

COMPARAÇÃO ENTRE O TEOR LIPÍDICO DO LODO GERADO POR *Anabaena flos-aquae* e *Chlorella vulgaris* NOS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

L. O. R. MORETI^{1*}, F. P. CAMACHO¹, M. O. SILVA¹, L. NISHI¹, M. F. SILVA¹, R. BERGAMASCO¹

¹Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química
*e-mail: li.moreti@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência dos processos de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (C/F/FAD) utilizando pó integral de sementes de *Moringa oleifera* Lam, como coagulante natural para remoção das células *Anabaena flos-aquae* e *Chlorella vulgaris* com posterior caracterização lipídica do lodo gerado. Para a realização dos experimentos preparou-se uma “água sintética”, a partir do meio de cultura ASM-1 contendo células de *A. flos-aquae* na concentração de 10^4 células.mL⁻¹, simulando uma floração e para o cultivo de *C. vulgaris* foi utilizado o meio de cultura BG-11, na concentração de 10^{-6} células.mL⁻¹. Para os ensaios de C/F/FAD foi utilizado o equipamento “flotest” e para avaliar o perfil de ácidos graxos foi utilizado um cromatógrafo a gás. A dosagem ótima do coagulante testado foi diferente para ambas as algas, sendo obtida 0,1 g.L⁻¹ para *A. flos-aquae*, atingindo remoção de 96,4% de clorofila-a e 0,4 g.L⁻¹ para *C. vulgaris*, atingindo remoção de 90,5%. Em relação ao perfil de ácidos graxos presentes pode-se observar que em ambas as espécies houve um aumento na porcentagem do ácido oleico após o tratamento com *Moringa oleifera*, atingindo valores de 61,7% para *A. flos-aquae* e 69,5% para *C. vulgaris*.

1 INTRODUÇÃO

Vários coagulantes naturais tem sido estudados para purificação de água, recentemente a *Moringa oleifera* Lam vem se destacando, pois apresenta boa remoção de cor e turbidez, além de promover grandes remoções de bactérias, acima de 90% (NKURUNZIZA et al., 2009; NWAIWU e LINGMU, 2011). Atualmente há poucos estudos sobre a aplicação desse coagulante em águas eutrofizadas, porém em alguns

trabalhos pode-se observar uma excelente eficiência de remoção de células de microalgas (NISHI, et al., 2011; CAMACHO, et al., 2013).

A flotação por ar dissolvido tem sido considerada uma alternativa viável à etapa de sedimentação quando aplicada ao tratamento de águas com presença de microalgas, já que este processo é capaz de remover células intactas, quando comparada ao processo de sedimentação, além de diminuir o tempo de contato entre o lodo gerado e a água em

tratamento. A remoção do resíduo gerado é realizada por equipamentos mecânicos que são instalados sobre a água e possuem manutenção mais fácil do que os raspadores de fundo de decantadores (TEXEIRA et al., 2007; AMARAL et al. 2013)

A destinação adequada do lodo gerado por estações de tratamento de água é essencial, visto que este de acordo com a ABNT NBR 10004 (2004) é considerado um resíduo sólido, que se lançado sem devido tratamento nos cursos d'água, pode causar efeitos diretos ao ambiente aquático, prejudicando a fauna e a flora do corpo receptor.

A despreocupação para com o resíduo gerado, causam impactos como, aumento na quantidade de sólidos nos corpos d'água, assoreamento dos corpos d'água, aumento da cor, turbidez e concentração de alumínio na água, redução do pH da água, liberação de odores, redução da quantidade de oxigênio dissolvido no corpo d'água, toxicidade crônica nos organismos aquáticos e impacto visual.

No entanto, este estudo busca alternativas ambientalmente viáveis de reaproveitamento da biomassa de algas presente no lodo gerado por estações de tratamento de água, como por exemplo, avaliar o teor lipídico produzido por essas algas a fim de destiná-los a uma futura produção de biodiesel.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de remoção de clorofila-a de duas espécies de microalgas, utilizando como coagulante natural sementes trituradas de *Moringa oleifera* com posterior caracterização do perfil lipídico.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.2 Cultivo

As culturas foram realizadas a partir de inóculo precursor das culturas puras de

Anabaena flos-aquae e *Chlorella vulgaris* fornecidas pelo laboratório de Cianobactérias, Departamento de Ciências Biológicas, USP – Piracicaba/SP. A inoculação das culturas foram realizadas quinzenalmente, seguindo a proporção de inóculo : meio (1:9), até atingir a concentração na ordem de 10^4 células.mL⁻¹ para *A. flos-aquae* e 10^6 células.mL⁻¹ para *C. vulgaris*. O cultivo da espécie de cianobactéria foi mantido no meio ASM-1 e o de alga verde no meio BG-11, autoclavados, preparados com água deionizada, sob condições de máxima assepsia, temperatura controlada em torno de 25°C, sob lâmpadas fluorescentes (Philips TLT 20 W/75 S cool) com foto-período de 12 horas (claro/escuro).

2.3 Processo de coagulação/ floculação/ flotação por ar dissolvido

As sementes de *Moringa oleifera* foram cedidas pela Universidade Federal de Sergipe.

Para a obtenção do coagulante em pó de MO, as sementes foram descascadas e trituradas em liquidificador e secas em estufa até peso constante.

As dosagens do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam utilizadas nos ensaios foram adaptadas segundo dados citados na literatura, sendo de 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8 e 1,0 g.L⁻¹ (TEIXEIRA et al., 2012), a fim de avaliar a concentração ótima do coagulante para cada espécie.

Os ensaios de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido foram conduzidos no equipamento “flotest” Nova Ética.

As condições experimentais foram: gradiente de mistura rápida (GMR), tempo de mistura rápida (TMR), gradiente de mistura lenta (GML), tempo de mistura lenta (TML), pressão de saturação (P_{sat}), tempo de saturação (T_{sat}), velocidade de flotação (V_{flot}) e taxa de recirculação (R), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Condições de operação para C/F/FAD

Parâmetros	Valores
GMR	850 s ⁻¹
TMR	20 s
GML	15 s ⁻¹
TML	20 min
P _{sat}	600 KPa
T _{sat}	4 min
R	30%
V _{flot}	10 cm.min ⁻¹

Fonte (autor)

Análises de cor, turbidez, clorofila-a e compostos com absorção em UV_{254nm} foram realizados antes e depois dos ensaios para avaliar a eficiência do processo através das porcentagens de remoção.

A caracterização da água sintética foi realizada por meio dos parâmetros: cor aparente e compostos com absorção em UV_{254nm} (espectrofotômetro DR 5000 Hach), turbidez (turbidímetro 2100P Hach), pH (pHmetro Thermo-Scientific VSTAR92 Orion Versastar) e clorofila-a (GOLTERMAN et al.,1978).

2.4 Análise estatística

Os ensaios foram realizados em duplicatas e os resultados obtidos nos testes de C/F/FAD foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias, teste Tukey, com 95% de nível de confiança, através do programa Statsoft STATISTICA versão 8.0. Assim, pode-se verificar as diferenças das eficiências de remoção dos parâmetros (turbidez, cor, clorofila-a e UV_{254nm}) e avaliar a concentração ótima de *Moringa oleifera* utilizada no processo de C/F/FAD.

2.5 Análise do perfil lipídico das microalgas

Para a análise do perfil de ácidos graxos, em primeiro lugar, a extração do óleo da biomassa algal foi feita pelo método de Blight e Dyer (1959). Para a conversão de ésteres metílicos, a esterificação dos lípideos foi desenvolvida pela metodologia descrita por Hartman e Lago (1973).

Os ácidos graxos foram analisados por cromatografia gasosa CP- 3380 (Varian, EUA), equipado com detector de ionização de chama e uma coluna capilar de sílica fundida Selezione FAME (CP- 7420, Varian), com comprimento de 100 m (ID 0,25 milímetros e 0,25 filme micrômetro).

A identificação dos ácidos graxos foram realizadas utilizando o software Varian, por comparação dos tempos de retenção com padrões de Sigma (EUA) e as áreas de pico medições foi determinado pelo software de versão Clareza Lite 2.4.1.91.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta a caracterização das águas sintéticas.

Tabela 2 – Caracterização das águas sintéticas

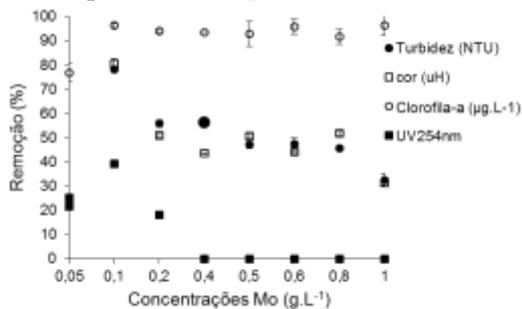
Parâmetros	Espécies	
	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Anabaena flos-aquae</i>
Concentração células (céls.mL⁻¹)	1 x 10 ⁶	1 x 10 ⁴
Cor (uH)	549	224
Turbidez (NTU)	30±4	30±0,5
UV_{254nm}	0,206	0,170
Clorofila-a	444,19	149,5

Fonte (autor)

3.1 Processos de C/F/FAD

Avaliando-se os resultados obtidos (Figura 1), pode-se observar as porcentagens de remoções dos parâmetros cor, turbidez, clorofila-a e compostos com absorção em UV_{254nm}, indicando a dosagem ótima do coagulante utilizado.

Figura 1 - Remoção de Cor, Turbidez, Compostos com absorção em UV_{254nm} e Clorofila-a em relação à dosagem do pó de *Moringa oleifera* para *A. flos-aquae*.



Fonte (autor)

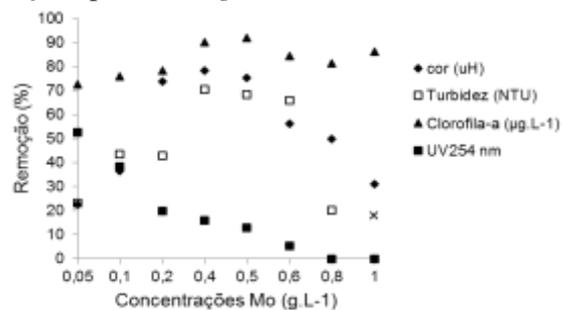
Os resultados apontam que o pó da semente da *Moringa* adicionada diretamente às suspensões celulares apresenta-se eficiente na remoção de células, cor e turbidez, chegando a atingir remoções de até 96,4, 80,5 e 78,1%, respectivamente para a dosagem de 0,1 g.L⁻¹ de pó de *Moringa*, a qual após análise estatística foi considerada ideal para este estudo.

Com relação a remoção de UV_{254nm} nota-se que a MO não obteve resultados muito satisfatórios, atingindo um máximo de 39,1% de remoção na dosagem de 0,1 g.L⁻¹. Houve uma queda na eficiência de remoção conforme aumentou-se a dosagem de *Moringa*. Este resultado pode estar atribuído pelo fato da *Moringa* ser um coagulante orgânico, composta basicamente de proteínas, lipídeos e carboidratos, responsáveis pelo residual orgânico na água tratada.

Avaliou-se também a dosagem ótima de *Moringa* para a espécie de *C. vulgaris*, que é uma alga unicelular, com a finalidade de verificar se a morfologia diferente das algas interfere na eficiência de remoção dos parâmetros. Desta forma, pode-se observar que a dosagem ótima do coagulante *Moringa* foi diferente entre as espécies. Para *C. vulgaris*, a dosagem ótima de *Moringa* foi de 0,4 g.L⁻¹, verificado através das porcentagens de remoções dos parâmetros cor (78,34%),

turbidez (70%), clorofila-a (90,5%) e compostos com absorção em UV_{254nm} (16%) ilustrados pela Figura 2.

Figura 2 - Remoção de Cor, Turbidez, Compostos com absorção em UV_{254nm} e Clorofila-a em relação à dosagem do pó de *Moringa oleifera* para *C. vulgaris*.



Fonte (autor)

Assim, observou-se que os processos de C/F/FAD utilizados juntamente com *Moringa oleifera* como coagulante natural, teve uma excelente eficiência para ambas as espécies testadas, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 - Indicação da formação da manta de material flotado de *A. flos-aquae*.



Fonte (autor)

A injeção de ar no sistema de FAD tem como objetivo, promover a formação de uma espécie de “rede” que permite a ascensão dos flocos para a superfície. Durante a realização

dos ensaios experimentais, verificou-se uma estabilidade neste “suporte”, tendo-se, a presença de bolhas visíveis na manta de material flutado.

3.2 Determinação do perfil de ácidos graxos do lodo gerado

Primeiramente, foram identificados os ésteres de ácidos graxos das microalgas sem o tratamento com *Moringa oleifera*. Pode-se verificar que os ácidos graxos saturados corresponderam a 40,4% da composição de *C. vulgaris* e 35,85% de *A. flos aquae* enquanto que os insaturados apresentaram valores de 39,58% e 40,1% respectivamente. Dentre os ácidos que apresentaram maiores valores em *C. vulgaris* destacam-se o C20:0 (ácido araquídico) com 21,15%, C18:1n9 (ácido oleico) com 18,85% seguidos do C16:0 (ácido palmítico) e do C18:2n6 (ácido linoléico) com cerca de 15% cada. Já para *A. flos aquae* as maiores porcentagens deve-se primeiramente ao C16:0 (ácido palmítico) com 30,55%, em seguida o C18:2n6 (ácido linoleico) apresentou 17% e, por fim, o C18:1n9 (ácido oleico) apresentou 7,4% da sua composição, demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Perfil cromatográfico das microalgas sem tratamento com *Moringa oleifera*

Ácidos graxos		% da média de Ácidos Graxos presente nas microalgas sem tratamento	
		<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Anabaena flos-aquae</i>
Saturados	10:00	0,2	0,25
	12:00	0,35	0,35
	14:00	0,55	0,6
	15:00	0,55	-
	16:00	15,35	30,55
	17:00	0,2	-
	18:00	1,1	2,3
	20:00	21,15	0,1
	21:00	0,2	0,25
	22:00	0,6	1,45
	24:00	0,15	-

Subtotal		40,4	35,85
Monoinsaturados	16:01	0,8	1,2
	20:01	1,45	2,15
	24:1	0,3	0,55
Subtotal		2,55	3,9
poli-insaturados	15:1n5	1	0,95
	18:1n9	18,85	7,4
	18:2n6	15,13	17
	18:3n6	0,95	2,35
	20:3n3	0,8	1,9
	20:3n6	0,3	-
	20:5n3	0,2	4
	22:02	-	2,6
Subtotal		37,23	36,2
Não identificados		19,8	23,95
	total	100	100
Lipídeos totais		5%	3,05%

Fonte (autor)

A espécie *Chlorella vulgaris* apresentou teor lipídico de 5% do seu peso seco, valor superior à espécie de cianobactéria estudada (*Anabaena flos-aquae*), que foi de 3,05%, porém este resultado pode ser revertido, visto que o meio e as condições de cultivo otimizados podem potencializar as produções de lipídeo pela alga, como luz (FERNANDEZ et al., 2000), concentração de dióxido de carbono (ARAUJO e GARCIA, 2005), temperatura (RENAUD et al., 2002; COLLA et al., 2004), concentração da fonte de nitrogênio (COLLA et al., 2004), entre outros nutrientes. O valor obtido para *C. vulgaris* vai de encontro com os resultados obtidos por Radman e Costa (2008), que apresentaram concentrações de aproximadamente 5,97% de teor lipídico para a mesma alga e sob as mesmas condições de cultivo e meio BG-11.

Embora haja poucos trabalhos relatando o perfil lipídico de *Anabaena flos-aquae*, os resultados obtidos neste estudo apresentam valores próximos aos apresentados por Nichols e Wood (1967) em que apresentam C16:0 (39,5%), C16:1 (5,5%), C18:1 (5,2%) C18:2 (36,5%) como os principais ácidos

graxos pertencentes da maioria da composição desta alga.

Após tratamento com as dosagens ótimas de *Moringa oleifera* fez-se novamente a análise e observou-se que resultados apresentados na Tabela 4, demonstram que após o tratamento com as dosagens ótimas de coagulante, as porcentagens de lipídeos totais de cada amostra sofreu um aumento, visto pelos valores de 16,4% dos lipídeos totais para *C. vulgaris* e 6,2% para *A. flos-aquae*. Este aumento provavelmente está relacionado ao residual de coagulante *Moringa oleifera* no lodo, pois segundo a caracterização físico-química realizada nas sementes de *Moringa oleifera* vindas de Aracaju – SE, estas apresentam aproximadamente 37% de lipídeos na sua composição (SILVA, 2013). Sendo assim, a maioria dos ácidos graxos presentes nas amostras de ambas as espécies de microalgas foram dos ácidos graxos insaturados.

Tabela 4 - Perfil cromatográfico das microalgas após tratamento com *Moringa oleifera*

Ácidos graxos		% da média de Ácidos Graxos presente nas microalgas tratadas com Moringa	
		<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Anabaena flos-aquae</i>
Saturados	10:00	0,02	0,15
	12:00	0,03	0,4
	14:00	0,11	0,2
	15:00	0,03	-
	16:00	5,83	10,8
	17:00	0,1	-
	18:00	1,2	5,9
	20:00	5,4	0,2
	21:00	0,2	3,85
	22:00	0,1	0,2
	24:0	0,8	0,95
Subtotal		13,82	22,65
Monoinsaturados	16:01	0,1	1,4
	20:01	0,05	1,75
	24:1	0,03	0,1
Subtotal		0,18	1,85
poli-insaturados	15:1n5	1,01	1

	18:1n9	69,5	61,7
	18:2n6	0,04	0,2
	18:3n6	0,1	0,2
	20:3n3	0,1	0,25
	20:3n6	0,1	-
	20:5n3	0,25	3,4
	22:02	-	0,15
Subtotal		71,1	66,9
Não identificados		14,4	8,6
	total	100	100
Lipídeos totais		16,4%	6,20%

Fonte (autor)

O responsável por tal aumento foi C18:1n9 (ácido oléico) apresentando 69,5% na amostra de *C. vulgaris* contra 61,7% na amostra de *A. flos-aquae*. Estes resultados vão de encontro com os reportados por Silva et al. (2010) em que caracteriza-se o óleo extraído de *Moringa oleifera* e observa-se a presença de 78% de ácido oléico. Rashid et al (2008) também apresentou mais que 70% de ácido oléico em suas amostras de *Moringa*. Segundo ele, algumas oscilações nos valores dos ácidos graxos podem ocorrer relacionadas com as variações das condições utilizadas pelo agricultor, tais como adubo, solo e a variedade da semente.

Segundo Qu et al. (2012), óleos com elevados valores de ácido oléico (>70%) melhoram as propriedades do biodiesel, tais como, fluxo a frio, ponto de nuvem e ponto de fluidez, desta forma, o lodo produzido após tratamento com a dosagem ótima de *Moringa oleifera*, apresentou elevados valores de ácido oléico em sua composição, dados que tornam interessante a utilização desse resíduo à uma futura produção de biodiesel.

4 CONCLUSÕES

Verificou-se que a morfologia das microalgas altera a dosagem de *Moringa oleifera* requerida para a remoção dos parâmetros cor, turbidez, clorofila-a e compostos de absorção em UV_{254nm}, sendo que para a espécie filamentosa de *Anabaena flos-aquae* foi

necessário 0,1 g.L⁻¹, e para a espécie unicelular de *Chlorella vulgaris* foi necessário a concentração de 0,4 g.L⁻¹.

Pode-se concluir também que a *Moringa oleifera* apresenta uma tendência de aumentar a quantidade de matéria orgânica na água tratada, visualizada através de análises de UV_{254nm} pré e pós tratamento.

Com relação a caracterização lipídica do lodo gerado pelo processo, observou-se que após o tratamento com *Moringa* houve um aumento na quantidade desses lipídeos em ambas as espécies, evidenciando altos valores de ácido oléico, que é um precursor favorável para a obtenção de um biodiesel de qualidade.

5 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Resíduos sólidos – Classificação* 2ª Ed. 2004.

AMARAL, P. A. P., CORAL, L. A., Nagel-Hassemer MA, Belli TJ, Lapolli FR. Association of dissolved air flotation (DAF) with microfiltration for cyanobacterial removal in water supply. **Desalin Water Treat.**, v.51, p.1664-1671, 2013.

ARAÚJO, S. C. e GARCIA, V. M. T., “Growth and biochemical composition of the diatom *Chaetoceros cf. wighamii* brightwell under different temperature, salinity and carbon dioxide levels. Protein, carbohydrates and lipids”, **Aquaculture**, v. 246, p. 405-412, 2005.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J., “A rapid method for total lipid extraction and purification”. **Can. J. Biochem. Physiol.**, v. 37, p. 911-917, 1959.

CAMACHO, F. P.; BONGIOVANI, M. C.; ARAKAWA, F. S.; SHIMABUKU, Q. L.; VIEIRA, A. M. S.; BERGAMASCO, R., “Advanced Processes of Cyanobacteria and Cyanotoxins Removal in Supply Water Treatment”, **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 421-426, 2013.

COLLA, L. M.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V., “Fatty acids profile of *Spirulina platensis* grown under different temperatures and nitrogen concentrations”. **Zeitschrift für Naturforschung**, v. 59, p.55-59, 2004.

FERNANDEZ, F. G. A.; PEREZ, J. A. S.; SEVILLA, J. M. F.; CAMACHO, F. G.; GRIMA, E. M., “Modeling of eicosapentaenoic acid (EPA) production from *Phaeodactylum tricorutum* cultures in tubular photobioreactors: Effects of dilution rate, tube diameter, and solar irradiance”, **Biotechnology and Bioengineering**, v. 68, p. 173-183, 2000.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAND, M. A., “Methods for physical and chemical analysis of fresh water”. **Oxford: Blackwell**, 213 p., 1978.

NICHOLS, B. W.; WOOD, B. J. “The occurrence and biosynthesis of gamma-linolenic acid in a blue-green alga, *Spirulina platensis*”, **Lipids**, v. 3, n. 1, p. 46-50, 1968.

NISHI, L., GUILHERME, A. L. F., VIEIRA, A. M. S., de ARAUJO, A. A., AMBROSIO-UGRi, M. C. B., BERGAMASCO, R., “Cyanobacteria removal by coagulation/flocculation with seeds of the natural coagulant *Moringa oleifera* Lam”, **Chemical Engineering Transactions**, v. 24, p. 1129-1134, 2011.

NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J.B., BANADDA, E.N.; NHAPI, I., “The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment”, **Water Science and Technology**, v. 58, n.8, p. 1551-1558, 2009.

NWAIWU N. E.; LINGMU, B., “Studies on the effect of settling time on coliform reduction using *Moringa oleifera* seed powder”. **Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation**, v. 6, n. 3, p. 279-286, 2011.

QU, J.; MAO, H.; CHEN, W.; GAO, S.; BAI, Y.; SUN, Y.; GENG, Y.; YE, J., “Development of marker-free transgenic *Jatropha* plants with increased levels of seed oleic acid”, **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 10, p. 1-10, 2012.

RASHID, U.; ANWAR, F.; MOSER, B. R.; KNOTHE, G., “Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel”, **Bioresource technology**, v. 99, n.17, p. 8175-8179, 2008.

RENAUD, S. M.; THINH, L. V.; LAMBRINIDIS, G.; PARRY, D. L., “Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae grown in batch cultures”. **Aquaculture**, v. 211, p. 195-214, 2002.

SILVA, M. O., “Caracterização física e química da semente de *Moringa oleifera* e estudo do processo de obtenção do óleo”. Dissertação. (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2013.

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

TEIXEIRA, C. M. L. L., KIRSTEN, F. V., TEIXEIRA, P. C. N., “Evaluation of Moringa oleifera seed flour as a flocculating agent for potential biodiesel producer microalgae”, **J Appl Phycol.**, n. 24, p. 557–563, 2012.

TEIXEIRA, M. R., ROSA, M. J. Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystis aeruginosa*: Part II. The effect of water background organics. **Sep Purif Technol.**, v.53, p.126-134, 2007.