moringa, foram observados valores médios de DQO de 8,72; 11,57 e 9,8 mg/L, respectivamente, que correspondem a aumentos médios de 3; 37 e 16% nos valores de DQO, considerando que o valor médio da DQO da água bruta era de 8,46 mg/L. Para a água de alta turbidez (que apresentou DQO média inicial de 4,69 mg/L), observou-se uma leve tendência de aumento na DQO com o aumento da dosagem de moringa. Neste caso, foram observados valores médios de DQO de 7,84; 8,49 e 9,34 mg/L, que representam aumentos médios de 67; 81 e 99% nos valores de DQO com as dosagens de, respectivamente, 125, 150 e 200 mg/L de extrato de moringa.

A determinação da DQO é justificada pela natureza orgânica do coagulante proveniente das sementes de moringa, tendo em vista que a principal forma de desinfecção da

água (como etapa final do tratamento) é a aplicação de cloro, o qual reage com compostos orgânicos presentes na água e contribui para a formação de trihalometanos, que são compostos nocivos à saúde (Meyer, 1994). Ao determinar a DQO de água tratada com moringa, Ndabigengesere e Narasiah (1998) observaram que a aplicação desse coagulante aumenta a concentração de matéria orgânica, causando problemas relativos a cor, odor e sabor durante o armazenamento da água tratada. Diante desse resultado, os autores recomendam que a utilização da moringa no tratamento de água seja feita após a purificação da proteína com função coagulante. Uma alternativa à desinfecção por aplicação de cloro para complementar o uso da moringa em pequenas comunidades é a desinfecção por radiação solar, a qual foi considerada eficiente por Amaral et al. (2006), cujo trabalho afirma que essa prática pode ser utilizada para diminuir a incidência de doenças de veiculação hídrica.

Ao estudarem a presença de resíduos orgânicos na água tratada com *M. oleifera*, Sánchez-Martín et al. (2010) determinaram a concentração de carbono orgânico dissolvido. Os autores compararam dois métodos de purificação da proteína coagulante de *M. oleifera* e concluíram que um deles se mostrou mais eficiente na redução do carbono orgânico dissolvido presente na água tratada, devido à remoção de compostos orgânicos não coagulantes durante o processo de purificação. Além disso, o aumento da dosagem da proteína coagulante aplicada, além da necessária para remoção de turbidez e carbono orgânico dissolvido, promove aumento no carbono orgânico dissolvido residual. Os resultados de Sánchez-Martín et al. (2010) também confirmaram os encontrados por Pritchard et al. (2010b), na medida em que a remoção de carbono orgânico dissolvido foi maior em águas de turbidez inicial mais elevada, em virtude do maior número de interações entre as partículas.

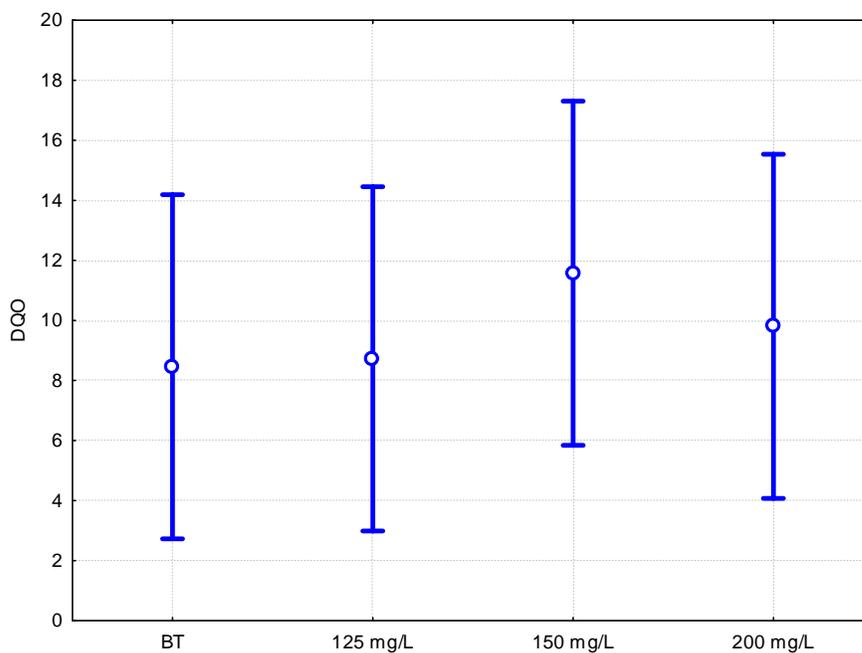


Gráfico 10: Valores de DQO (demanda química de oxigênio, em mg/L) da água bruta de baixa turbidez (BT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

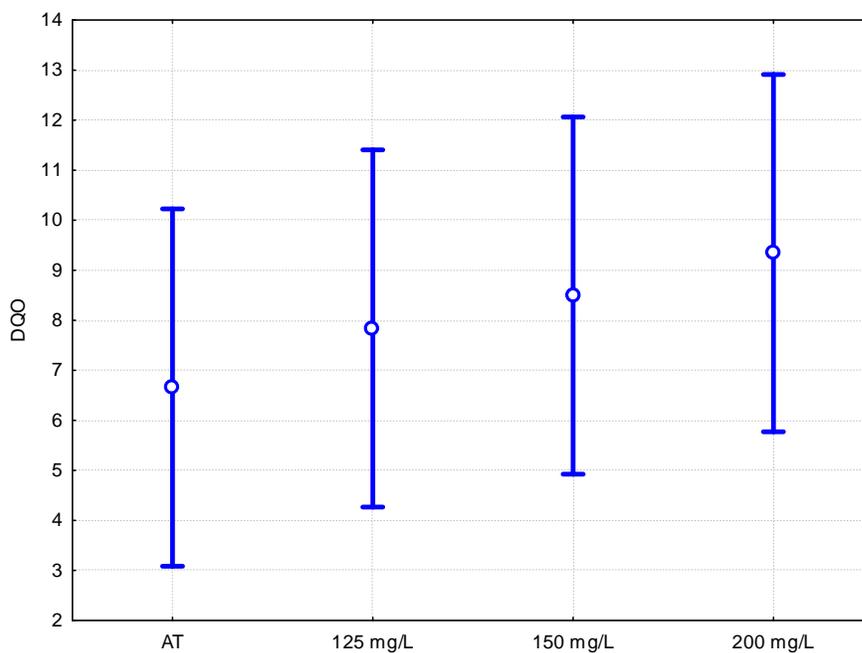


Gráfico 11: Valores de DQO (demanda química de oxigênio, em mg/L) da água bruta de alta turbidez (AT) e da água tratada com 125, 150 e 200 mg/L de extrato de sementes de *Moringa oleifera*.

Por fim, segundo os padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, os valores máximos permitidos (VMP) para os parâmetros de turbidez e cor são, respectivamente, 5 UNT e 15 PtCo, para que a água seja avaliada como potável. Considerando esses padrões, pode-se afirmar que os resultados obtidos neste trabalho para a água tratada com *Moringa oleifera* não atende aos padrões de potabilidade da água para consumo humano – até a etapa de decantação, levando-se em conta que, em uma estação de tratamento de água convencional, ainda haveria as etapas de filtração e desinfecção. Contudo, deve-se ressaltar que as taxas de remoção de turbidez, cor e sólidos suspensos encontradas neste trabalho foram bastante elevadas. A fim de aumentar a eficiência do tratamento, recomenda-se que a utilização da moringa como coagulante seja associada a outras etapas, como aumento do tempo de decantação, filtração e desinfecção – que podem ser utilizadas mesmo em sistemas rudimentares, tal como proposto por Babu e Chaudhuri (2005) e Pinto e Hermes (2005). Ademais, em pequenas comunidades, a população dificilmente tem acesso a água que atenda a todos os padrões de potabilidade, principalmente quando tratada com métodos de simples aplicação. Esses aspectos indicam que a utilização da moringa é uma ótima solução para comunidades em que a água de boa qualidade é escassa.

Conclusões

A extração do óleo das sementes de moringa teve como resultado um excelente rendimento e o espectro de UV-Visível indicou a presença de ácidos oléico, linoléico e linolênico. Na reação de transesterificação, também foi obtido um excelente rendimento e o biodiesel obtido é composto principalmente por ácido oléico. Essas características são favoráveis à utilização da espécie como matriz para produção de biodiesel.

Ademais, as sementes de *M. oleifera* se mostraram eficientes no processo de coagulação para tratamento de água, podendo ser utilizadas diretamente em sistemas rudimentares de tratamento ou servindo como matéria-prima para a extração de proteínas coagulantes a serem utilizadas em larga escala, como alternativas aos coagulantes tradicionais. A fim de atingir os parâmetros de potabilidade da água para consumo humano, recomenda-se a inclusão das etapas de filtração e desinfecção ao tratamento de água utilizando a moringa, as quais podem ser facilmente implementadas em pequenas comunidades.

Referências

Abaliwano, J. K., Ghebremichael, K. A. e Amy, G. L., Application of the Purified *Moringa oleifera* Coagulant for Surface Water Treatment, Water Mill Working Paper Series, UNESCO – Institute for Water Education, No. 5. (2008).

Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S. e Ghazali, H. M., Some physico-chemical properties of *Moringa oleifera* seed oil extracted using solvent and aqueous enzymatic methods, Food Chemistry, No. 93 (2005).

Alves, M. C. S., Medeiros Filho, S., Bezerra, A. M. E. e Oliveira, V. C., Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição, Ciênc. agrotec. Lavras, 29, No. 5 (2005).

Amaral, L. A., Nunes, A. P., Castania, J., Lorenzon, C. S., Barros, L. S. S. e Nader Filho, A.,
Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos, Arq. Inst. Biol., 73, No. 1
(2006).

Anwar, F. e Bhangar, M. I., Analytical Characterization of *Moringa oleifera* Seed Oil Grown
in Temperate Regions of Pakistan, J. Agric. Food Chem., No. 51 (2003).

Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M. e Gilani, A. H., *Moringa oleifera*: A food plant with multiple
medicinal uses, Phytotherapy Research, No. 21 (2007).

APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public
Health Association Inc., New York (1998).

Arantes, C. C., Paterniani, J. E. S. e Ribeiro, L. C. L. J., Uso de coagulantes naturais a base de
sementes de *Moringa oleifera* e tanino visando a redução de turbidez e cor aparente em águas
de abastecimento para comunidades rurais, 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária
e Ambiental, Recife/PE (2009).

Arnal, J. M., García-Fayos, B., Sancho, M., Lora, J. e Verdú, G., Water potabilization in
developing countries: membrane technology and natural coagulants, Desalination, No. 200
(2006).

Ayerza, R., Seed yield components, oil content, and fatty acid composition of two cultivars of
moringa (*Moringa oleifera* Lam.) growing in the Arid Chaco of Argentina, Industrial Crops
and Products, No. 33 (2011).

Azam, M. M., Waris, A. e Nahar, N. M., Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India, *Biomass and Bioenergy*, 29, No. 4 (2005).

Babu, R. e Chaudhuri, M., Home water treatment by direct filtration with natural coagulant, *Journal of Water and Health*, 3, No. 1 (2005).

Barnwal, B. K. e Sharma, M. P., Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 9 (2005).

Bergamasco, R., Konradt-Moraes, L. C., Cardoso, K. C., Vieira, A. M. S., Madrona, G. S. e Klen, M. R. F., Diagramas de coagulação utilizando a *Moringa Oleifera* Lam. e o sulfato de alumínio, visando a remoção de cor e turbidez da água, 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Recife/PE (2009).

Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N. e Eiger, S., *Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável*. Pearson Prentice Hall, São Paulo (2005).

Brasil, Fundação Nacional de Saúde, Manual de saneamento. Fundação Nacional de Saúde, Brasília (2006).

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília (2006).

Brasil, Portaria nº 2.914, Diário Oficial da União, Brasília, DF, Seção 1, p. 39 (2011).

Brasil, Presidência da República, Lei nº 11.097. Texto disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004.../2005/Lei/L11097.htm> (2005).

Brasil, Presidência da República, Resolução CNPE nº 6. Texto disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_cnpe/2009/rcnpe%206%20-%202009.xml> (2009).

Demirbas, A., Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Conversion and Management*, No. 50 (2009).

Demirbas, A. e Demirbas, I., Importance of rural bioenergy for developing countries, *Energy Conversion and Management*, No. 48 (2007).

Di Bernardo, L., Di Bernardo, A. e Centurione Filho, P. L., Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. Rima, São Carlos (2005).

Eiasu, B. K., Steyn, J. M., Soundy, P., Rose-scented geranium (*Pelargonium capitatum* x *P. radens*) growth and essential oil yield response to different soil water depletion regimes, *Agricultural Water Management*, 96 (2009).

Ferrari, R. A., Oliveira, V. S. e Scabio, A., Biodiesel de soja — taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia, *Química Nova*, 28, No.1 (2005).

Ferreira, P. M. P., Farias, D. F., Oliveira, J. T. A. e Carvalho, A. F. U., *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential, *Rev. Nutr.*, 21, No. 4 (2008).

Gallão, M. I., Damasceno, L. F. e Brito, E. S., Avaliação química e estrutural da semente de moringa, *Revista Ciência Agronômica*, 37, No. 1 (2006).

Ghebremichael, K. A., *Moringa* seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment, *KTH Land and Water Resources Engineering* (2004).

Ghebremichael, K. A., Natural Resources for Appropriate Water Treatment. 32° WEDC International Conference, Colombo, Sri Lanka (2006).

Ghebremichael, K. A., Gunaratna, K. R., Henriksson, H., Brumer, H. e Dalhammar, G., A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed, *Water Research*, No. 39 (2005).

Goldemberg, J., Biomassa e energia, *Quim. Nova*, 32, No. 3 (2009).

Hamdan, Y. A. S., Velasco, L. e Pérez-Vich, B., Development of SCAR markers linked to male sterility and very high linoleic acid content in safflower, *Mol Breeding*, No. 22 (2008).

Hinrichs, R. A. e Kleinbach, M., *Energia e meio ambiente*. Pioneira Thomson Learning, São Paulo (2003).

Hu, Z., Tan, P., Yan, X. e Lou, D., Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China, *Energy*, No. 33 (2008).

IDEMA. Perfil do seu município. Texto disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/enviados/perfil_municipio.asp>. Acesso em: 05 dez. 2011.

Jain, P. G., Patil, S. D., Haswani, N. G., Girase, M. V. e Surana, S. J., Hypolipidemic activity of *Moringa oleifera* Lam., Moringaceae, on high fat diet induced hyperlipidemia in albino rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20, No. 6 (2010).

Joly, A. B., Botânica – introdução à taxonomia vegetal. Companhia Editora Nacional, São Paulo (2005).

Kafuku, G., Lam, M. K., Kansedo, J., Lee, K. T. e Mbarawa, M., Heterogeneous catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil, *Fuel Processing Technology*, No. 91 (2010).

Kafuku, G. e Mbarawa, M., Alkaline catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil with optimized production parameters, *Applied Energy*, No. 87 (2010).

Katayon, S., Noor, M. J. M. M., Asma, M., Ghani, L. A. A., Thamer, A. M., Azni, I., Ahmad, J., Khor, B. C. e Suleyman, A. M., Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation, *Bioresource Technology*, No. 97 (2006).

Katayon, S., Noor, M. J. M. M., Asma, M., Thamer, A. M., Abdullah, A. G. L., Idris, A., Suleyman, A. M., Aminuddin, M. B. e Khor, B. C., Effects of storage duration and temperature of *Moringa oleifera* stock solution on its performance in coagulation, *International Journal of Engineering and Technology*, 1, No. 2 (2004).

Koserski, G. R. e Hess, S. C., Estimativa dos poluentes emitidos pelos ônibus e microônibus de Campo Grande/MS, empregando como combustível diesel, biodiesel ou gás natural, Eng. sanit. ambient., 11, No. 2, (2006).

Kumar, A. e Sharma, S., An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review, Industrial crops and products, No. 28 (2008).

Lalas, S. e Tsaknis, J., Characterization of *Moringa oleifera* Seed Oil Variety “Periyakulam 1”, Journal of Food Composition and Analysis, No. 15 (2002).

Lédo, P. G. S., Lima, R. F. S. e Paulo, J. B. A., Efficiency of aluminium sulphate and *Moringa oleifera* seeds as coagulants for the clarification of water, Land Contamination & Reclamation, 18, No. 1 (2010).

Madrona, G. S., Serpelloni, G. B., Vieira, A. M. S., Nishi, L., Cardoso, K. C. e Bergamasco, R., Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the *Moringa oleifera* Seed's Active Component for Water Treatment, Water Air Soil Pollut., No. 211 (2010).

Mani, S., Jaya, S. e Vadivambal, R., Optimization of solvent extraction of moringa (*Moringa oleifera*) seed kernel oil using response surface methodology. Trans IChemE, Part C, Food and Bioproducts Processing, 85, No. C4 (2007).

Martín, C., Moure, A., Martín, G., Carrillo, E., Domínguez, H. e Parajó, J. C., Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba, Biomass and Bioenergy, No. 34 (2010).

Martínez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Dávila-Ortiz, G. e Becker, K., Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico, *Food Chemistry*, 96, No.1 (2006).

Mendieta-Araica, B., Spörndly, R., Reyes-Sánchez, N. e Spörndly, E., *Moringa (Moringa oleifera)* leaf meal as a source of protein in locally produced concentrates for dairy cows fed low protein diets, *Livestock Science*, No. 137 (2011).

Meyer, S. T., O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública, *Cad. Saúde Públ.*, 10, No. 1 (1994).

Muyibi, S. A. e Evison, L. M., Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds, *Wat. Res.*, 29, No. 12, (1995).

Ndabigengesere, A. e Narasiah, K. S., Quality water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds, *Wat. Res.*, 32, No. 3 (1998).

Ndabigengesere, A., Narasiah, K. S. e Talbot, B. G., Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*, *War. Res.*, 29, No. 2 (1995).

Novaes, W., Dilemas do desenvolvimento agrário, *Estudos avançados*, 15, No. 43 (2001).

Oktem, A., Effect of water shortage on yield, and protein and mineral compositions of drip-irrigated sweet corn in sustainable agricultural systems, *Agricultural Water Management*, 95 (2008).

Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W. e Okada, M., Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in moringa oleifera seeds, *Wat. Res.*, 35, No. 3 (2001).

Palese, A. M., Nuzzo, V., Favati, F., Pietrafesa, A., Celano, G., Xiloyannis, C., Effects of water deficit on the vegetative response, yield and oil quality of olive trees (*Olea europaea* L., cv Coratina) grown under intensive cultivation. *Scientia Horticulturae*, 125 (2010).

Peres, J. R. R., Freitas Júnior, E. e Gazzoni, D. L., Biocombustíveis – uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. *Revista de Política Agrícola*, ano 14, No. 1 (2005).

Pinto, A. C., Guarieiro, L. L. N., Rezende, M. J. C., Ribeiro, N. M., Torres, E. A., Lopes, W. A., Pereira, P. A. P. e Andrade, J. B., Biodiesel: an overview. *J. Braz. Chem. Soc.*, 16, No. 6B (2005).

Pinto, N. O. e Hermes, L. C., Sistema simplificado para a melhoria da qualidade da água consumida por comunidades rurais do semi-árido do Brasil. 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Teresina/PI (2005).

Pollard, S. J. T., Thompson, F. E. e Mcconnachie, G. L., Microporous carbons from *Moringa oleifera* husks for water purification in less developed countries, *Wat. Res.*, 29, No. 1 (1995).

Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S. e O'Neill, J. G., A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries, *Physics and Chemistry of the Earth*, No. 35 (2010a).

Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S. e O'Neill, J. G., A study of the parameters affecting the effectiveness of *Moringa oleifera* in drinking water purification, *Physics and Chemistry of the Earth*, No. 35 (2010b).

Programa nacional de produção e uso do biodiesel. Disponível em: <www.biodiesel.gov.br>. Acesso em: 6 maio 2006.

Rashid, U., Anwar, F., Moser, B. R. e Knothe, G., *Moringa oleifera* oil: a possible source of biodiesel, *Bioresource Technology*, No. 99 (2008).

Reda, S. Y., Estudo comparativo de óleos vegetais submetidos a estresse térmico. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos – Área de Avaliação Tecnológica de Matérias-Primas) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa/PR (2004).

Sachs, I., A revolução energética do século XXI, *Estud. av.*, 21, No. 59 (2007).

Sánchez-Machado, D. I., Núñez-Gastélum, J. A., Reyes-Moreno, C., Ramírez-Wong, B. e López-Cervantes, J., Nutritional Quality of Edible Parts of *Moringa oleifera*, *Food Anal. Methods*, No. 3 (2010).

Sánchez-Martín, J., Ghebremichael, K. e Beltrán-Heredia, J., Comparison of single-step and two-step purified coagulants from *Moringa oleifera* seed for turbidity and DOC removal, *Bioresource Technology*, No. 101 (2010).

Sensoz, S., Angin, D. e Yorgun, S., Influence of particle size on the pyrolysis of rapeseed (*Brassica napus* L.): fuel properties of bio-oil, *Biomass & Bioenergy*, No. 19 (2000).

Siddhuraju, P. e Becker, K., Antioxidant Properties of Various Solvent Extracts of Total Phenolic Constituents from Three Different Agroclimatic Origins of Drumstick Tree (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves, J. Agric. Food Chem., No. 51 (2003).

Silva, F. J. A. e Matos, J. E. X., Sobre dispersões de *Moringa oleifera* para tratamento de água, Rev. Tecnol. Fortaleza, 29, No. 2 (2008).

Silva, J. P. V., Serra, T. M., Gossmann, M., Wolf, C. R., Meneghetti, M. R. e Meneghetti, S. M. P., *Moringa oleifera* oil: Studies of characterization and biodiesel production, Biomass and Bioenergy, No. 34 (2010).

Silva, P. R. F. e Freitas, T. F. S., Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível, Ciência Rural, 38, No. 3 (2008).

Tsaknis, J., Lalas, S., Gergis, V., Dourtoglou, V. e Spiliotis, V., Characterization of *Moringa oleifera* Variety Mbololo Seed Oil of Kenya, J. Agric. Food Chem., No. 47 (1999).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formas que a sociedade humana adotou para crescer economicamente têm provocado graves consequências no meio ambiente. Os impactos causados pela população ultrapassam, há muito tempo, a capacidade de suporte do planeta em que vivemos. Contudo, foi necessário haver escassez de água, perda acelerada de biodiversidade, mudanças climáticas, grandes desastres ambientais e contaminação frequente do meio natural para que, nas últimas décadas, começassem a ser desenvolvidas ações em favor do meio ambiente. Essas ações são decorrentes da consciência de que a influência do homem sobre o meio em que está inserido pode gerar prejuízos para a própria sociedade.

A percepção de que a natureza também faz parte da relação entre a sociedade e o desenvolvimento tem promovido diversas reações da comunidade científica e da população em geral, a fim de buscar formas mais sustentáveis de desenvolvimento. Nesse ponto, a gestão ambiental mostra-se como uma ferramenta importante, na medida em que objetiva equilibrar o crescimento econômico com a qualidade ambiental e social.

Nesse contexto, a temática das matrizes energéticas emerge como uma discussão fundamental, tendo em vista que as principais fontes mundiais de energia são os combustíveis fósseis, os quais não são renováveis em curto prazo e cujo uso gera intensa poluição. Os biocombustíveis, então, têm sido estudados como matrizes energéticas alternativas, a fim de reduzir a poluição e a exploração excessiva dos recursos naturais que são decorrentes do uso de combustíveis. O biodiesel é um biocombustível cujo uso é crescente no mundo e, especificamente, no Brasil e que pode ser produzido a partir de matérias-primas vegetais. Em nosso país, a produção e o consumo de biodiesel está associado à proposta de melhorias ambientais e sociais.

Os estudos acerca de *Moringa oleifera* Lam. (conhecida como moringa) apontam que essa espécie vegetal já cultivada no Brasil possui diversos usos potenciais, como a de funcionar como uma matriz para produção de biodiesel e para tratamento de água. Essas funções podem ser associadas e inseridas num contexto mais amplo de utilização da espécie, no qual seus múltiplos usos sejam aproveitados por comunidades, como as do Nordeste brasileiro, que prezem tanto pela conservação ambiental quanto pelo progresso socioeconômico. Propõe-se, assim, que a gestão ambiental seja aplicada em nível local, considerando que ela é favorecida pelo envolvimento da população e pela utilização de recursos e referências locais.

No presente trabalho, a revisão de literatura realizada teve como foco a utilização de *M. oleifera* na perspectiva do desenvolvimento sustentável. A elaboração do primeiro artigo científico, por sua vez, objetivou estudar a anatomia da espécie e permitiu constatar que ela possui adaptações para se desenvolver em áreas com diferentes condições climáticas, além de abundantes reservas de óleo em suas sementes.

Já o segundo artigo teve como foco a utilização da moringa tanto para produção de biodiesel, por meio do estudo de características químicas do óleo extraído de suas sementes, como para tratamento de água, por meio de avaliação da atividade coagulante do extrato das sementes. Foi obtido um excelente rendimento na extração do óleo das sementes, o qual tem composição adequada à sua utilização como matriz para biodiesel. Na produção de biodiesel, também foi obtido um excelente rendimento e o biodiesel obtido tem composição satisfatória. Essas características são favoráveis à utilização da espécie como matriz para produção de biodiesel.

As sementes também se mostraram eficientes no processo de coagulação para tratamento de água, podendo ser utilizadas diretamente em sistemas rudimentares de tratamento ou servindo como matéria-prima para a extração de proteínas coagulantes a serem utilizadas em larga escala, como alternativas aos coagulantes tradicionais. Desse modo, conclui-se que *M. oleifera* possui características que favorecem sua utilização para as funções associadas de produção de biodiesel e tratamento de água.

Esses resultados confirmam a hipótese inicial deste trabalho e indicam que *Moringa oleifera* deve ser utilizada como uma espécie de múltiplos usos, que podem ser aproveitados em projetos que levem em consideração o desenvolvimento sustentável. Desse modo, o trabalho realizado pode contribuir para a execução desses projetos no Nordeste brasileiro.

ANEXO 1

NORMAS GERAIS PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS NA REVISTA CERNE

OBJETIVOS

Cerne é uma publicação do Centro de Estudos em Recursos Naturais Renováveis, vinculado ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, e tem por objetivo publicar artigos originais que contribuam para o desenvolvimento científico das Ciências Florestais e áreas afins, em português, inglês e espanhol.

A submissão do artigo implica que os autores aceitam as normas da revista, ficando implícito que o mesmo não tenha sido e não seja submetido para publicação em outro periódico. Fica também implícito que, no desenvolvimento do trabalho, os aspectos éticos e o respeito à legislação vigente do “copyright” também foram observados.

Os artigos publicados na Cerne são de inteira responsabilidade de seus autores.

Os autores conservam os direitos autorais para futuras publicações; à revista, no entanto, é permitida a reprodução dos seus artigos.

ANÁLISE DOS ARTIGOS

Todos os trabalhos serão avaliados, preliminarmente, pela Comissão Editorial. Nesta pré-análise, o manuscrito pode não ser aceito para publicação e devolvido aos autores ou ser, preliminarmente, aceito e submetido a análise de, pelo menos, dois revisores (referees) especialistas no tema. Com base nos pareceres dos revisores, a comissão editorial decide, em última instância, sobre a conveniência ou não da publicação.

SUBMISSÃO

Originais: arquivo digital enviado por e-mail ou gravado em CD/DVD e enviado pelo correio.

Processador de texto: Word for Windows.

Espaçamento do texto: duplo, margens laterais, inferiores e superiores de três centímetros

Papel: formato A4.

Fonte: Times New Roman, tamanho 12.

Número de páginas: até 16 páginas, numeradas consecutivamente, incluindo as ilustrações.

Tabelas: devem fazer parte do corpo do artigo e ser apresentadas no módulo tabela do Word.

O título deve ficar acima e, se o trabalho for redigido em português ou espanhol, deve vir também redigido em inglês, se o trabalho for redigido em inglês, o título deve vir também redigido em português.

Gráficos, Figuras e Fotografias: devem ser apresentados em preto e branco ou em cores, nítidos e com contraste, inseridos no texto após a citação dos mesmos e também em um arquivo à parte, salvos em extensão “tif” ou “jpg”, com resolução de 300 dpi. Os gráficos devem vir também em excel, em arquivo à parte. Se o trabalho for redigido em português ou espanhol, os títulos das figuras e tabelas devem vir também em inglês, se o trabalho for redigido em inglês, os títulos devem vir também em português.

ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO

O artigo deve ser apresentado na seguinte seqüência:

Título: no idioma português com, no máximo, 15 palavras em letras maiúsculas e em negrito.

Autores: nomes completos, com chamada para nota de rodapé da primeira página, com as seguintes informações: formação, titulação e instituição a que o autor está filiado, seguido do endereço, CEP, cidade, estado e endereço de e-mail.

Resumo: deve condensar, em um único parágrafo, o conteúdo, expondo objetivos, materiais e métodos, os principais resultados e conclusões em não mais do que 250 palavras.

Palavras-chave: no mínimo de três e máximo de cinco. Não devem repetir os termos que se

acham no título, podem ser constituídas de expressões curtas e não só de palavras e devem ser separadas por vírgula.

Título: no idioma inglês com, no máximo, 15 palavras em letras maiúsculas e em negrito.

Abstract: além de seguir as recomendações do resumo, não ultrapassando 250 palavras, deve ser uma tradução próxima do resumo.

Key words: representam a tradução das palavras-chave para a língua inglesa.

1. Introdução: Deve apresentar uma visão concisa do estado atual do conhecimento sobre o assunto, que o manuscrito aborda e enfatizar a relevância do estudo, sem constituir-se em extensa revisão e, na parte final, os objetivos da pesquisa. Esta seção não pode ser dividida em subtítulos.

2. Material e Métodos: Esta seção pode ser dividida em subtítulos, indicados em negrito.

3. Resultados e Discussão: Podem ser divididas em subseções, com subtítulos concisos e descritivos.

4. Conclusões (opcional).

5. Agradecimentos (se for o caso).

6. Referências Bibliográficas: Devem seguir as normas para citação no texto e na seção própria.

Os itens Resumo, Palavras-Chave, Abstract e Key-Words deverão estar localizados no início da margem esquerda do texto e os demais itens centralizados. Os subitens deverão ser precedidos de dois algarismos arábicos, iniciados por letras maiúsculas e posicionados na margem esquerda do texto.

CITAÇÕES NO TEXTO

As citações de autores no texto são conforme os seguintes exemplos:

a) Pereira (1995) ou (PEREIRA, 1995).

b) Oliveira e Souza (2003) ou (OLIVEIRA; SOUZA, 2003).

c) Havendo mais de dois autores, é citado apenas o sobrenome do primeiro, seguido de et al. (não itálico): Rezende et al. (2002) ou (REZENDE et al., 2002).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

As referências são normalizadas segundo a ABNT (NBR 6023). Devem ser apresentadas da seguinte maneira:

a) Livro

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UFV, 2001. 389p.

b) Capítulo de livro

FLEURY, J. A. Análise ao nível de empresa dos impactos da automação sobre a organização da produção de trabalho. In: SOARES, R. M. S. M. **Gestão da empresa**. Brasília: IPEA/IPLAN, 1980. p. 149-159.

c) Artigos de periódicos

MATOS, A. P. de. Epidemiologia da fusariose do abacaxi. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 130, p. 46- 49, out. 1985.

d) Eventos (considerados em parte)

SILVA, J. N. M. Possibilidades de produção sustentada de madeira em floresta densa de terra firme da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p. 39-45.

e) Dissertação e Tese

QUEIROZ FILHO, E. S. F. de. **Análise da indústria de beneficiamento primário de madeira do Estado do Pará**. 1983. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ANEXO 2

COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO: “ADAPTAÇÕES ANATÔMICAS DE *Moringa oleifera* Lam., UMA MATRIZ PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL”

Feira de Santana, 28 de setembro de 2011

Prezado(a) autor(a)

Venho, por intermédio desta, informá-lo de que o artigo:

“Adaptações anatômicas de *Moringa oleifera* Lam., uma matriz para produção de biodiesel no semi-árido nordestino”

de autoria de

Beatriz Cavalcante Silva e Juliana Espada Lichston

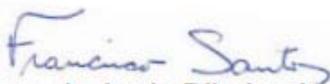
submetido à publicação na revista *Acta Botanica Brasilica*, após análise por nosso Editor de Área, recebeu o seguinte parecer:

RECUSADO PARA PUBLICAÇÃO.

O parecer acima foi exarado pelo Editor de Área.

A Editoria da *Acta Botanica Brasilica* agradece a sua escolha e terá satisfação em receber outras contribuições.

Atenciosamente



Dr. Francisco de Assis Ribeiro dos Santos

Editor Chefe da Acta Botanica Brasilica

Assunto: submissão de manuscrito

De: Beatriz Cavalcante da Silva (beacavalcante@yahoo.com.br)

Para: cerne@dcf.ufla.br;

Data: Domingo, 8 de Janeiro de 2012 18:21

Prezado José Roberto Soares Scolforo,

Envio em anexo um manuscrito (e suas respectivas figuras em um arquivo .tif à parte) para ser submetido para publicação na Revista Cerne.

Aguardo confirmação do recebimento deste e-mail.

Atenciosamente,

Beatriz Cavalcante da Silva

Tecnóloga em Gestão Ambiental da Subcoordenadoria de Vigilância Ambiental - SESAP
Mestranda do PRODEMA - UFRN
Especialista em Gestão Ambiental - IFRN
Tecnóloga em Gestão Ambiental - IFRN
Bióloga - UFRN

ANEXO 3

NORMAS GERAIS PARA PUBLICAÇÃO DE ARTIGOS NA REVISTA BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING

Aims and Scope

The Brazilian Journal of Chemical Engineering publishes papers reporting on basic and applied research and innovation in the field of Chemical Engineering and related areas. The journal publishes original papers, short communications and letters to the editor. Review articles reporting relevant discussions and conclusions of published papers will also be considered for publication. Papers previously published elsewhere cannot be accepted for the journal. Exception can be made for papers previously published in proceeding of conferences. The acceptance for publication lies with the editors and is based on the recommendations of at least two ad hoc referees, and of the editorial board, if necessary.

Electronic Submission and Format

Manuscript paper should be submitted to the Editor at submission.scielo.br. The title and the author's name(s) should be typed on a separate page, along with mailing addresses, phone, fax number and e-mail for correspondence and proofs for corrections. The language of the journal is English. Manuscripts should be typed in double spacing on one side of the page, with wide margins. A4 format should be used. All symbols should be defined in the text. A separate nomenclature section should appear at the end of each paper. Symbols and units are listed in alphabetical order with their definitions and dimensions in SI units. The abstract along with keywords should not exceed 150 words.

Illustrations and tables

Original figures, tables and photographs should be submitted adequate for immediate reproduction by using the word processing Word for Windows. Placement of figures and tables in the text should be indicated. Graphics should not be larger than 9x14 cm. Illustrations should not be larger than 12x17 cm. All lettering should appear on the illustration and should be written in Times New Roman.

References

References cited should be quoted in the text by authors last name and year [e.g., Keller and Silva (1993) or (Keller and Silva, 1993)]. When more than two use first author and et al. Literature references cited should be listed at the end of the paper in alphabetical order. Journal references should be arranged as in following examples:

Biegler, L.T. and Hugles, R.R., Approximation Programming of Chemical Processes, Part 4: Application of Powell's Algorithm. 73rd Ann Meet. AIChE. Chicago (1980).

Boole and Babbage, Problem Program Evaluator User Guide. Sunnyvale, California (1977).

Britti, H.I. and Luecke R.H., The Estimation of Parameters in Nonlinear, Implicit Models, *Technometrics*, 5, No. 2, 233 (1973).

Gmehling J., Onken U. and Arlt W., Data Collection, Dechema, Aqueous Organic Systems (Supp. 1), p. 247 (1981).

Parker, A. L., Optimization of Flowtran® Models by Quadratic Approximation Programming. Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison (1978).

Pennington, R.H., Introductory Computer Methods and Numerical Analysis. McMillan, New York (1965).

Brazilian Journal of Chemical Engineering (BJChE) is indexed/abstracted in: Chemical Abstracts Service, Engineering Index, Scientific Eletronic Library Online, Science Citation

Index Expanded (SciSearch®), ISI Alerting Services, Current Contents®/Engineering, Computing, and Technology, International Nuclear Information System, Ulrich's Periodicals Directory™, All-Russian Institute of Scientific and Technical Information, Scopus.

Brazilian Journal of Chemical Engineering (ISSN 01046632) is a quarterly publication of the Brazilian Society of Chemical Engineering: January-March, April-June, July-September, October-December. BJChE publishes 800 copies per publication.