



INTER
FACES
CIENTÍFICAS

SAÚDE E AMBIENTE

ISSN IMPRESSO 2316-3313

E - ISSN 2316-3798

DOI - 10.17564/2316-3798.2016v5n1p107-118

CONCENTRAÇÃO DE EFLUENTE AGROINDUSTRIAL PARA A PRODUÇÃO DE MASSA CELULAR BACTERIANA

CONCENTRATION OF AGROINDUSTRIAL EFFLUENT FOR THE PRODUCTION OF BACTERIAL CELL MASS

CONCENTRACIÓN DE EFLUENTE AGROINDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE MASA CELULAR BACTERIANA

Elisa Helena Giglio Ponsano¹
Thiago Luis Magnani Grassi³

Leandro Kanamaru Franco de Lima²

RESUMO

Grandes volumes de água são utilizados para o processamento do pescado, originando significativa quantidade de resíduos líquidos (efluentes) com variada concentração de matéria orgânica, e que podem ser utilizados para o cultivo de bactérias fototróficas como *R. gelatinosus*. Essas bactérias convertem a matéria orgânica em biomassa que pode ser utilizada em rações animais como aditivo pigmentante. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da concentração do efluente de indústria de pescado para a produção de massa celular de *R. gelatinosus*. A concentração foi realizada por microfiltração, originando quatro tratamentos (T1 = efluente in natura; T2

= efluente concentrado em 25%; T3 = efluente concentrado em 50% e T4 = efluente concentrado em 75%) que foram repetidos por três vezes. Os substratos foram analisados quanto a composição química e Demanda Química de Oxigênio (DQO), tratados termicamente a 65 °C por 30 minutos, resfriados para 25 °C, acondicionados em reatores de vidro com capacidade de 50 L e adicionados do inóculo da bactéria (1% v-v-1). O cultivo foi realizado durante cinco dias em anaerobiose, a 32 ± 2 °C e 1.500 ± 200 lux. A massa celular foi recuperada por microfiltração, liofilizada e analisada quanto à composição proximal. Rendimento e produtividade foram calculados

para avaliar a eficiência do processo de obtenção da biomassa. Os resultados indicaram maior recuperação ($28,61 \pm 0,71$ g), rendimento ($0,5722$ g L⁻¹) e produtividade ($0,1144$ g L⁻¹ dia⁻¹) no cultivo com a maior quantidade de matéria orgânica (T4). A maior redução de DQO foi de 69,23%, encontrada no T1, porém sem diferir da redução encontrada no T4. A composição proximal da massa celular variou entre os tratamentos nos teores de lipídeos e proteínas,

que foram maiores no T4. Portanto, a concentração do efluente em 75% mostrou-se a mais apropriada para a produção de massa celular de *R. gelatinosus*.

PALAVRAS-CHAVE

Rendimento. Pescado. *Rubrivivax gelatinosus*.

ABSTRACT

Huge volumes of water are used for the processing of fish, yielding significant amounts of liquid residues (effluents) with variable concentrations of organic matter and that may be used for the cultivation of phototrophic bacteria like *R. gelatinosus*. These bacteria transform the organic matter into a biomass that may be used in animal feeding as a pigmented additive. This study aimed at evaluating the effects of concentrating the fish industry effluent for the production of *R. gelatinosus* biomass. The concentration was performed by microfiltration, raising four treatments (T1 = effluent in natura; T2 = effluent concentrated at 25%; T3 = effluent concentrated at 50% and T4 = effluent concentrated at 75%) that were repeated for three times. The substrates were analyzed regarding to chemical composition and Chemical Oxygen Demand (COD), heat treated at 65 °C for 30 minutes, chilled to 25 °C, poured into 50 L glass reactors and added of the bacterial inoculum (1% v v⁻¹). The cultivation was carried out for five days under anaerobiosis, at 32 ± 2 °C and $1,500 \pm 200$

lux. The cell mass was recovered by microfiltration and spray drying and analyzed regarding to proximal composition. Yield and productivity were calculated to evaluate the efficiency of the biomass production process. Results showed the highest recuperation (28.61 ± 0.71 g), yield (0.5722 g L⁻¹) and productivity (0.1144 g L⁻¹ day⁻¹) for the culture with the most elevated contents of organic matter (T4). The highest COD removal was 69.23%, found at T1, although it was not different from the COD reduction in T4. The proximate composition varied among the treatments for lipids and protein contents, which were higher for T4. So, the concentration of the effluent at 75% was shown to be the most appropriate for the production of *R. gelatinosus* cell mass.

KEYWORDS

Yield. Fish. *Rubrivivax gelatinosus*.

RESUMEN

Grandes volúmenes de agua se utilizan para el procesamiento de pescado, produciendo gran cantidad de residuos líquidos (efluentes) con diferentes concentraciones de materia orgánica, y que pueden ser utilizados para el cultivo de bacterias fototrofas como *R. gelatinosus*. Estas bacterias convierten la materia orgánica en biomasa, que puede ser utilizada en la alimentación animal como aditivo pigmentante. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de la concentración del efluente de almacén de pescado para producir masa celular de *R. gelatinosus*. La concentración se llevó a cabo por microfiltración, produciendo cuatro tratamientos (T1 = efluente en naturaleza; T2 = efluente concentrado en el 25%; T3 = efluente concentrado en el 50% y T4 = efluente concentrado en el 75%) que fueron repetidos por tres veces. Se analizaron los sustratos cuanto a la composición química y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se los trató térmicamente a 65 °C durante 30 minutos, se los enfrió a 25 °C y se los envasó en un reactor de vidrio con capacidad de 50 L donde se añadió el inóculo de bacterias (1% v v-1). El cultivo

se realizó durante cinco días en condiciones anaerobias a 32 ± 2 °C y 1500 ± 200 lux. La masa celular fue recuperada por microfiltración, se liofilizó y se ensayó para la composición proximal. El rendimiento y la productividad se calcularon para evaluar la eficiencia del proceso de obtención de biomasa. Los resultados indicaron mayor recuperación ($28,61 \pm 0,71$ g), rendimiento ($0,5722$ g L-1) y productividad ($0,1144$ g L-1 día-1) en el cultivo con la más alta cantidad de materia orgánica (T4). La mayor reducción de la DQO fue del 69,23% para el T1, pero sin diferenciarse de los valores encontrados en T4. La composición proximal de la masa celular varió entre los tratamientos en el contenido de lípidos y proteínas, que fueron mayores en el T4. Por lo tanto, la concentración del efluente en el 75% demostró ser la más adecuada para la producción de masa de células de *R. gelatinosus*.

PALABRAS CLAVES

Rendimiento. Pescado. *Rubrivivax gelatinosus*.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, em nível mundial, a atividade aquícola cresceu em ritmo acentuado, vindo ao encontro da demanda pela produção de alimentos para a população que, em 2050 deverá atingir 9,6 bilhões de habitantes, de acordo com previsão da Organização das Nações Unidas (FAO, 2014a) e (ONU, 2013). Vê-se, por aí, que a pesca e a aquicultura desempenham um papel essencial para a segurança alimentar sustentável do planeta e geram empregos - desde aos pequenos pescadores até aos trabalhadores de grandes fábricas de processamento de produtos pesqueiros - tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento (FAO, 2014b).

Segundo dados da FAO, órgão da Organização das Nações Unidas que trata de assuntos relacionados à alimentação e à agricultura, a produção mundial de pescado atingiu a marca de 158 milhões de toneladas em 2012, dos quais, 86% foram utilizados para o consumo humano direto. Cerca de 50% desse montante provêm da aquicultura, atividade que vem apresentando uma taxa de crescimento médio anual de aproximadamente 6% desde 2002 (FAO, 2014a).

No Brasil, a produção de pescado em cativeiro foi de 628,7 mil toneladas em 2011, representando um incremento de 31% em relação à produção de 2010,

segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura - MPA (BRASIL, 2012). Também nesse ano, segundo o MPA, a piscicultura continental representou 86,6% da produção total da aquicultura nacional, com crescimento de 38% no mesmo período. Esse crescimento deve-se às características naturais do país relacionadas à abundância de recursos hídricos, ao clima e à geografia favoráveis e à disponibilidade de grãos para a fabricação de rações (ACEB, 2014).

Estimativas da FAO indicam um aumento do consumo mundial de pescado para 19,2 kg *per capita*/ano, impulsionado por seu elevado valor nutricional e pela procura por alimentos mais saudáveis (FAO, 2014a). No Brasil, o consumo *per capita* alcançado em 2013 foi de 14,5 kg, estando, portanto, acima da recomendação da Organização das Nações Unidas, que é de 12 kg/habitante (ACEB, 2014).

A tendência de aumento na produção e no consumo de pescado requer, também, um aumento nas unidades processadoras que, assim como as demais indústrias de alimentos, emprega grandes volumes de água potável para o processamento. Essas águas residuárias descartadas juntamente com os demais resíduos oriundos da atividade necessitam ser tratados anteriormente ao descarte no meio ambiente, o que se traduz em consequência econômica para a indústria geradora (RAMJEAWON, 2000). A quantidade e a qualidade das águas residuárias dependem do tipo do processamento e definem o tipo de tratamento despoluente a ser adotado, por isso, o conhecimento das características dessas águas é fundamental para permitir um planejamento estratégico para a reciclagem e o reuso, bem como para a recuperação de compostos de valor eventualmente nela presentes (LIU, 2007).

Fatores como a consciência do consumidor e das indústrias produtoras de alimentos sobre os problemas ambientais que podem advir do descarte inadequado de efluentes e a percepção dessas indústrias de que as águas residuárias do processamento industrial podem conter substâncias de valor que podem ser re-

cuperadas para compensar os custos com o tratamento despoluente e levar a novas oportunidades e novos mercados impulsionam a busca por métodos de recuperação (LIU, 2007) e (GALANAKIS, 2015). A produção de massa celular microbiana em efluentes industriais é um exemplo disso (AZAD, 2003), (DERNER, 2006), (PONSANO, 2008), (LIMA, 2011a) e (LIMA, 2011b).

Rubrivivax gelatinosus é uma bactéria fotossintetizante que possui a habilidade de crescer em efluente de processamento de pescado *in natura*, reduzindo a carga poluente e produzindo massa celular composta de proteínas, lipídeos, minerais e pigmentos carotenoides (PONSANO, 2011). Devido a essa composição, a biomassa foi testada como aditivo pigmentante na alimentação de frangos de corte, galinhas poedeiras e tilápias, provocando aumento da pigmentação de carne, pele e gemas de ovos, condição considerada importante por aumentar a atratividade desses produtos de origem animal (POLONIO, 2010), (AVANÇO, 2014) e (GRASSI, 2015). Além disso, o metabolismo da bactéria consome grande parte da matéria orgânica do substrato utilizado para seu cultivo, o que pode ser vantajoso para as empresas geradoras sob o aspecto ambiental em função da descontaminação promovida (LIMA, 2011a), (LIMA, 2011b), (PONSANO, 2011) e (PRASERTSAN, 1997).

Apesar da importante redução da Demanda Química de Oxigênio alcançada no processo de produção da biomassa, da ordem de 80%, a produtividade e o rendimento são baixos devido à condição de anaerobiose empregada para direcionar o metabolismo microbiano para a síntese de carotenóides. Essa limitação levanta o interesse pela busca de melhorias das condições de cultivo, para que o processo se torne viável e funcione como uma alternativa aos tratamentos despoluentes tradicionais e, ainda, reverta em recursos para a empresa geradora.

Tecnologias alternativas, como a microfiltração, já são realidade para o tratamento de efluentes domésticos e industriais (JUDD; JEFFERSON, 2003). O sistema origina, por meio de uma força motriz aplicada

para a passagem do efluente pela membrana tubular, duas linhas distintas denominadas de concentrado e permeado (AL-MALACK; ANDERSON, 1997) e (TCHO-BANOGLIOUS, 2003). No concentrado, os sólidos com dimensões superiores à porosidade da membrana são acumulados e podem se tornar disponíveis para o metabolismo dos micro-organismos fototróficos, aumentando a eficiência da produção de biomassa.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa objetivou investigar se a concentração da matéria orgânica do efluente de indústria de processamento de pescado influencia a eficiência do processo de produção de biomassa de *R. gelatinosus* e as características desse produto.

3 MÉTODOS E MATERIAL

3.1 SUBSTRATO, MICRO-ORGANISMO E PREPARO DO INÓCULO BACTERIANO

O efluente utilizado como substrato para o crescimento da bactéria foi obtido de indústria de abate e beneficiamento de tilápias durante o processamento industrial. *Rubrivivax gelatinosus* isolada de efluente de abatedouro avícola e mantida a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ em cultura estoque de meio de *Pfennig* semissólido foi utilizada para a produção da biomassa [22].

Para o preparo do pré-inóculo, uma alçada da cultura estoque da bactéria foi transferida para tubos contendo meio de *Pfennig* líquido acrescido de $0,1\%$ (v v^{-1}) da solução de microelementos, que foram incubados em anaerobiose, $32 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $1.400 \pm 200\text{ lux}$. Ao atingir crescimento, evidenciado pela coloração vermelha nos tubos, o pré-inóculo foi transferido (1% v v^{-1}) para provetas de vidro contendo o mesmo meio sintético, que foram incubadas nas mesmas condições citadas, dando origem ao inóculo ao atingir densidade

ótica de 0,5 a 600 nm, medido em espectrofotômetro (HITACHI U-1000/U-1100). Foi utilizado como branco o meio de *Pfennig* líquido sem o inóculo da bactéria.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO

O experimento adotou um delineamento totalmente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições. No tratamento A, o substrato para o cultivo bacteriano foi o efluente *in natura*, isto é, sem ser submetido à concentração e, nos tratamentos B, C e D, o substrato foi concentrado pela remoção do permeado da microfiltração nas proporções de $\frac{1}{4}$ (25%), $\frac{1}{2}$ (50%) e $\frac{3}{4}$ (75%) do volume inicial, respectivamente. A concentração foi realizada em sistema de microfiltração com unidade de filtração de $0,75\text{ m}^2$, porosidade 0,2 mm, vazão $1,5\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ e pressão 1,5 bar (FRINGS).

Todos os substratos foram tratados termicamente a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 30 min em tanque de aço inox (INCOMAR), resfriados até a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e distribuídos em biorreatores de vidro de capacidade de 50L ($0,50\text{ m} \times 0,20\text{ m} \times 0,50\text{ m}$, comprimento x largura x altura) para a adição do inóculo bacteriano na proporção de 1% (v v^{-1}). Os biorreatores foram preenchidos totalmente com os substratos e fechados com tampas de vidro para simular um ambiente anaeróbio. Os cultivos foram realizados sobre uma bancada, recebendo iluminação ininterrupta ($1.500 \pm 200\text{ lux}$) de lâmpadas incandescentes (60 W) durante cinco dias.

3.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO EFLUENTE

Os substratos foram caracterizados quanto aos teores de sólidos totais, nitrogênio total e óleos e graxas, de acordo com os procedimentos descritos pela American Public Health Association (APHA, 2005). A Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi determinada nos substratos antes do tratamento térmico e nos permeados resultantes da microfiltração dos cultivos bacterianos, segundo metodologia adaptada de Jirka e Carter (JIRKA; CARTER, 1975) que inclui a digestão

química da amostra em reator de DQO (Hach DRB200), seguida da leitura da absorbância a 600 nm em espectrofotômetro (Hach DR2800).

3.4 DETERMINAÇÃO DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE MASSA CELULAR

Após o período de cultivo da bactéria, os conteúdos dos biorreatores foram concentrados por microfiltração nas mesmas condições descritas anteriormente. Os concentrados resultantes foram congelados (- 42 °C), liofilizados por 48 horas (LIOBRÁS L101), reduzidos a pó manualmente em almofariz e pesados para o cálculo da quantidade de biomassa recuperada.

O rendimento foi calculado pela relação entre a quantidade de massa celular recuperada e o volume de substrato utilizado no cultivo (1) e a produtividade foi calculada pela inclusão do tempo de cultivo na mesma relação (2).

$$R = \frac{B}{V} R = \frac{B}{DQO} \quad (1)$$

onde: R = rendimento (mg biomassa L^{-1}), T = biomassa recuperada no sistema (mg), V = volume de substrato utilizado no cultivo (L).

$$P = \frac{B}{V \times t} R = \frac{B}{DQO} \quad (2)$$

onde: P = produtividade (g biomassa $L^{-1} \text{ dia}^{-1}$), B = biomassa recuperada no sistema (g), V = volume do substrato utilizado no cultivo (L), t = tempo de cultivo (dia).

3.5 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO PROXIMAL

As biomassas em pó foram armazenadas a vácuo e ao abrigo da luz até o momento das análises bromatológicas (umidade, matéria mineral, proteína bruta e lipídeos totais), realizadas de acordo com as

metodologias descritas pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1999).

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos à análise de variância com teste de *Kruskal-Wallis*, considerando um nível de significância de 5% (VIEIRA, 1999). O software utilizado foi o *GraphPad InStat 3.06 for Windows, GraphPad Software, San Diego, California, USA*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A microfiltração promoveu a concentração da matéria orgânica do efluente de indústria de abate e processamento de pescado, fornecendo teores de sólidos totais, nitrogênio total e óleos e graxas significativamente maiores para o tratamento D quando comparado com o tratamento A (Tab. 1). Considerando que *Rubrivivax gelatinosus* utiliza esses componentes para a multiplicação e conseqüente produção de biomassa (LIMA, 2011a), esse resultado foi considerado positivo e foi confirmado pelos resultados encontrados para a recuperação da biomassa, o rendimento e a produtividade do processo.

A quantidade de matéria orgânica presente no resíduo líquido descartado na indústria de pescado é influenciada diretamente pelo tipo de processamento realizado (CHOWDHURY, 2010). Prasertsan, Choorit, e Suwanno (PRASERTSAN, 1993) caracterizaram efluentes provenientes de indústrias de conservas de peixes e encontraram valores de nitrogênio total (7.616 $mg L^{-1}$), óleos e graxas (32.182 $mg L^{-1}$) e sólidos totais (82,2 $g L^{-1}$) superiores aos encontrados neste experimento. Em outro trabalho, Azad, Vikineswary, Chong e Ramachandran (AZAD, 2003), analisando o efluente da industrialização de sardinhas para cultivos microbianos, encontraram DQO de 32.000 $mg L^{-1}$, ou seja, aproximadamente, trinta vezes maior que o valor encontrado neste estudo (1.144 $mg L^{-1}$).

Em todos os tratamentos foi verificada a diminuição da DQO após o cultivo da bactéria (Tab. 1). Entretanto, a remoção da DQO não diferiu entre os tratamentos em que foi feita a concentração da matéria orgânica. Ao contrário, a maior remoção ocorreu após o cultivo da bactéria no substrato *in natura*, o que sinaliza para uma limitação da bactéria na utilização dos compostos orgânicos necessários para seu metabolismo. Azad, Vikineswary, Chong e Ramachandran (AZAD, 2003), alcançaram 83% de redução de DQO cultivando *Rhodovulum sulfidophilum* em efluente de indústria de sardinhas. No entanto, os autores trabalharam com um inóculo dez vezes maior para conseguir tal resultado, o que representaria um custo adicional para o processo,

considerando uma utilização em escala industrial. Por outro lado, Lima, Ponsano e Pinto (LIMA, 2011a) obtiveram uma redução menor da DQO (52%) em cultivos realizados com o mesmo micro-organismo, sem realizar a concentração do efluente.

Os parâmetros indicativos da eficiência do processo também melhoraram com o aumento da concentração de matéria orgânica no efluente. A concentração alcançada pela eliminação de 75% do volume original do substrato (tratamento D) propiciou massa celular, produtividade e rendimento significativamente maiores do que os encontrados para o cultivo no efluente *in natura* (tratamento A), conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 1 - Características físico-químicas dos substratos utilizados para o cultivo de *Rubrivivax gelatinosus* e percentual de redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) após os tratamentos com o sistema de microfiltração.

Parâmetros físico-químicos ^{1,2}	Tratamento A	Tratamento B	Tratamento C	Tratamento D	p
Sólidos totais (g/L)	1,19 ± 0,04 ^b	1,23 ± 0,1 ^{ab}	1,67 ± 0,1 ^{ab}	3,16 ± 0,1 ^a	0,0213
Nitrogênio total (mg/L)	161 ± 40,1 ^b	197,37 ± 22,7 ^{ab}	227,85 ± 11 ^{ab}	245,95 ± 20,1 ^a	0,0023
Óleos e graxas (mg/L)	775,92 ± 2,5 ^b	845,33 ± 0,5 ^{ab}	872,38 ± 21,1 ^{ab}	1.256 ± 22,8 ^a	<0,0001
DQOi (mg/L)	1.144 ± 17,9 ^b	1.296 ± 25,1 ^{ab}	1.440 ± 22,2 ^{ab}	1.600 ± 22,1 ^a	<0,0001
DQO (%)	69,23 ± 0,7 ^a	57,50 ± 0,9 ^b	61,88 ± 0,4 ^{ab}	59,16 ± 0,6 ^{ab}	<0,0001

DQOi: Demanda Química de Oxigênio inicial; DQO%: redução da Demanda Química de Oxigênio no processo. 1Médias seguidas de mesma letra em uma mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Kruskal-Wallis*. 2Médias e desvios padrões de três repetições.

Fonte: PONSANO, E. H. G. ET SAL (2015)

As pequenas quantidades de biomassa produzidas por *Rubrivivax gelatinosus* são características para as condições de cultivo utilizadas neste experimento, presença de luz e ausência de oxigênio. Lu, Zhang, Wan e Lu (LU et al, 2011) explicam que a degradação de macromoléculas e a consequente redução de poluentes em cultivos de bactérias fototróficas são maiores em aerobiose. De acordo com os autores, a via metabólica utilizada pelos micro-organismos é a fosforilação oxidativa, responsável por mineralizar com maior eficiência a matéria orgânica do substrato. Além disso, cultivos desenvolvidos na

ausência de luz induzem bactérias a consumirem mais o carbono orgânico do meio para a produção de energia, o que reduz a sua carga poluente. Por outro lado, a utilização de uma fonte de luz em cultivos bacterianos condiciona os micro-organismos a produzirem pigmentos carotenoides (ZHOU, 2014) A via metabólica, nesse caso, passa ser a fotofosforilação que, em condições anaeróbias, favorece o crescimento microbiano e a produção de massa celular (LU et al, 2011) . Portanto, visando aliar a produção de biomassa e carotenoides, a via de escolha deve ser a mesma adotada neste experimento.

Tabela 2 - Características do crescimento de *Rubrivivax gelatinosus* em efluente de indústria de processamento de pescado com diferentes concentrações de matéria orgânica.

Características do crescimento bacteriano ^{1,2}	Tratamento A	Tratamento B	Tratamento C	Tratamento D	p
Volume do biorreator (L)	50	50	50	50	-
Recuperação de biomassa (g)	21,87 ± 0,04 ^b	24,80 ± 0,09 ^{ab}	26,34 ± 0,43 ^{ab}	28,61 ± 0,1 ^a	<0,0001
Rendimento (g L ⁻¹)	0,4374 ± 0,001 ^b	0,4960 ± 0,00 ^{ab}	0,5269 ± 0,006 ^{ab}	0,5722 ± 0,01 ^a	<0,0001
Produtividade (g biomassa L ⁻¹ dia ⁻¹)	0,0875 ± 0,000 ^b	0,0992 ± 0,000 ^{ab}	0,1054 ± 0,001 ^{ab}	0,1144 ± 0,002 ^b	<0,0001

¹Médias seguidas de mesma letra em uma mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Kruskal-Wallis*. ²Médias e desvios padrões de três repetições.

Fonte: PONSANO, E. H. G. ET SAL (2015)

Alguns pesquisadores reportaram resultados inferiores de produtividade e recuperação de massa celular ao cultivarem o mesmo micro-organismo utilizado neste experimento em substratos contendo apenas o efluente *in natura*, sem qualquer tipo de tratamento prévio para aumentar a concentração de matéria orgânica. As produtividades foram de 0,072 (PONSANO, 2003) 0,085 (PONSANO, 2008) e 0,079 (LIMA, 2011a) g biomassa L⁻¹ dia⁻¹. Outros autores (WU, 2012) e (WU, 2014) realizaram a suplementação do meio de cultivo para aumentar a recuperação de biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* e alcançaram aumentos de 63% e 59% adicionando 20 mg L⁻¹ de Fe⁺² e 10 mg L⁻¹ de Mg⁺² ao substrato de crescimento da bactéria, respectivamente. Entretanto, adicionar nutrientes aos efluentes gera custos adicionais que podem inviabilizar o processo desenvolvido em escala industrial.

Neste experimento foram alcançados valores de rendimento superiores aos encontrados para cultivos realizados com *Rhodopseudomonas sphaeroides* em substratos orgânicos (PRASERTSAN, 1993) que estiveram entre 0,41 e 0,47 mg biomassa mg⁻¹ DQO⁻¹. Situação semelhante também foi relatada por outros pesquisadores, que encontraram rendimentos entre 0,40 e 0,51 mg biomassa mg⁻¹ DQO⁻¹ cultivando bactérias fotossintetizantes em meio suplementado com Fe²⁺ (WU, 2012). Sistemas tradicionais de tratamento

de águas residuárias por lodos ativados podem apresentar rendimentos entre 0,03 e 0,40 mg biomassa mg⁻¹ DQO⁻¹ (GRADY JR, 1999). Isso reforça o potencial biotecnológico de *Rubrivivax gelatinosus* que, neste experimento, foi capaz de degradar compostos orgânicos do efluente industrial e gerar massa celular sem a necessidade de suplementação dos substratos.

Em relação à composição centesimal, os teores de proteínas e lipídeos totais da biomassa variaram em função da concentração realizada nos substratos de cultivo. Por outro lado, as concentrações de umidade e matéria mineral não diferiram estatisticamente entre os tratamentos (Tab. 3). Esses dados demonstraram que, quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível para o desenvolvimento de *Rubrivivax gelatinosus*, maior é o valor nutricional da biomassa. Não foram encontrados valores de referência na literatura para a comprovação dessa evidência, no entanto, algumas semelhanças foram observadas com os resultados apresentados por Santo, Lima, Torres, Oliveira e Ponsano (SANTO, 2013). Nesse caso, os autores também trabalharam com efluente de uma indústria de processamento de pescado e utilizaram a liofilização para desidratar o produto que resultou numa biomassa com 4,15% de umidade, 55,41% de proteína bruta, 11,72% de lipídeos totais e 4,33% de cinzas.

Tabela 3 - Características da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* produzida nos diferentes tratamentos.

Composição centesimal (g 100g ⁻¹) ^{1,2}	Tratamento A	Tratamento B	Tratamento C	Tratamento D	p
Umidade	4,7 ± 0,3 ^a	4,7 ± 0,2 ^a	5,0 ± 0,1 ^a	4,6 ± 0,5 ^a	0,3688
Proteínas totais	46,5 ± 1,7 ^b	48,2 ± 1,5 ^b	53,3 ± 0,8 ^a	53,3 ± 1,3 ^a	0,0064
Lipídeos totais	7,1 ± 0,2 ^b	7,5 ± 0,2 ^{ab}	9,9 ± 0,7 ^{ab}	10,9 ± 0,8 ^a	0,0003
Matéria mineral	4,4 ± 0,1 ^a	3,6 ± 0,3 ^a	3,9 ± 0,1 ^a	4,1 ± 0,5 ^a	0,0950

¹Médias seguidas de mesma letra em uma mesma linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Kruskal-Wallis*. ²Médias e desvios padrões de três repetições.

Fonte: PONSANO, E. H. G. ET SAL (2015)

5 CONCLUSÃO

A microfiltração utilizada para concentrar a matéria orgânica do efluente de processamento de pescado afetou positivamente a recuperação da massa celular, o rendimento e a produtividade do processo de obtenção da biomassa de *Rubrivivax gelatinosus*, fornecendo os maiores valores para o substrato concentrado em 75%. A concentração dos substratos não influenciou a redução da DQO, que foi maior no cultivo realizado com o efluente *in natura*. Os teores de proteínas e lipídeos foram maiores na biomassa recuperada dos cultivos mais concentrados.

6 RECONHECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo Nº 50274-4/2011) pelo auxílio financeiro concedido para o desenvolvimento do projeto e ao Empreesto de pescado Geneseas Aquaculture pelo fornecimento do efluente industrial.

REFERÊNCIAS

AL-MALACK, M.H.; ANDERSON, G.K. Use of crossflow microfiltration in wastewater treatment. **Water Research**. v.31, p.3064-3072. 1997.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: **APHA**. 2005.

ASSOCIAÇÃO CULTURAL E EDUCACIONAL BRASIL - ACEB. Primeiro anuário brasileiro de pesca e aquicultura. Rio de Janeiro: ACEB. 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis**. Arlington. 1999.

AVANÇO, S.V. et al. Biomassa de *Rubrivivax gelatinosus* na criação de frangos de corte: desempenho animal e cor dos produtos, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 66, p.1831-1838. 2014.

AZAD, S.A. et al. *Rhodovulum sulfidophilum* in the treatment and utilization of sardine processing wastewater, Lett. App. **Microbiology**. v.38, p.13-18. 2003.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura: Brasil 2010**. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura, 2012. Disponível em:<http://www.mpa.gov.br/images/Docs/Informacoes_e_Estatisticas/Boletim%20Estat%C3%ADstico%20MPA%202010.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2013.

- CHOWDHURY, P. et al. Biological treatment processes for fish processing wastewater – a review. **Bioresource Technology**. v.101, p.439-449. 2010.
- DERNER, R.B. et al. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciencia Rural**. v.36, p.1959-1967. 2006.
- E.H.G. PONSANO, et al. Chemical composition of *Rhodocyclus gelatinosus* biomass produced in poultry slaughterhouse wastewater, Braz. Arch. **Biol. Technol.** 2003, v. 46, p.143-147.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture 2014**. Roma: FAO, 2014b. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Fishery and aquaculture statistics**. Yearbook 2012. Roma: FAO, 2014a. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/478cfa2b-90f0-4902-a836-94a5d6730/i3740t.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2014.
- GALANAKIS, C.M. Processing Technologies and Industrial Techniques. London: **Elsevier**. 2015.
- GRADY JR C.P. et al. **Biological wastewater treatment**. New York: Marcel Dekker. 1999.
- GRASSI, T.L.M. et al. **Bacterial pigment for Nile tilapia feeding. Aquaculture International**. DOI 10.1007/s10499-015-9955-y. 2015.
- JIRKA, A.M.; CARTER, M.J. Micro semi-automated analysis of surface and wastewaters for chemical demand oxygen. Journal of **Analytical Chemistry**. p.47. 1975.
- JUDD, S.; JEFFERSON, B. **Membranes for industrial wastewater recovery and re-use**. New York: Elsevier Science. 2003.
- LIMA, L.K.F. et al. Cultivation of *Rubrivivax gelatinosus* in fish industry effluent for depollution and biomass production. **World Journal of Microbiology Biotechnol.** v.27, p.2553-2558. 2011a.
- LIMA, L.K.F. et al. Recuperação de biomassa bacteriana produzida no tratamento de efluente industrial, **Revista Brasileira Agrociência**. v.7, p.456-462. 2011b.
- LIU, S.X. Food and agricultural utilization and treatment. Ames: **Blackwell**. 2007.
- LU, H. et al. Influences of light and oxygen conditions on photosynthetic bacteria macromolecule degradation: Different metabolic pathways. **Bioresource Technology** . v.102, p.9503-9508. 2011.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. População mundial deve atingir 9,6 bilhões em 2050, diz novo relatório da ONU. Nova York: Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais da ONU, 2013. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/populacao-mundial-deve-atingir-96-bilhoes-em-2050-diz-novo-relatorio-da-onu>>. Acesso em: 16 out. 2014.
- POLONIO, L.B. et al. Utilization of bacterial (*Rubrivivax gelatinosus*) biomass for egg yolk pigmentation. Anim. **Productio Science**. v.50, p.01-05. 2010.
- PONSANO, E.H.G. et al. From a pollutant byproduct to a feed ingredient. In: D. Mantovic. Biomass – detection, production and usage. Croatia: **InTech**. 2011.
- PONSANO, E.H.G. et al. Phototrophic growth of *Rubrivivax gelatinosus* in poultry slaughterhouse wastewater. **Bioresource Technology**. v.99, p.3836-3842. 2008.
- PONSANO, E.H.G. et al. Isolation of *Rhodocyclus gelatinosus* from poultry slaughterhouse wastewater. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.45, p.445449. 2002.

- PRASERTSAN, P. et al. Optimization for growth of *Rhodocyclus gelatinosus* in seafood processing effluents, **Journal Microbiology Biotechnology**. v. 9, p.593-596. 1993.
- PRASERTSAN, P. et al. **Utilization and treatment of tune condensate by photosynthetic bacteria**. **Pure and Applied Chemistry** . v.69, p.2439-2445. 1997.
- RAMJEAON, T. Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories . **Journal of Cleaner Production**. v.8, p.503-510. 2000.
- SANTO, E.F.E. et al. Comparison between freeze and spray drying to obtain powder *Rubrivivax gelatinosus* biomass. **Food Science Technology**. v.33, p.47-51. 2013.
- TCHOBANOGLIOUS, G. et al. **Wastewater engineering: treatment disposal and reuse**. New York: Mc-Graw Hill. 2003.
- VIEIRA, S. **Estatística experimental**. São Paulo: Atlas. 1999.
- WU, P. et al. Promoting the growth of *Rubrivivax gelatinosus* in sewage purification by addition of magnesium ions. **Biochemical Engineering Journal**. v.91, p.66-71. 2014.
- WU, P. et al. Effects of Fe²⁺ concentration on biomass accumulation and energy metabolism in photosynthetic bacteria wastewater treatment. **Bioresource Technology**. v.119, p.55-59. 2012.
- ZHOU, Q. et al. Biomass and carotenoid production in photosynthetic bacteria wastewater treatment: Effects of light intensity, **Bioresource Technology**.v.171, p.330-335. 2014.
- ZHOU, Q. et al. Biomass and pigments production in photosynthetic bacteria wastewater treatment: Effects of light sources, **Bioresource Technoly**. v.179, p.505-509. 2015.

Recebido em: 29 de Maio de 2016
Avaliado em: 30 de Maio de 2016
Aceito em: 3 de Junho de 2016

1. Faculdade de Medicina Veterinária - Unesp, Araçatuba SP, Brasil
2. Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas TO, Brasil
3. Faculdade de Medicina Veterinária - Unesp, Araçatuba, Brasil