

II-081 - UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NO CULTIVO DE MICROALGAS COM POTENCIALIDADE PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Maniza Sofia Monteiro Fernandes⁽¹⁾

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Especialista pela Fundação Universitária de Apoio Ensino e Extensão- FURNE, mestranda em Engenharia Química pela Universidade Federal da Campina Grande.

Tássio Henrique Cavalcanti da Silva Cunha⁽²⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, bolsista PIBIC

Iana Chaíene de Araújo Vidal⁽³⁾

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba

Lázaro Ramon dos Santos Andrade⁽⁴⁾

Biólogo formado pela Universidade da Paraíba, especialista pela Fundação Universitária de Apoio Ensino e Extensão- FURNE

Weruska Brasileiro Ferreira⁽⁵⁾

Professora da Universidade Estadual da Paraíba do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Doutora em Engenharia Química pela UFCG e Engenheira química pela UFPB.

Endereço⁽¹⁾: Rua/Av. Aprígio Veloso 882 - Bodocongó – Campina Grande - Paraíba - CEP: 58109-970-Brasil. Tel: +55 (83) 3310-1116 - e-mail: maniza-f@hotmail.com .

RESUMO

Os combustíveis fósseis por ser uma fonte esgotável tornaram-se uma preocupação mundial. Uma das maiores preocupações atuais com relação aos combustíveis fósseis são também os efeitos danosos causados ao meio ambiente proveniente da geração dos gases que provocam o superaquecimento global. Assim sendo, esses motivos têm levado o homem à procura de novas fontes de energias renováveis. As oleaginosas vêm se tornando a principal fonte de biocombustível, porém tem sido alvo de fortes críticas, principalmente pelo uso excessivo de terras aráveis, comprometendo a geração de alimentos. Deste modo, a fonte de energia renovável que não apresenta esta dificuldade é o biocombustível proveniente das microalgas. As quais para seu desenvolvimento necessitam de nutrientes adequados, provenientes da preparação de um meio sintético, ou de meios modificados, como o uso de águas residuárias. Esta pesquisa teve como objetivo estudar a viabilidade de desenvolver as microalgas *Chlorella vulgaris* em cultivos autotróficos e heterotróficos o primeiro através do uso de meios de culturas adicionando rejeitos líquidos oriundos dos sistemas dessalinização de águas salobras e o para o cultivo heterotrófico foi utilizado o rejeito líquido da produção de biodiesel a glicerina que serviu como fonte orgânica adicionada ao meio de cultura *Bold's Basal Medium* para avaliar a maior produção celular juntamente com o desenvolvimento de uma biomassa com uma maior fração lipídica de modo a viabilizar a produção de biodiesel por meio das microalgas. O cultivo autotrófico foi realizado a 26°C, sob iluminação de 5klux e fotoperíodo de 12 horas, com agitação contínua. Para o heterotrófico foi mantida as mesmas condições exceto a iluminação, pois, o cultivo foi desenvolvido com ausência de luz. A espécie em estudo apresentou melhor crescimento celular através do cultivo autotrófico com adição de 25% de rejeito líquido da dessalinização ao meio de cultura. Porém, não apresentou um desempenho satisfatório na produção lipídica. Com o cultivo heterotrófico houve um desenvolvimento celular inferior ao cultivo autotrófico devido à baixa densidade celular principalmente quando houve o aumento da concentração da fonte orgânica. Assim, conclui-se que a cepa da *Chlorella vulgaris* em estudo não se adaptou ao cultivo heterotrófico, indicando que para o maior grau de crescimento celular deve-se utilizar o cultivo autotrófico, porém, é preciso estudar condições químicas do meio de cultura que promovam alteração no metabolismo microalgal para uma maior produção de lipídios.

PALAVRAS-CHAVE: Microalgas, biodiesel, resíduos líquidos, cultivo autotrófico, cultivo heterotrófico.

INTRODUÇÃO

O mundo com o uso excessivo dos combustíveis fósseis pelas indústrias e principalmente pelo setor de transporte faz com que se viva uma dupla crise mundial que é a escassez das fontes de combustíveis fósseis e a degradação ambiental.

Desta forma, seja pelos efeitos negativos causados ao meio ambiente ou esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, é imprescindível e urgente à procura de fontes energéticas alternativas que sejam de custo competitivo com as atuais fontes de energia existente, como também serem renováveis, biodegradáveis, de produção limpa e não tóxicas. Dentro desse prisma, destacam-se os biocombustíveis que constituem recursos biodegradáveis, renováveis e estão associados com várias vantagens ambientais, uma vez que permitem a redução das emissões de poluentes, principalmente os gases de efeito estufa responsáveis pelo superaquecimento global.

Atualmente o país que vem se destacando mundialmente na produção de energia limpa e renovável é o Brasil que possui em sua matriz energética 45% de energia renovável, enquanto no mundo este valor não ultrapassa a 14% (BRASIL, 2010).

O biocombustível que vem se destacando no cenário mundial atualmente é representado em sua maioria pelos derivados de culturas terrestres, tais como: soja, milho, cana-de-açúcar. No entanto, vem a cada dia sendo pressionado pelo mercado de alimentos devido a enorme área de terras agricultáveis necessárias para sua produção, além de contribuir também com a escassez de água potável e para a destruição das florestas no mundo.

Neste sentido, as microalgas apresentam um grande potencial em se alinhar a essas fontes de energias derivadas das oleaginosas, pois as microalgas apresentam diversas vantagens em relação às fontes alternativas de energias renováveis, se destacando primordialmente duas vantagens que são: maior taxa de sequestro de CO₂ quando comparado com as plantas superiores, sendo esta a fonte de carbono utilizada nos processos bioquímicos da célula para produção de lipídios e a outra vantagem primordial é a não competição por terras aráveis, sendo o espaço para o cultivo das microalgas destinado apenas para suporte, podendo assim utilizar terras improdutivas ou degradadas. Outras vantagens também merecem que se destaquem tais como: 1) as microalgas apresentam rápido crescimento e com alta produtividade em óleo para obtenção de biodiesel (comportamento diferenciado entre as espécies); 2) utilizam águas residuais, águas salobras ou impróprias para o consumo convencional; 3) reciclagem do meio líquido, 4) a demanda de água é bem menor quando comparada com os cultivos agrícolas, 5) pode além da extração do óleo, obter outros produtos de alto valor para as indústrias alimentícias e farmacêuticas, dentre outras.

Além do mais, o biodiesel não é a única fonte de energia renovável derivado das microalgas outras fontes energéticas podem ser obtidas como: o metano ou biogás produzido pela digestão anaeróbica da biomassa, biohidrogênio produzido pela lignina celulósica através da fermentação, bioetanol e biobutanol obtido do açúcar da biomassa por meio de fermentação (BOROWITZAKA, 1999; MALCATA, 2011).

No entanto, dentro da realidade e da necessidade que o mundo vive em obter uma fonte de energia renovável, a opção de obter biodiesel por meio das microalgas torna-se mais atrativa na medida em que se aliam algumas situações problemáticas oriundas das necessidades atuais, como destino adequado para as águas residuais, ocupação de áreas impróprias para cultivo e produção de alimentos.

Além da produção de biocombustível, as microalgas atraem atenção devido a sua importância em diversas aplicações comerciais, levando ao surgimento de uma área de pesquisa a "biotecnologia de microalgas". Um dos aspectos importantes da biotecnologia das microalgas é desenvolver alimentos funcionais e produtos nutracêuticos a partir de microalgas mesmo usando as células inteiras em razão da sua rica composição química ricas em substâncias com valores farmacológicos, alimentícios (por exemplo, *Chlorella*, *Spirulina*, etc.) ou por extração de ingredientes funcionais (por exemplo, beta-caroteno, astaxantina, o ácido docosahexaenóico (DHA), o ácido eicosapentaenóico (EPA), o ácido docosapentaenóico (DPA), a ficocianina, etc a partir das algas.

A microalga em estudo a *Chlorella vulgaris* tem uma imensa importância econômica, não só na produção para aplicação na alimentação humana. Mas, também na geração de bioenergia, tornando-se uma alternativa como fonte de energia renovável (PHUKAN et al., 2011).

O cultivo autotrófico é o mais utilizado no cultivo de microalgas, principalmente quando a produção é em larga escala. Mas, várias espécies podem tanto ser cultivadas em processos autotróficos como em heterotróficos. As microalgas podem assimilar diversos compostos orgânicos no cultivo heterotrófico (como: glicose, glicerol,

acetato, frutose, lactose e outros), evitando a forte dependência da luz e aumentando a produtividade da biomassa.

De acordo com Huang et al. (2010), o cultivo heterotrófico apresenta várias vantagens frente ao cultivo autotrófico, que pode ser a independência da luz, melhor controle do cultivo, diminuição do custo na separação devido ao aumento da densidade celular.

Uma das fontes de carbono mais adequada para produção de biodiesel por meio heterotrófico é o glicerol. O glicerol pode ser obtido como subproduto da reação de transesterificação para obtenção do biodiesel. O acúmulo de lipídios é maior quando utiliza o glicerol que as outras fontes de carbono como a glicose por exemplo.

Assim sendo, com o intuito de avaliar a potencialidade da produção de biocombustível através das microalgas este trabalho estudou o cultivo da espécie *Chlorella sp* em meios de cultivos autotróficos e heterotróficos com adição ao meio de cultura básico resíduo líquido oriundo da dessalinização de águas salobras e de rejeito líquido da produção do biodiesel a glicerina ou glicerol.

MATERIAIS E MÉTODOS

A *Chlorella vulgaris* foi fornecida inicialmente pelo Laboratório de Biotecnologia Alimentar (BIOTEC/UFSC).

O meio sintético utilizado para o cultivo da *Chlorella vulgaris* foi *Bold's Basal Medium* (BBM). A partir das culturas mantidas em meio sólido em tubos de ensaios, foram desenvolvidas novas culturas em BBM, iniciando o cultivo em Erlenmeyers de 250 mL.

As aclimações químicas foram realizadas com a inoculação do cultivo ao BBM e mantendo o pH do meio em 6,6. As condições físicas mantidas nos experimentos foram: temperatura em $26^{\circ}\text{C} \pm 2$, agitação por injeção contínua de ar e iluminação de 4klux provenientes de lâmpadas fluorescentes de 40W com fotoperíodo de 12 horas com o tempo de iluminação mantido por um controlador de tempo automático.

Os repiques das culturas algais eram executados na sua fase de crescimento máximo que corresponde o início da fase estacionária, sendo transferidas posteriormente para frascos com aeração apropriada de 2000mL, onde foi realizada a variação do meio de cultura modificando as condições de cultivo através da adição do concentrado proveniente do dessalinizador, foi acrescentado várias concentrações do rejeito líquido da dessalinização variando de 10% a 45 % ao meio de cultivo.

Na segunda fase laboratorial, iniciou-se o cultivo heterotrófico com adição de um agente orgânico a glicerina ou glicerol, acrescentando de 2% a 10% de glicerina ao meio de cultura BBM, as condições físicas de temperatura e aeração efetuadas nos experimentos autotróficos se mantiveram. Porém, para manter as condições heterotróficas removeu-se a iluminação para isso o reator foi totalmente coberto com papel alumínio evitando a penetração da luz, mantendo as demais aclimações químicas para avaliar o crescimento das microalgas.

A densidade celular da biomassa cultivada foi determinada diariamente através da microscopia óptica com aumento de 400x por contagem de células em câmara de Neubauer e expressa em número de células por mililitro de cultivo (células.mL^{-1}). Com os dados experimentais de densidade celular, foram elaborados gráficos que representam as curva de crescimentos da espécie em estudo. A produtividade da biomassa foi realizada utilizando membranas de acetato de celulose de porosidade de $0,45\mu\text{m}$, após filtração a vácuo da amostra contendo a biomassa de *Chlorella vulgaris*, realizando a secagem em estufa na temperatura de secagem a 60°C até atingir peso constante e posterior pesagem da biomassa seca.

O teor lipídico total da amostra foi determinado de acordo com o método de extração com solvente orgânico em extrator contínuo do tipo Soxhlet.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observando o comportamento temporal do crescimento da *Chlorella vulgaris* como ilustrado na Figura 1, foi verificado que o cultivo iniciou-se a fase estacionária quando atingiu a população 10^7 cel.mL⁻¹ que correspondeu a um tempo de cultivo de apenas 4 dias, obtendo ao fim do cultivo um número máximo de células de $7,9 \times 10^7$ cel.mL⁻¹.

Neste experimento foi realizado o cultivo sem adição do concentrado apenas o meio de cultura BBM utilizando Erlenmeyers de 2000mL como fotobioreatores, mantendo as aclimações ideais conforme descrito no procedimento experimental.

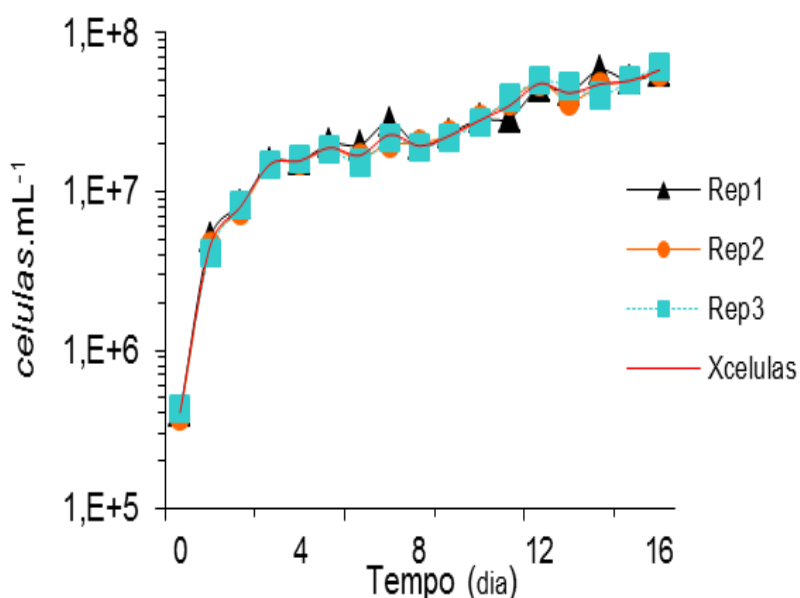


Figura 1- Cultivo de *Chlorella vulgaris* em 100% de BBM sem adição de concentrado em reatores de 2000mL.

Santos et al, (2010), estudaram o crescimento da *Chlorella vulgaris* em meio de cultura Conway modificado com fotoperíodo de 12 horas em fotobioreatores de vidro de 250mL com intensidade luminosa de 4000lux, obtiveram a densidade máxima celular no oitavo dia cultivo de $5,2 \times 10^7$ cel.mL⁻¹, analisando a Figura 1 observa-se que no oitavo dia do experimento realizado foi obtido o número de células de $3,0 \times 10^7$ cel.mL⁻¹ equivalente ao obtido por Santos et al,(2010). Porém, estes autores alcançaram resultados melhores quando trabalharam com fotoperíodo integral atingindo o número máximo de células no nono dia de cultivo com um valor de $9,43 \times 10^7$ cel.mL⁻¹. Valor este superior a todos os valores que foram obtidos durante o presente estudo. Porém, a justificativa para não utilizar o fotoperíodo integral neste trabalho se deve ao fato que tinha que simular as mesmas condições ambientais do campo, uma vez que o intuito era efetuar o cultivo a céu aberto, impossibilitando assim impor um fotoperíodo integral.

Efetuando o cultivo com adição de 25% de concentrado ao meio de cultura em Erlenmeyers de 2000mL observa-se na Figura 2 que o número máximo de células atingidas foi de $3,7 \times 10^7$ cel.mL⁻¹ e que a partir do quarto dia de cultivo foi atingido a população de 10^7 cel.mL⁻¹, obtendo uma fase log de duração de 4 dias, que corresponde ao máximo de crescimento das células.

No momento em que foi realizado o cultivo com uma concentração do rejeito da dessalinização superior a 25% percebe uma maior dificuldade no desenvolvimento das microalgas, como pode ser verificado na Figura 3, uma vez que o número máximo de células atingido foi de $1,3 \times 10^7$ cel.mL⁻¹ após nove dias de cultivo. Portanto, é possível desenvolver o cultivo da microalga em questão com um meio de cultura que contenha até 25% de rejeito líquido da dessalinização.

De acordo com Richter (2009) a condutividade depende da quantidade de matéria ionizável presente na água e, assim, é aproximadamente proporcional à quantidade de sólidos dissolvidos totais (SDT), podendo utilizar a condutividade como estimativa preliminar para determinar os SDT fazendo a multiplicação da condutividade por um valor constante de 0,65, obtendo desta forma os SDT, expresso em mg.L^{-1} . Assim, foram obtidos os SDT que estão apresentados na Tabela 1.

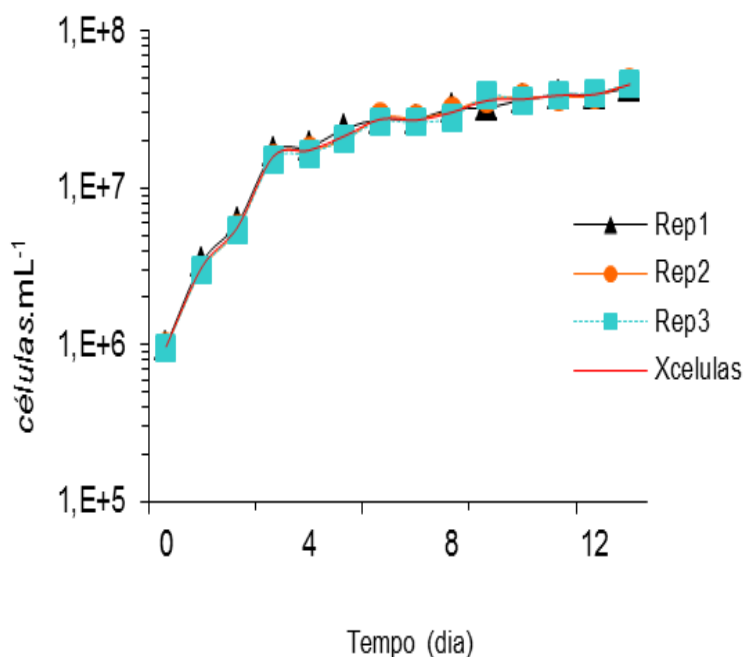


Figura 2 - Cultivo de *Chlorella vulgaris* em reatores de 2000mL com meio de cultura contendo 75% de BBM e 25% de rejeito da dessalinização.

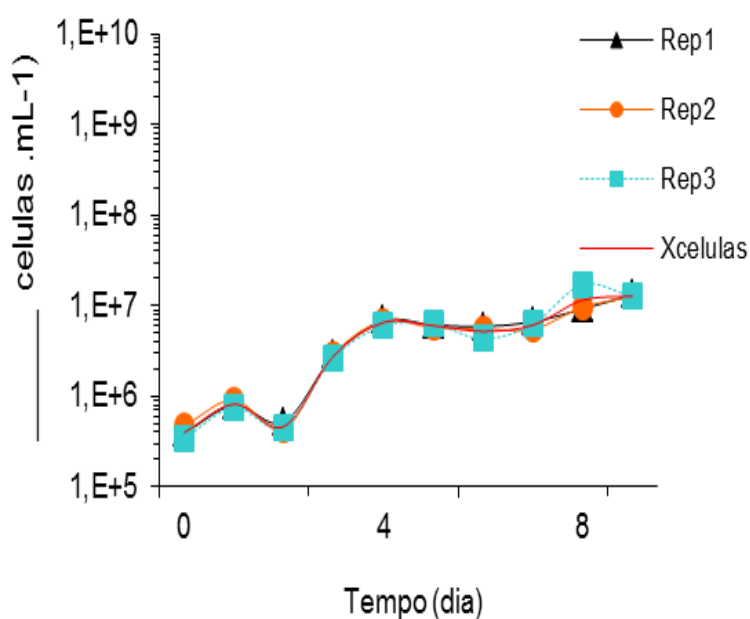


Figura 3 - Cultivo de *Chlorella vulgaris* em reatores de 2000mL com meio de cultura contendo 75% de BBM e 30% de rejeito da dessalinização.

A Tabela 1 apresenta também a concentração da biomassa seca, a produtividade média da biomassa em base seca e a condutividade do meio do cultivo após ter realizado as aclimações químicas com adição de concentrado, bem como o valor estimado do SDT.

Tabela 1 –Avaliação do desenvolvimento das microalgas para diferentes aclimações

Meio de cultura	Concentração média da biomassa (g.L ⁻¹)	Média da Produtividade, em peso seco (g.L ⁻¹ .dia)	Condutividade (μS.cm ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)
100% BBM	0,3792	0,095	995	646,75
75% BBM + 25% concentrado	0,3790	0,095	1622	1054,30
70% BBM + 30% concentrado	0,2546	0,037	1900	1235,00

Dessa forma, foi verificado que os valores de produtividade e concentração de biomassa estão abaixo da literatura, pois de acordo com Gouveia e Oliveira, 2009, a concentração média da *Chlorella vulgaris* é de 1,5g.L⁻¹ e a produtividade de 0,18g.L⁻¹, este fato pode ser explicado devido a dificuldade encontrada em separar a biomassa do meio de cultivo. É importante observar que o rendimento celular passa a sofrer um decaimento significativo, após adição de 30% de concentrado.

Verifica-se que quando utiliza o teor de 25% de concentrado ao meio de cultura que corresponde a um STD de 1054,30mg.L⁻¹, observa-se que a condutividade do meio de cultura aumenta aproximadamente em 47% em relação ao meio com apenas BBM, o que significa que a quantidade de sais eleva-se quase que 50% ao meio de cultivo. Por esta razão, é bastante difícil uma boa adaptação das células com teores de concentrado acima de 25% ao meio de cultura que possivelmente modifica o seu metabolismo com a diminuição na taxa de crescimento, justificando o baixo crescimento celular para teores superior a 25% de concentrado.

Para a biomassa seca foi obtido o valor de lipídios de 8,56% quando o cultivo é efetuado em meio BBM sem adição de resíduos líquidos, quando ocorre o estresse celular pelo aumento da salinidade através da adição de 25% do rejeito líquido da dessalinização que corresponde a condutividade do meio de 1655μS e sólidos dissolvidos totais de 1054,30 mg.L⁻¹, percebe-se um pequeno incremento no teor de total de lipídios que foi de 9,76%.

Costa et al (2006) em seus estudos obtiveram valores de lipídios inferiores alcançando 6,96% e 7,98% para *Chlorella vulgaris* e *Chlorella munitissima* respectivamente, cultivadas em meio Bristol's modificado (MBM). No entanto, Borghetti (2009) utilizando meio de cultura com 15% do resíduo líquido manupeira e 85% de água para o cultivo de *Chlorella munitissima* obteve um valor de lipídios superior atingindo um valor máximo de 11,08%.

Todavia, mesmo com o discreto aumento de lipídios na espécie em estudo, verifica-se que os valores ainda são extremamente baixos para produção de biodiesel, pois de acordo com a literatura para que ocorra viabilidade econômica para produção de biodiesel a biomassa seca da microalga deve ter elevado teor de lipídios superior a 50% (Chisti, 2007).

Visando implementar o aumento de lipídios das microalgas em estudo foi iniciado o cultivo heterotrófico com adição de glicerina sem submeter o cultivo a iluminação, os estudos preliminares apresentaram resultados razoáveis de adaptação do cultivo, pois, foi alcançado uma população de apenas 2,9 x10⁷ células.mL⁻¹ quando foi acrescentado 2% de glicerina ao meio de cultivo BBM conforme a apresentado na Figura 4. Porém, à medida que aumenta a concentração da fonte orgânica para 10% verificou-se que as células não apresentaram crescimento satisfatório, já que a densidade de celular máxima obtida foi na ordem de 3,2 x10⁶ células.mL⁻¹ apresentando rapidamente a fase de declínio como pode ser observado na Figura 5. Assim sendo, foi verificado que para esta cepa em estudo o cultivo heterotrófico compromete o desenvolvimento celular sendo mais favorável o cultivo autotrófico com a dição de resíduo líquido sem a presença de fonte orgânica para o crescimento da cepa *Chlorella vulgaris* que fez parte deste estudo, pois, a densidade celular foi bastante inferior que os valores obtidos durante o cultivo autotrófico que alcançou até 7,9x10⁷ cel.mL⁻¹.

No entanto, outros pesquisadores obtiveram resultados mais satisfatórios com o cultivo heterotrófico quando utilizam outras espécies da microalga *Chlorella* como foi o estudo com a *Chlorella protothecoides* obtendo um aumento de 40% no conteúdo de lipídio quando passou do cultivo autotrófico para o heterotrófico (MALCATA, 2011).

O mesmo ocorreu com a microalga *Chlorella protothecoides* que apresenta um maior teor de lipídios em sua composição celular tornando-se mais suscetível para a produção de biodiesel e com o cultivo em meio heterotrófico, essa espécie foi capaz de produzir quantidades de lipídios em torno de 50% do peso seco da biomassa (BASHAN et al., 2011).

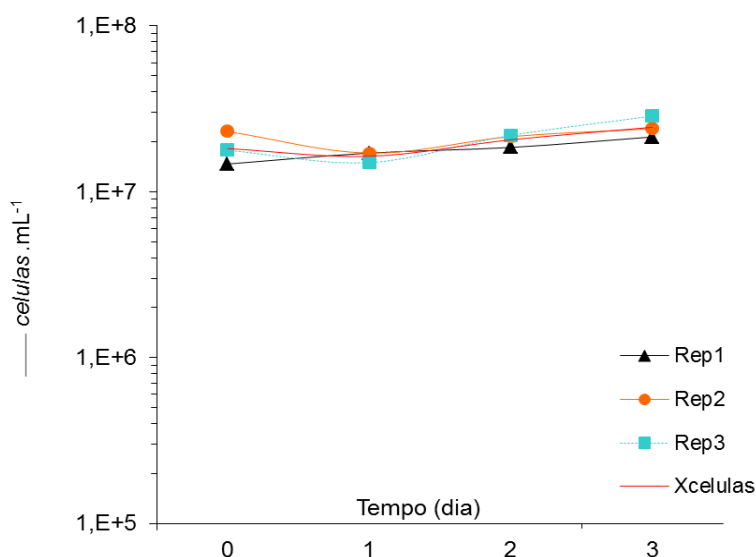


Figura 4 - Cultivo heterotrófico da *Chlorella vulgaris* em reatores de 2000mL em meio BBM com 2% de glicerina

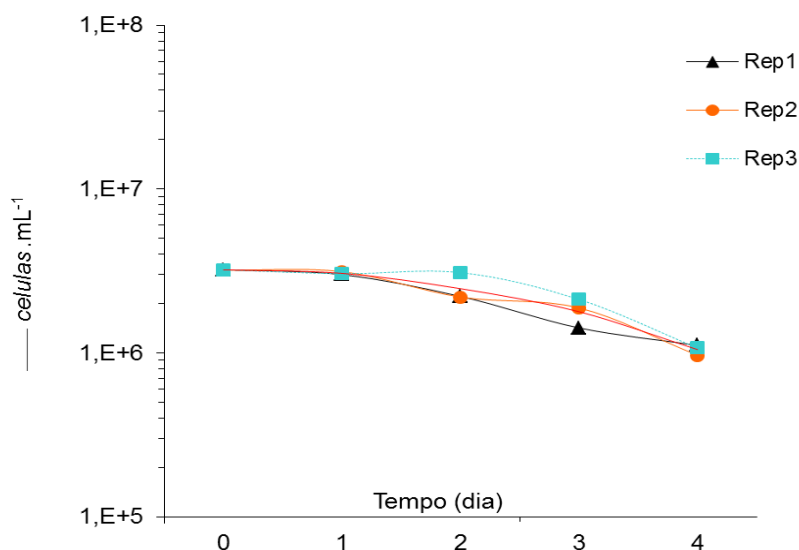


Figura 5 - Cultivo heterotrófico da *Chlorella vulgaris* em reatores de 2000mL em meio BBM com 10% de glicerina

CONCLUSÕES

1. Os teores de concentrado que melhor se adaptam ao cultivo da *Chlorella vulgaris* foram com valores inferiores ou igual a 25% do residuo líquido oriundo da dessalinização de águas salobras adicionado ao meio de cultivo.
2. A produtividade da *Chlorella vulgaris* com cultivo em fotobiorreatores utilizando apenas o meio de cultura BBM foi de $0,095\text{g.L}^{-1}.\text{dia}^{-1}$.
3. A produtividade da *Chlorella vulgaris* em cultivo em fotobiorreatores com adição de 25% de concentrado e 75% do meio de cultura BBM foi de $0,095\text{g.L}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, e com maior concentração de lipídios.
4. O cultivo heterotrófico por meio da adição de glicerina da *Chlorella vulgaris* não apresentou resultados satisfatórios obtendo a densidade celular inferior a cultivo autotrófico.
5. Com o aumento da adição da fonte orgânica a glicerina iniciou-se rapidamente a fase de declínio celular durante o cultivo heterotrófico.
6. O cultivo autotrófico para cepa *Chlorella vulgaris* utilizada neste estudo mostrou-se melhor condições de desenvolvimento celular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BASHAN, Y. et al. Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products. Water research. v.45, n. 1, p 11-36, 2011.
2. BORGHETTI, I.V., Avaliação do crescimento da Microalga *Chlorella minutissima* em meio de cultura com diferentes concentrações de manipueira. 2010. 202 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
3. BOROWITZKA, M.A. Pharmaceuticals and agrochemicals from microalgae. Chemicals from algae. Washington DC: Cohen, Z., 1999. p.313-352.
4. BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA, Informação tecnológica plano nacional de agroenergia -2006-2011, 114p, 2010.
5. CARVALHO, R.M.J., Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ (Dissertação de mestrado), 2010, 99p, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
6. CHISTI, Y. , Biodiesel from microalgae beats bioethanol. Trends in Biotechnol. v.26, n. 3, p. 126-131, 2007.
7. GOUVEIA, L.; OLIVEIRA, A.C. Microalgae as a raw material for biofuels production, J. Ind Microbiol Biotechnol, v.36, p. 269-274, 2009.
8. HUANG, G. et al. Biodiesel production by microalgal biotechnology, Applied Energy, v. 87, p. 38-46, 2010.
9. MALCATA, X.F.; GUEDES, A.C.; AMARO, H.M. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel, Applied Energy, v. 88, p. 3402-3410, 2011.
10. PHUKAN, M.M.; CHUTIA, S.R.; KONWAR, K.B.; KATAKI, R. Microalga e *Chlorella* as a potential bio-energy feedstock, Applied Energy, 2011.
11. RICHTER, C.A. Água métodos e tecnologia de tratamento. Editora Blucher. São Paulo. 337p, 2009.
12. SANTOS, L.B.G.; CALAZANS, N.K.F.; MARINHO, Y.F.; SANTOS, A.P.F.; NASCIMENTO, R.D.M.; VASCONCELOS, R.F.L.; MACÊDO, D.M.; GALVEZ, A.O. Influência do fotoperíodo no crescimento da *Chlorella vulgaris* (Chlorophyceae) visando produção de biodiesel. p.3, 2010.