

PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DE MICROALGAS CULTIVADAS COM DIÓXIDO DE CARBONO

Fatty acids profile of microalgae cultivated with carbon dioxide

Michele Greque de Morais¹, Jorge Alberto Vieira Costa²

RESUMO

As microalgas são consideradas fontes potenciais de diversos compostos químicos. Os ácidos graxos obtidos da biomassa podem apresentar efeitos terapêuticos em humanos e podem ser usados para produção de biodiesel. Objetivou-se, neste trabalho verificar o conteúdo lipídico e o perfil dos ácidos graxos das microalgas *Spirulina* sp., *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella kessleri* e *Chlorella vulgaris* cultivadas em diferentes concentrações de dióxido de carbono e bicarbonato de sódio. A microalga *Chlorella kessleri* cultivada com 12% de CO₂ apresentou a maior concentração de lipídios na biomassa seca (9,7% p/p). A máxima concentração de ácidos graxos insaturados foi 72,0% (p/p) para *C. vulgaris* cultivada com 12% de CO₂. Para os ácidos graxos saturados o maior valor encontrado foi 81,6% (p/p), quando a microalga *Spirulina* sp. foi cultivada com 18% de CO₂ e 16,8 g.L⁻¹ de bicarbonato de sódio.

Termos para indexação: Ácidos graxos, *Chlorella*, lipídios, *Scenedesmus*, *Spirulina*.

ABSTRACT

Microalgae have a great potential as a source of several chemical compounds. The fatty acids have shown therapeutic effects and used to produce biodiesel. The aim of this work was to verify the lipid contents and the fatty acids profile of the microalga *Spirulina* sp., *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella kessleri* and *Chlorella vulgaris* cultivated in different carbon dioxide and sodium bicarbonate concentrations. The microalgae *Chlorella kessleri* cultivated with 12% CO₂ showed the highest lipid content in the dry biomass (9.7% p/p). The maximum unsaturated fatty acids concentration was 72.0% (p/p) to *C. vulgaris* in the culture with 12% CO₂. The highest saturated fatty acids value was 81.6% (p/p) when microalga *Spirulina* sp. was cultivated with 18% CO₂ and 16.8 g.L⁻¹ sodium bicarbonate.

Index terms: *Chlorella*, fatty acids, lipids, *Scenedesmus*, *Spirulina*.

(Recebido em 22 de junho de 2006 e aprovado em 12 de junho de 2007)

INTRODUÇÃO

As microalgas têm sido estudadas em pesquisas biotecnológicas devido a sua importância nutricional, econômica e ecológica (COSTA et al., 2006). Muitas microalgas são utilizadas para produção de alimentos por produzirem diversas substâncias, como vitaminas, sais minerais, pigmentos, lipídios e ácidos graxos. As principais aplicações dos ácidos graxos de microalgas são no enriquecimento de rações para peixes, possibilidade de uso para produção de biodiesel e fonte de ácidos graxos essenciais na dieta humana.

Elevados índices de colesterol no sangue podem conduzir a doenças coronarianas, sendo a redução deles associada ao menor consumo de ácidos graxos saturados e aumento dos ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs) na alimentação (COZZA & COSTA, 2000). Em adultos, o aumento do consumo de ácido 5,8,11,14,17-icosapentaenóico (EPA) tem sido associado à redução

dos riscos de aterosclerose, cânceres, trombose e pressão alta (WEN & CHEN, 2003; WILLIS et al., 1998). Anualmente, a demanda de EPA alcança 300 ton, por isso métodos como seleção de microalgas com alto rendimento desse ácido graxo, melhoramento de linhagens através de manipulação genética e otimização das condições de cultivo têm sido investigados (WEN & CHEN, 2003).

O conteúdo e a composição dos lipídios e ácidos graxos em microalgas podem ser influenciados por fatores como luz, temperatura, concentração da fonte de nitrogênio e concentração de dióxido de carbono. Illman et al. (2000) mostraram que a deficiência de nitrogênio influenciou o cultivo de *Chlorella*, aumentando seu conteúdo lipídico em 63%. O estudo dos efeitos da adição de dióxido de carbono (CO₂), no crescimento e metabolismo de microalgas é estimulado pela necessidade de redução da emissão desse gás na atmosfera. As microalgas têm sido estudadas para biofixação de CO₂ desde que foi demonstrada sua capacidade de adaptação a altas concentrações desse gás,

¹Engenheira de Alimentos, Doutoranda – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos – Fundação Universidade Federal do Rio Grande/FURG – Engenheiro Alfredo Huch, 475 – Centro – Cx. P. 475 – 96201-900 – Rio Grande, RS – migreque@yahoo.com.br

²Engenheiro de Alimentos, Doutor em Engenharia de Alimentos, Professor – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos – Fundação Universidade Federal do Rio Grande/FURG – Engenheiro Alfredo Huch, 475 – Centro – Cx. P. 475 – 96201-900 – Rio Grande, RS – dqmjorge@furg.br

além de utilizá-lo no processo de fotossíntese. Segundo Carvalho & Malcata (2005), a produção de ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs) da microalga *Pavlova lutheri* foi otimizada combinando a intensidade da luz e a concentração de CO₂.

O objetivo deste trabalho foi verificar o conteúdo lipídico e o perfil gás cromatográfico dos ácidos graxos das microalgas *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorella kessleri* e *Spirulina* sp., cultivadas em diferentes concentrações de dióxido de carbono e bicarbonato de sódio.

MATERIALE MÉTODOS

As microalgas *Spirulina* sp. LEB 18, *Scenedesmus obliquus* LEB 22, *Chlorella vulgaris* LEB 12 e *Chlorella kessleri* LEB 15 (MORAIS & COSTA, 2007a,b) foram utilizadas neste estudo. Para manutenção do inóculo e cultivo foi utilizado meio Zarrouk (ZARROUK, 1966) para *Spirulina* sp., meio MC (WATANABE, 1960) para *Scenedesmus obliquus* e meio MBM (WATANABE, 1960) para *Chlorella vulgaris* e *Chlorella kessleri*. Para os ensaios com a microalga *Spirulina* sp. foram utilizados 2 inóculos. Um dos inóculos foi mantido em meio Zarrouk e o outro em meio Zarrouk modificado (MORAIS & COSTA, 2007b), preparado sem fonte de carbono.

As microalgas foram cultivadas em fotobiorreatores tipo erlenmeyer de 2L com volume útil 1,8L. A aeração foi realizada misturando ar comprimido ao CO₂ através de um cilindro industrial (White Martins - Brasil), com vazão de 0,3 VVM e concentrações de CO₂ variando em 0,038; 6, 12 e 18% (v/v). A iluminância foi 3200 Lux fornecida por lâmpadas fluorescentes tipo luz do dia (General Electric, 40 W). Os cultivos tiveram duração de 20 dias e concentração inicial de biomassa 0,15 g.L⁻¹. O aparato experimental foi mantido em câmara termostatizada a 30°C, com fotoperíodo 12 h claro/escuro (COSTA et al., 2006).

Ao final dos cultivos, as amostras foram centrifugadas, secas em estufa a 50°C e moídas. Os lipídios foram extraídos de acordo com o método de Folch & Lees (1957) e a determinação gravimétrica dos lipídios foi feita após nova secagem a 50°C.

A esterificação dos lipídios, para obtenção dos metil-ésteres dos ácidos graxos, foi conduzida de acordo com a metodologia proposta por Metcalfe & Schmitz (1966). A determinação de ácidos graxos foi realizada em cromatógrafo a gás modelo Varian – 3400CX, equipado com detector de ionização de chama e coluna de sílica fundida contendo fase estacionária de polietileno glicol, com 30 m de comprimento e 0,32 mm de diâmetro. O gás de arraste foi nitrogênio a 0,5 mL.min⁻¹. As temperaturas do

injetor e do detector foram 250 e 280°C, respectivamente. A temperatura inicial da coluna foi 100°C e, a seguir, houve aumento de 8°C.min⁻¹ até 230°C, permanecendo por 20 min. Os ácidos graxos foram identificados pela comparação dos tempos de retenção com padrões e quantificados por normalização de áreas.

Os padrões de ácidos graxos utilizados (Sigma Supelco) foram ácido hexanóico (C6:0), ácido octanóico (C8:0), ácido decanóico (C10:0), ácido undecanóico (C11:0), ácido duodecanóico (C12:0), ácido tetradecanóico (C14:0), ácido *cis*-9-tetradecenóico (C14:1), ácido hexadecanóico (C16:0), ácido *cis*-9-hexadecenóico (C16:1), ácido heptadecanóico (C17:0), ácido 8-heptadecanóico (C17:1), ácido octadecanóico (C18:0), ácido *trans*-9-octadecaenóico (C18:1), ácido *cis*-9-octadecenóico (C18:1), ácido *cis*-9, *trans*-11-octadecaenóico (C18:2), ácido *cis*-9, *cis*-12-octadecadienóico (C18:2), ácido 9,12,15-octadecatrienóico (C18:3), ácido 6,9,12-octadecatrienóico (C18:3), ácido eicosanóico (C20:0), ácido *cis*-9-eicosenóico (C20:1), ácido 8,11-eicosadienóico (C20:2), ácido 5,8,11-eicosatrienóico (C20:3), ácido docosanóico (C22:0), ácido 5,8,11,14,17-eicosapentanóico (C20:5), ácido *cis*-13-docosenóico (C22:1), ácido tetracosanóico (C24:0), ácido *cis*-15-tetracosenóico (C24:1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, apresentam-se as concentrações de lipídios, ácidos graxos insaturados (AGI), ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) e (ω 3 + ω 6), em relação ao total dos ácidos graxos analisados (AGT) e na Tabela 2, apresenta-se o teor de ácidos graxos determinados para cada ensaio realizado com as microalgas *Spirulina* sp., *S. obliquus*, *C. vulgaris* e *C. kessleri*.

A *C. kessleri* apresentou os maiores teores lipídicos na biomassa seca comparado às demais microalgas, alcançando valores de 9,7 e 7,8% (p/p) nos ensaios com adição de 12 e 18% de CO₂, respectivamente. Para *C. vulgaris* a concentração de lipídios na biomassa seca variou de 3,0 a 4,6% (p/p). Em cultivo de *Chlorella* sp. HA-1 realizado com ar enriquecido com 10% de CO₂ o conteúdo lipídico alcançou 18,4% (YANAGI et al., 1995). As microalgas apresentaram menor conteúdo lipídico nos ensaios com 0,038% de CO₂, com exceção da *S. obliquus*. Essa microalga apresentou maior conteúdo lipídico (5,3%), no ensaio com 0,038% de CO₂, seguido de 4,9% no cultivo com 18% de gás.

A *Spirulina* sp., cultivada sem bicarbonato de sódio, apresentou maior conteúdo lipídico que a *Spirulina* sp. com bicarbonato e diferentes concentrações de CO₂, sendo a máxima concentração de lipídios 6,1%, com adição

de 6% CO₂. A *Spirulina* sp., cultivada com bicarbonato de sódio, *C. kessleri* e *C. vulgaris* apresentaram o maior conteúdo lipídico nos cultivos com 12% de gás. Araújo & Garcia (2005), observaram que o conteúdo lipídico da microalga *Chaetoceros* cf. *wighamii* não sofreu influência da adição de dióxido de carbono, entretanto Chu et al. (1996) observaram incremento na concentração lipídica, quando os cultivos foram enriquecidos com 5% (v/v) de CO₂.

Na Tabela 2, observa-se que, nos ensaios 1 (*Spirulina* sp., 0,038% de CO₂, sem bicarbonato), 5 (*Spirulina* sp., 0,038% de CO₂, 16,8 g.L⁻¹ de bicarbonato), 6 (*Spirulina* sp., 6% de CO₂, 16,8 g.L⁻¹ bicarbonato), 11 (*S. obliquus*, 12% de CO₂) e 12 (*S. obliquus*, 18% de CO₂), o ácido hexadecanóico (ácido palmítico) (C16:0) foi o ácido

graxo de maior concentração: 36,6; 46,4; 35,4; 37,0 e 26,3%, respectivamente. Esses resultados foram compatíveis aos encontrados em trabalhos anteriores, onde o ácido palmítico foi determinado como predominante (COLLA et al., 2004; DESHNIUM et al., 2000; OLGUÍN et al., 2001). Segundo Makulla (2000), a microalga *S. obliquus* apresentou concentração de ácido palmítico (C16:0) entre 35,86 e 43,06% e de ácido 5,8,11,14,17-eicosapentaenóico (C20:5, EPA) variando de 0 a 1,66%. No presente estudo, essa microalga apresentou valores entre 15,3 e 37,0% de ácido palmítico e máximo de 2,1% para EPA. O ácido palmítico é importante fonte de energia na alimentação infantil, pois o leite materno contém de 20 a 30% desse ácido graxo. No entanto, em adultos, ácidos graxos saturados têm sido

Tabela 1 – Concentrações (% p/p) de lipídios, ácidos graxos poliinsaturados (PUFA), ácidos graxos insaturados (AGI) e (ω3+ω6), com relação ao total dos ácidos graxos analisados (AGT) para ensaios realizados com as microalgas *Spirulina* sp., *S. obliquus*, *C. vulgaris*, *C. kessleri*, cultivadas com diferentes concentrações de CO₂ (% v/v) e NaHCO₃ (g.L⁻¹).

Ensaio	CO ₂	NaHCO ₃	Lipídios	AGI/AGT	PUFA/AGT	(ω3+ω6)/AGT
<i>Spirulina</i> sp.						
1	0,038	0,0	2,3	22,9	8,9	7,7
2	6,0	0,0	6,1	40,6	10,4	10,4
3	12,0	0,0	5,2	26,7	5,4	5,4
4	18,0	0,0	3,3	-	-	-
5	0,038	16,8	2,2	42,8	*	*
6	6,0	16,8	3,5	26,0	5,2	5,2
7	12,0	16,8	4,5	35,0	10,9	10,9
8	18,0	16,8	3,8	18,4	15,4	15,4
<i>Scenedesmus obliquus</i>						
9	0,038	0,0	5,3	30,5	8,0	8,0
10	6,0	0,0	3,1	45,8	21,9	21,9
11	12,0	0,0	3,3	50,5	19,2	19,2
12	18,0	0,0	4,9	43,1	27,1	27,1
<i>Chlorella kessleri</i>						
13	0,038	0,0	4,6	46,8	29,2	29,2
14	6,0	0,0	6,3	-	-	-
15	12,0	0,0	9,7	36,4	*	*
16	18,0	0,0	7,8	54,1	30,4	30,4
<i>Chlorella vulgaris</i>						
17	0,038	0,0	3,0	52,9	45,2	45,2
18	6,0	0,0	3,6	35,7	31,9	31,9
19	12,0	0,0	4,6	72,0	24,4	21,6
20	18,0	0,0	3,0	68,2	31,3	31,3

*: não detectado; (-): amostra não analisada.

associados com o aumento do risco de doenças cardiovasculares (WILLIS et al., 1998). Em cultivo realizado por Yanagi et al. (1995) com *Chlorella* sp. HA-1 os ácidos graxos, em maior quantidade, foram ácido palmítico (14,2%), ácido linoléico (13,4%) e ácido linolênico (26,5%).

Os ensaios 7 (*Spirulina* sp., 12% de CO₂ e 16,8 g.L⁻¹ bicarbonato), 12 (*S. obliquus*, 18% de CO₂), 13 (*C. kessleri*, 0,038% de CO₂), 17 (*C. vulgaris*, 0,038% de CO₂), 19 (*C. vulgaris*, 12% de CO₂) e 20 (*C. vulgaris*, 18% de CO₂) apresentaram as maiores concentrações de ácido 6,9,12-octadecatrienóico (ácido γ -linolênico, C18:3, GLA), com valores de 9,1; 15,6; 18,9; 14,1; 14,3 e 9,6%, respectivamente. As maiores concentrações de ácido 9,12,15-octadecatrienóico (ácido α -linolênico, C18:3, ALA) foram 6,0 e 5,9% nos ensaios 11 (*S. obliquus*, 12% de CO₂) e 19 (*C. vulgaris*, 12% de CO₂).

Em cultivos com a microalga *Spirulina* sp. realizados por Olguín et al. (2001) em que o meio de cultivo foi enriquecido com água do mar e dejetos de porco, a concentração de GLA alcançou 28,1%. Colla et al. (2004) obtiveram 20,9% de GLA em ensaios a 30°C e 2,5 g.L⁻¹ de nitrato de sódio. O GLA é utilizado no tratamento de doenças cardíacas, eczema, artrite, esclerose múltipla e tensão pré-menstrual (WARD & SINGH, 2005). De todos ácidos graxos monoinsaturados, o ácido *cis*-9-octadecenóico (ácido oléico) (C18:1) foi observado em todos os ensaios, com exceção do 6 (*Spirulina* sp., 6% de CO₂, 16,8 g.L⁻¹ bicarbonato), sendo a máxima concentração obtida 37,1% no ensaio 19 (*C. vulgaris*, 12% de CO₂).

Tabela 2 – Perfil gás cromatográfico das microalgas cultivadas em diferentes condições.

AG/Ensaio	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20
C6:0	*	*	*	*	2,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C8:0	*	1,0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C10:0	*	*	*	*	1,8	5,1	1,7	1,6	1,1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C11:0	4,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C12:0	0,6	3,2	47,8	*	*	*	6,2	*	*	*	1,8	*	*	2,2	*	*	*	
C14:0	2,0	4,0	*	*	1,4	18,5	12,8	10,1	8,2	*	*	4,3	*	7,8	0,5	*	*	2,0
C14:1	*	*	*	*	*	18,1	1,7	1,2	3,6	*	*	*	*	3,8	*	*	*	*
C16:0	36,6	4,4	9,4	46,0	35,4	*	18,2	16,8	15,3	37,0	26,3	13,0	11,8	*	*	12,0	1,8	11,6
C16:1	*	*	13,2	*	10,6	2,8	*	1,9	2,9	*	*	2,5	*	*	*	*	0,4	*
C17:0	2,8	33,7	15,9	*	*	16,9	*	6,3	1,2	*	*	*	*	20,6	*	3,0	*	*
C17:1	1,0	*	2,5	*	10,2	1,7	*	*	*	9,0	2,2	*	*	6,0	*	*	*	*
C18:0	20,8	*	*	*	30,2	5,3	38,5	27,5	20,7	4,1	19,9	19,8	22,3	13,4	43,2	23,0	5,3	10,5
C18:1T	*	13,2	1,2	6,3	*	*	*	0,9	1,4	5,5	3,2	*	*	*	0,9	*	0,4	*
C18:1C	1,2	8,3	4,3	32,2	*	1,5	1,0	17,2	14,1	16,8	8,5	14,7	18,8	12,9	5,0	2,7	37,1	36,3
C18:2T	0,4	8,3	2,6	*	0,6	*	0,5	1,1	1,0	13,3	8,7	1,5	*	2,5	2,8	2,9	0,6	*
C18:2C	0,5	*	2,8	*	0,7	*	*	1,3	10,2	*	*	4,1	*	4,9	22,3	*	*	17,7
C18:3G	*	*	*	*	3,8	9,1	5,4	3,9	7,3	*	15,6	18,9	*	1,3	14,1	*	14,3	9,6
C18:3	*	1,3	*	*	*	1,0	*	1,1	0,9	6,0	1,5	*	*	*	2,9	*	5,9	*
C20:0	9,1	*	*	*	*	4,4	4,1	2,6	4,2	*	*	6,0	*	*	2,1	8,1	18,9	5,0
C20:1	0,8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	14,4	*	1,6	*	4,2	*
C20:2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,3
C20:3	1,2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,4
C22:0	*	8,5	*	7,6	2,0	14,8	*	*	2,4	8,3	3,9	6,4	*	*	*	*	0,7	*
C20:5	6,7	*	*	*	*	0,8	9,5	*	2,1	*	*	3,9	*	20,5	1,8	*	0,3	3,6
C22:1	10,8	*	*	*	*	*	0,3	*	1,4	*	1,4	*	*	*	*	*	4,4	*
C24:0	0,3	*	*	*	0,4	*	*	*	*	*	*	2,3	2,3	23,9	*	*	*	0,7
C24:1	*	6,4	*	1,9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

AG: ácidos graxos; T: ácidos graxos *trans*; C: ácidos graxos *cis*; G: ácidos graxos gama; *: não detectado.

A *Spirulina* sp. cultivada sem bicarbonato apresentou as maiores concentrações de lipídios, PUFA, AGI e ($\omega 3 + \omega 6$) no ensaio com 6% de CO_2 . Para a microalga *Spirulina* sp., cultivada com bicarbonato, a concentração de AGI (ácidos graxos insaturados) variou entre 18,4 e 42,8% (ensaios 8 e 5, respectivamente). Para *Spirulina* sp. a adição de bicarbonato (ensaios 5 a 8) levou ao incremento na concentração de PUFA à medida que aumentou a concentração de CO_2 . Nesses ensaios, as concentrações de PUFA foram 0; 5,2; 10,9 e 15,4%, respectivamente.

A *S. obliquus* apresentou 8,0; 21,9; 19,2 e 27,1% de PUFA nos ensaios 9 (0,038% de CO_2), 10 (6% de CO_2), 11 (12% de CO_2) e 12 (18% de CO_2) respectivamente, e os AGI variaram entre 50,5 e 30,5%. A *C. kessleri* apresentou 54,1% de ácidos graxos insaturados. Essa microalga alcançou 29,2% e 30,4% de PUFA nos ensaios 13 (0,038% de CO_2) e 16 (18% de CO_2), respectivamente. A microalga *C. vulgaris* apresentou a maior concentração de PUFA (45,2%), com 0,038% de CO_2 (Ensaio 17) e maiores porcentagens de AGI que as demais microalgas. Segundo Sato et al. (2003), em cultivo com a microalga *C. kessleri*, as insaturações dos ácidos graxos foram mais abundantes nos ensaios com 0,04% de CO_2 comparada à adição de 2% de gás.

Com exceção dos ensaios 1 (*Spirulina* sp., 0,038%) e 19 (*C. vulgaris*, 12% CO_2) que apresentaram os ácidos graxos poliinsaturados 8,11-eicosadienóico (C20:2, EDA) e 5,8,11-eicosatrienóico (C20:3), nos demais ensaios os ácidos graxos poliinsaturados foram a soma de $\omega 3$ e $\omega 6$. O ensaio 17 (*C. vulgaris*, 0,038% de CO_2) apresentou maior concentração de $\omega 3 + \omega 6$ (45,2%), seguido pelas microalgas *C. kessleri* e *S. obliquus* que alcançaram 30,4 e 27,1%, respectivamente. As microalgas *Spirulina* sp. (cultivada com bicarbonato), *S. obliquus* e *C. kessleri* apresentaram os maiores conteúdos lipídicos e ($\omega 3 + \omega 6$) nos ensaios com 18% de CO_2 .

Os menores valores médios de AGI (50,0%), PUFA (26,6%) e ($\omega 3 + \omega 6$) (26,0%) foram com a microalga *C. vulgaris*. A *C. kessleri* apresentou o maior conteúdo lipídico médio (7,1%), comparado às demais microalgas e a *Spirulina* sp. apresentou as menores concentrações de lipídios, PUFA, AGI e ($\omega 3 + \omega 6$).

Os cultivos realizados com as maiores concentrações de CO_2 (12 e 18%) apresentaram os maiores resultados de lipídios (5,5%), AGI (46,0%), PUFA (26,1%) e ($\omega 3 + \omega 6$) (26,1%). Segundo Tsuzuki et al. (1990), o aumento da concentração de CO_2 aumentou a síntese de ácidos graxos insaturados.

Os ácidos graxos saturados estavam em maior concentração que os insaturados na maioria dos ensaios, isso provavelmente tenha ocorrido pelo fato da síntese de

ácidos graxos iniciar-se pelos saturados. Para a produção de biodiesel, é preferível a predominância de ácidos graxos saturados, que possuem alto número de cetano e são menos propensos à oxidação que os compostos insaturados (CANAKCI, 2007). A oxidação causa polimerização e formação de goma, evitando a combustão completa (MA & HANNA, 1999).

As maiores concentrações de ácidos graxos *trans* foram 13,3% no ensaio 11 (*S. obliquus*, 12% de CO_2), 8,3% no ensaio 2 (*Spirulina* sp., 6% CO_2) e 6,3 no ensaio 5 (*Spirulina* sp., 0,038% CO_2 , 16,8 g.L⁻¹ de bicarbonato de sódio). Segundo Willis et al. (1998), os ácidos graxos *trans* podem prejudicar a dessaturação e a alongação do ácido linoléico e araquidônico, afetando a produção de eicosanóides. Em relação ao efeito em adultos, os ácidos graxos *trans* são preocupantes devido ao seu impacto nos níveis de colesterol, aumentando os níveis de LDL e reduzindo o HDL.

O ensaio 16 (*C. kessleri*, 18% de CO_2) apresentou maior concentração (20,5%) de ácido eicosapentaenóico (C20:5, EPA), seguido dos ensaios 1 (*Spirulina* sp., 0,038% de CO_2 , e sem bicarbonato) e 8 (*Spirulina* sp., 18% de CO_2 e 16,8 g.L⁻¹ de bicarbonato) que apresentaram 6,7 e 9,5%, respectivamente. Segundo Hoshida et al. (2005), em cultivos com *Nannochloropsis* sp., o acúmulo de EPA foi incrementado pela elevação da concentração de CO_2 de 0,037 a 2,0%.

CONCLUSÕES

O maior conteúdo lipídico de cada microalga foi 9,7% para *C. kessleri*, 6,1% para *Spirulina* sp., 5,3% para *S. obliquus* e 4,6% para *C. vulgaris*. Os resultados mostraram que, dependendo do gênero e espécie de microalga cultivada, a concentração de CO_2 e a adição de bicarbonato de sódio, no meio, podem ser variadas de modo a incrementar a biossíntese de ácidos graxos saturados ou insaturados, de acordo com a utilização que se pretende dar à biomassa formada. Assim, para a produção de biodiesel, onde são desejáveis altas concentrações de ácidos graxos saturados, a microalga *Spirulina* sp. cultivada com 18% de CO_2 e 16,8 g.L⁻¹ de bicarbonato de sódio apresentou 81,6% de saturados. Já para utilização da microalga na alimentação, onde altos teores de insaturados são visados, a microalga *C. vulgaris* cultivada com 12% de CO_2 , apresentou 72,0% de ácidos graxos insaturados.

AGRADECIMENTOS

À ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. e CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia

Elétrica pelo apoio financeiro para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, S. C.; GARCIA, V. M. T. Growth biochemical composition of the diatom *Chaetoceros* cf. *wighamii* brightwell under different temperature, salinity and carbon dioxide levels. I. Protein, carbohydrates and lipids. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 246, p. 405-412, 2005.
- CANAKCI, M. The potencial of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, p. 183-190, 2007.
- CARVALHO, A. P.; MALCATA, F. X. Optimization of w-3 fatty acid production by microalgae: crossover effects of CO₂ and light intensity under batch and continuous cultivation modes. **Marine Biotechnology**, Oxford, v. 7, p. 381-388, 2005.
- CHU, W. L.; PHANG, S. M.; GOH, S. H. Environmental effects on growth and biochemical composition of *Nitzschia inconspicua* grunow. **Journal of Applied Phytology**, [S.l.], v. 8, p. 389-396, 1996.
- COLLA, L. M.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V. Fatty acids profile of *Spirulina platensis* grown under different temperatures and nitrogen concentrations. **Zeitschrift fur Naturforschung**, Tübingen, v. 59c, p. 55-59, 2004.
- COSTA, J. A. V.; MORAIS, M. G.; DALCANTON, F.; REICHERT, C. C.; DURANTE, A. J. Simultaneous cultivation of *Spirulina platensis* and the toxigenic cyanobacteria *Microcystis aeruginosa*. **Zeitschrift fur Naturforschung**, Tübingen, v. 61c, p. 105-110, 2006.
- COZZA, K. L.; COSTA, J. A. V. Lipídios em *Spirulina*. **Vetor**, Rio Grande, v. 10, p. 69-80, 2000.
- DESHNIUM, P.; PAITHOONRANGSARID, K.; SUPHATRAKUL, A.; MEESAPYODSUK, D.; TANTICHAROEN, M.; CHEEVADHANARAK, S. Temperature-independent and dependent expression of desaturase genes in filamentous cyanobacterium *Spirulina platensis* strain C1 (*Arthrospira* sp. PCC 9438). **FEMS Microbiology Letters**, Birmingham, v. 184, p. 207-213, 2000.
- FOLCH, J.; LEES, M. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 226, p. 497-509, 1957.
- HOSHIDA, H.; OHIRA, T.; MINEMATSU, A.; AKADA, R.; NISHIZAWA, Y. Accumulation of eicosapentaenoic acid in *nannochloropsis* sp. in response to elevated CO₂ concentrations. **Journal of Applied Phytology**, [S.l.], v. 17, p. 29-34, 2005.
- ILLMAN, A. M.; SCRAGG, A. H.; SHALES, S. W. Increase in *Chlorella* strains calorific values when in low nitrogen medium. **Enzyme and Microbial Technology**, Atlanta, v. 27, p. 631-635, 2000.
- MA, F.; HANNA, A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 70, p. 1-15, 1999.
- MAKULLA, A. Fatty acid composition of *Scenedesmus obliquus*: correlation to dilution rates. **Limnology**, [S.l.], v. 30, p. 162-168, 2000.
- METCALFE, L. D. A. A.; SCHIMITZ, J. R. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas liquid chromatography. **Analytical Chemistry**, North Carolina, v. 38, p. 510, 1966.
- MORAIS, M. G.; COSTA, J. A. V. Isolation and selection of microalgae from coal fired thermoelectric power plant for biofixation of carbon dioxide. **Energy Conversion Management**, [S.l.], doi:10.1016/j.enconman.2006.12.011, 2007a.
- MORAIS, M. G.; COSTA, J. A. V. Biofixation of carbon dioxide by *Spirulina* sp. and *Scenedesmus obliquus* cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor. **Journal of Biotechnology**, [S.l.], doi:10.1016/j.jbiotec.2007.01.009, 2007b.
- OLGUÍN, E.; GALICIA, S.; ANGULO-GUERRERO, O.; HERNÁNDEZ, E. The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of *Spirulina* sp. (*Arthrospira*) grown on digested pig waste. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, p. 19-24, 2001.
- SATO, N.; TSUZUKI, M.; KAWAGUCHI, A. Glycerolipid synthesis in *Chlorella kessleri* 11 h II. Effect of the CO₂ concentration during growth. **Biochimica et Biophysica Acta**, Brunswick, v. 1633, p. 35-42, 2003.
- TSUZUKI, M.; OHNUMA, E.; SATO, N.; TAKAKU, T.; KAWAGUCHI, A. Effects of CO₂ concentration during growth of fatty acid composition in microalgae. **Plant Physiology**, Urbana, v. 93, p. 851-856, 1990.

WARD, O. P.; SINGH, A. Omega-3/6 fatty acids: alternative sources of production. **Process Biochemistry**, [S.l.], v. 40, p. 3627-3652, 2005.

WATANABE, A. List of algal strains in collection at the Institute of applied microbiology University of Tokyo. **Journal of General and Applied Microbiology**, London, v. 6, p. 1-4, 1960.

WEN, Z. Y.; CHEN, F. Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae. **Biotechnology Advances**, Waterloo, v. 21, p. 273-294, 2003.

WILLIS, W. M.; LENCKI, R. E.; MARANGONI, A. G. Lipid modification strategies in the production of nutritionally functional fats and oils. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 38, p. 639-674, 1998.

YANAGI, M.; WATANABE, Y.; SAIKI, H. CO₂ fixation by *Chlorella* sp. HA-1 and its utilization. **Energy Conversion and Management**, Belton, v. 36, p. 713-716, 1995.

ZARROUK, C. **Contribution a l'etude d'une cyanophycee: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et photosynthese de *Spirulina maxima* geitler.** 1966. Thesis (Ph.D.) - University of Paris, Paris, 1966.