



EFEITO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE PARÂMETROS MORFOLÓGICOS EM POPULAÇÕES DE ESPÉCIES FITOPLANCTÔNICAS

Jeniffer Gomes Brito^{1*}, Karine Borges Machado², João Carlos Nabout³

¹ Graduanda em Ciências Biológicas – Licenciatura, bolsista do programa PIBIC na Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo (IC)

² Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, bolsista do programa CAPES na Universidade Federal de Goiás (PG)

³ Professor Doutor na Universidade Estadual de Goiás – Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo (PQ)

britogomeaj@gmail.com

UEG - BR-153, 3105 - Fazenda Barreiro do Meio, Anápolis - GO, 75132-903

UFG - Av. Esperança, s/n - Chácaras de Recreio Samambaia, Goiânia - GO, 74690-900

Resumo: Este trabalho apresenta a análise de algumas espécies de fitoplâncton que foram coletadas em um lago oligotrófico. Nesta análise observa-se a reação morfológica dos indivíduos em relação a um experimento de aumento da temperatura, feito em ambientes de aquários controlados em laboratório. O estudo leva em consideração os fatores encontrados na literatura, de que esses organismos funcionam como excelentes bioindicadores dos fatores de mudanças climáticas. A hipótese é de que com o aumento da temperatura as espécies de fitoplâncton alterem o tamanho de suas células, o que é avaliado através do cálculo de biovolume individual. A importância desse trabalho se deve a crescente procura de ferramentas que auxiliem no processo de conhecimento sobre os ecossistemas aquáticos e quais são os prejuízos a esses ambientes devido ao aquecimento global. Acredita-se que obtendo mais conhecimento há a contribuição para se adquirir maior potencial de ação referente a prevenções de futuros desastres ecológicos.

Palavras-chave: Fitoplâncton. Morfologia. Biovolume. Mudanças Climáticas. *Staurastrum*

Introdução

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) prevê que as mudanças climáticas registradas atualmente irão alterar a frequência da precipitação e a temperatura da Terra em cenários climáticos futuros (IPCC, 2014). Alguns impactos são esperados para as populações humanas, como por exemplo, onde acontecem interferências de graves florações das cianobactérias, sendo custeados caros tratamentos de água pelas indústrias (ELLIOTT, J. A AND MAY L, 2008).

REALIZAÇÃO

PRG
Pró-Reitoria de
Graduação

PRP
Pró-Reitoria de
Pesquisa e
Pós-Graduação

PRE
Pró-Reitoria de
Extensão, Cultura e
Assuntos Estudantis



Universidade
Estadual de Goiás



Sabe-se que mudanças incontestáveis ocorreram no percurso da humanidade e que estas são o retrato de um crescente manuseio errôneo dos recursos naturais, dentre esses, destaca-se os recursos hídricos. Sendo de suma importância os estudos acerca dessa temática em razão da indispensabilidade da água doce para os seres humanos, torna-se então interessante focar no desenvolvimento de metodologias de diagnósticos eficientes, que corroborem na resolução desses problemas relacionados ao uso desses recursos (BUSS, D.F. et al, 2003), principalmente diante de um cenário de mudanças climáticas. As mudanças climáticas, sejam elas naturais ou antrópicas, suscitam uma grande preocupação e demandam a procura de informações no meio científico, político, midiático e na população como um todo (MARENGO, 2008).

Outros efeitos na biodiversidade causados por mudanças climáticas podem ser a capacidade de diminuir a diversidade genética de populações, além de promover a desarmonia entre as necessidades alimentares e o habitat das espécies (BELLARD, C. et al, 2012). O fitoplâncton é um produtor primário, com necessidades fisiológicas que respondem rapidamente a mudanças no ambiente. (CARVALHO, M. C. 2003). Esses microorganismos são agentes de auxílio na detecção do panorama que o aquecimento global traz, no sentido de que sua composição, e a variação da mesma, está intimamente ligada às mudanças físico-químicas do ambiente onde vivem (AMENGUAL-MORRO, C., NIELL, G.M., MARTINEZ-TABERNER, A., 2011).

A vida de um indivíduo fitoplanctônico é relativamente curta, isso torna possível uma rápida observação de mudanças em suas características funcionais, tais como aumento ou diminuição do tamanho de suas células, comumente influenciadas por condições ambientais sutis, tais como alterações de temperatura (DONG, J. et al, 2015). Devido a essa contribuição rápida e eficiente, é usado frequentemente como bioindicador nos trabalhos voltados ao monitoramento das dinâmicas de estrutura do fitoplâncton, que são responsivas às mudanças climáticas. Por exemplo, diferindo-se nas densidades médias dos organismos dependendo do clima predominante nos reservatórios (CARVALHO, M.C. 2003).

A abordagem baseada em traços funcionais tem atraído o interesse dos ecólogos, pois afetam a aptidão das espécies, podendo afetar a morfologia (forma, tamanho), a fisiologia (concentração, composição, fixação de nitrogênio, produção de toxinas) o comportamento (mixotrofia e motilidade) e a história de vida (tipo de reprodução, estágios de dormência) (BRASIL, J. & HUSZAR, V. L. M. 2011). Estudos recentes têm demonstrado que o aquecimento global pode afetar essas características, como por exemplo, favorecendo células com tamanhos menores (BURMAN & HILLEBRAND et al. 2011, SOMMER & LEWANDOWSKA 2011, YVON-DUROCHER et al. 2011, KRATINA et al. 2012, SOMMER et al. 2015). Isso ocorre pois células pequenas e esféricas são metabolicamente mais ativas, crescem, reproduzem e utilizam os recursos de uma forma mais rápida que as células maiores (BRASIL & HUSZAR, 2011). Como o aquecimento geralmente intensifica o metabolismo celular, grupos com menor biovolume podem ser favorecidos em um cenário de aquecimento global.

Tais alterações podem provocar uma redução da biodiversidade local pelo aumento das taxas metabólicas dos indivíduos, o que causaria uma exclusão dos organismos mal adaptados à competição de recursos (YVON-DUROCHER, G. et AL, 2015). Estudos atuais desenvolveram a avaliação do efeito do aquecimento sobre o



tamanho dos organismos em nível de comunidades, como por exemplo experimentos com microorganismos aquáticos mostraram que comunidades inteiras foram dominadas por bactérias menores, justamente depois de terem sido aquecidas (DAUFRESNE, M. et al. 2009). Porém, grande parte das pesquisas, não levam em consideração o tamanho da população, a taxa de crescimento populacional ou o risco de extinção em função do clima (McLEAN, N. et al, 2016). No entanto, prever como essas alterações podem ocorrer em nível de população também é importante para ajudar a prever e mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Material e Métodos

As amostras utilizadas neste projeto são provenientes de um experimento realizado em abril de 2016. O experimento foi composto por 10 microcosmos distribuídos aleatoriamente em 02 tratamentos de temperatura, ou seja, 05 réplicas para cada tratamento. A temperatura controle (24°C) correspondeu à temperatura média atual, já o tratamento aquecido representou um cenário pessimista de aquecimento futuro + 100% (32°C). Essas estimativas foram obtidas através do Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás e conforme as previsões propostas pelo Modelo de Circulação Climática Global CCSM.

Durante o experimento, um dos aquecedores do tratamento controle apresentou falhas em seu funcionamento. Assim, esse aquário foi excluído de todas as futuras análises. Cada microcosmo foi representado por um aquário retangular de vidro com capacidade para 25 litros de água, aquecedores elétricos com termostato (aquecedor de aquário modelo Roxin HT 1300 - 25 Watts) e bombas de circulação foram utilizados para aquecer as unidades experimentais, para evitar a sedimentação das espécies ou ainda a estratificação na coluna de água, respectivamente.

No início do experimento, cada aquário foi preenchido com 18,2 litros de água provenientes de uma lagoa oligo-mesotrófica, situada na trilha ecológica do Tatu, da Universidade estadual de Goiás, Câmpus Anápolis. Para evitar o esgotamento de nutrientes foram adicionados a cada quatro dias nitrato de sódio (NaNO₃) e fosfato de potássio (KH₂PO₄) em concentrações semelhantes às encontradas na lagoa. O experimento teve duração de 20 dias. As variáveis limnológicas pH, condutividade e oxigênio dissolvido foram mensuradas antes da obtenção das amostras. As concentrações de clorofila-a e as amostras fitoplanctônicas foram coletadas no final do experimento.

Seleção das espécies

Para este estudo, foram selecionadas espécies que ocorreram simultaneamente nos dois cenários de aquecimento, nomeado tratamento Controle e tratamento temperatura Pessimista-Pessimista. São elas, *Echinosphaeridium*

REALIZAÇÃO





nordstedtii, Eremosphaera sp1, Monoraphidium contortum, Monoraphidium kormakovae, Dictyosphaerium pulchellum, Tetraedron minimum, Chryptomonas pierenoidifera, Synechococcus sp1, Limnithrix mirabilis, Planktolyngbia limnetica, Pseudanabaena limnetica, Peridinium volzii, Closterium acutum, Closterium sp1, Cosmarium sp3, Pleurotaenium minutum, Staurodesmus dejectus, Staurastrum leptacanthum e Staurastrum elegantissimum.

As dimensões lineares como diâmetro, altura e comprimento das células foram mensuradas através do microscópio óptico com aumento de 400X, para o maior número de indivíduos encontrado em cada espécie. Essas estimativas foram utilizadas para calcular o biovolume dos indivíduos, seguindo as equações propostas em Hillebrand et al. (1999). Ao todo, sucederam avaliações de em média 10 indivíduos de cada espécie nos dois tratamentos.

Análise de dados

Para avaliar se existem diferenças nas concentrações de clorofila-a e no biovolume populacional de cada espécie de acordo com o tratamento de temperatura, foi utilizado o teste t para amostras independentes. Nesta análise, os valores de clorofila-a e biovolume representaram a variável resposta quantitativa enquanto os níveis de temperatura, a variável preditora categórica. Foi realizado um teste t para cada espécie avaliada. O valor de significância foi estabelecido de acordo com critério de Bonferroni para múltiplos testes (α / número de testes, ver Legendre & Legendre 1998), assim foram considerados significativos valores de $P < 0,002$. Todas as análises foram realizadas no programa estatístico 'R', que geraram os dados da tabela a seguir.

Resultados e Discussão

De modo geral, os valores de oxigênio dissolvido, condutividade e pH foram semelhantes entre os dois tratamentos (tabela 1). Não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de clorofila-a entre as diferentes temperaturas ($t(7) = -1.11$; $P = 0,30$).

Tabela 1 – Média e desvio padrão para as variáveis limnológicas mensuradas nos dois tratamentos de temperatura. C = Controle; PP = Pessimista Pessimista

	C		PP	
	Média (µm)	Desvio padrão (±)	Média (µm)	Desvio padrão (±)
Condutividade	12,17	3,77	13.96	1.88
pH	7.12	0.30	7.03	0.07
Oxigênio dissolvido	7.35	0.15	6.74	0.13



As dezenove espécies selecionadas para este estudo estão distribuídas entre as famílias: Charophyceae, Desmidiaceae, Selenastraceae, Dictyosphaeriaceae, Chlorococcaceae, Cryptomonadaceae, Synechococcaceae, Pseudanabaenaceae, Dinophyceae e Closteriaceae. De modo geral, os indivíduos dentro de cada espécie não apresentaram diferenças significativas no valor de biovolume entre os dois tratamentos (tabela 1). A única exceção ocorreu para a espécie *Staurostrum leptacanthum* que apresentou um maior biovolume para o tratamento aquecido (tabela 2).

Tabela 2 – Valores de T, P, e média do biovolume para os indivíduos de cada espécie comparados entre os tratamentos de temperatura.

Espécies	GL	T	P	Média (µm)	C Média (µm)	PP
<i>Cryptomonas pierenoidifera</i>	1,072	0,128	0,917	58,613	53,118	
<i>Closterium acutum</i>	13,832	0,819	0,426	60,235	42,259	
<i>Closterium sp1</i>	4,947	-4,020	0,010	179,294	298,648	
<i>Cosmarium sp3</i>	2,055	-1,031	0,408	2170,554	2897,871	
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	1,356	0,262	0,826	37,68	29,359	
<i>Echinosphaeridium n1</i>	17,692	1,486	0,154	545,732	409,155	
<i>Eremosphaera sp1</i>	16,966	-1,392	0,181	67,248	99,244	
<i>Limnothrix mirabilis</i>	9,005	-0,962	0,361	906933,9	21140230	
<i>Monoraphidium contortum</i>	9	1,405	0,193	1,203	1,046	
<i>Monoraphidium Kormakovae</i>	6,519	2,556	0,040	7,326	4,579	
<i>Peridinium volzii</i>	10,881	1,092	0,298	49,585	37,771	
<i>Planktolyngbia limnetica</i>	17,978	2,670	0,015	124,815	63,643	
<i>Pleurotaenium minutum</i>	10,254	-0,730	0,481	12925,48	17492,04	



<i>Pseudanabaena limnetica</i>	9,057	2,026	0,073	235961,7	9178,298
<i>Staurastrum elegantissimum</i>	3,555	2,456	0,077	19283,58	11630,56
<i>Staurastrum leptacanthum</i>	9,009	-7,893	<0,0002	36256,53	2109311
<i>Staurodesmus dejectus</i>	6,190	-1,872	0,108	7674,788	48979,81
<i>Synechococcus sp1</i>	9	1	0,343	1,779	1,046
<i>Tetraedron minimum</i>	17,631	1,228	0,235	23	19,15

Neste estudo foi avaliado o efeito do aquecimento sobre o biovolume de indivíduos fitoplanctônicos em populações de diferentes espécies e constatou-se que o incremento da temperatura não altera o biovolume populacional das espécies avaliadas. Para que haja uma resposta em nível populacional existem processos que ocorrem, tal como a mudança do clima, impactos nas características da espécie estudada e esse impacto deveria promover uma mudança no biovolume de uma comunidade (McLEAN, N. et al, 2016). Quando a comunidade fitoplanctônica apresenta mudança na distribuição de biovolume, isso deve-se ao fato da densidade e o biovolume estarem variando similarmente (LEHMAN, 2000).

A única exceção foi encontrada para indivíduos da espécie *Staurastrum leptacanthum*, cujo biovolume foi maior nos tratamentos aquecidos. Isso porque os indivíduos dessa ordem são perfeitamente adaptados à ambientes agitados, com temperaturas entre 25°C e 30°C (COESEL and WANDENAAR, 1990) e, mais notadamente, houve um estudo em que a espécie *Staurastrum* apresentou picos de alta abundância em sua ocorrência nos períodos de verão (COESEL and KOOIJMAN-VAN-BLOKLAND, 1991).

Análises sobre a concentração de CO₂ com interação de mudanças na temperatura mostram resultados de que em baixa temperatura o crescimento da comunidade é contínuo, porém, em alta temperatura o crescimento desacelera (SOMMER, U. et al, 2015). Em vista disso, o estudo vai de encontro com a ideia de que os indivíduos que se adaptam ao aumento da temperatura seguem um padrão de diminuição do seu biovolume, para que assim possam administrar melhor o seu metabolismo dentro de um organismo com baixa necessidade energética.



Os parâmetros estudados sugerem que, indivíduos que se deparam com uma mudança climática em seu ambiente, forçosamente se ajustem ao comportamento mais fácil, que é o de encolher sua morfologia para serem mais capazes de sobreviver à mutação daquela atmosfera. Contudo, a espécie *S. leptacanthum* demonstra que já havendo uma vantagem precedente diante de dadas condições a adaptação é inversa, obtendo um aumento de sua morfologia e beneficiando-se sobre outras espécies que competem nesse ecossistema.

Considerações Finais

As mudanças climáticas não afetam o biovolume em nível populacional, porém houve indícios com os resultados encontrados de que essas mesmas mudanças emergem questões sobre uma maior competitividade, justamente pelo fato da espécie ter demonstrado um aumento de seu tamanho e isso poder favorecer-la em relação as espécies que compartilham desse mesmo ambiente. Direcionando-se a uma visão comportamental sobre os estudos de mudanças morfológicas das populações fitoplantônicas, pode-se construir uma hipótese de que havendo tais alterações, tanto climáticas, quanto em outros níveis, poderá haver também uma mudança organizacional dos ambientes tróficos.

Agradecimentos

Ao programa BIC/UEG - Bolsas de Iniciação Científica da UEG, pelo auxílio financeiro concedido a discente Jeniffer Gomes Brito, apoiando o desenvolvimento do projeto. O docente João Carlos Nabout agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa. Karine Borges Machado agradece a CAPES pela bolsa de doutorado.

Referências

AMENGUAL-MORRO, C., NIELL, G.M., MARTINEZ-TABERNER, A. Phytoplankton as bioindicator for waste stabilization ponds. *Journal of Environmental Management*, 1 – 6, 2011.

BWLLARD, C., BERTELSMEIER, C., LEADLEY, P., THUILLER, W. and COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, vol. 15, 365 – 377, 2012.



BRASIL, J. & HUSZAR, V.L.M. The Role of the Functional Traits on the Phytoplankton Ecology in Inland Waters. *Oecologia Australis*, vol.15, no.4: 799-834, 2011.

BUSS, D.F. BAPTISTA, D.F. & NESSIMIAN, J.L. Conceptual basis for the application of biomonitoring on stream water quality programs. *Cad. Saúde Pública*, vol.19, no.2: 465-473, Rio de Janeiro, 2003.

CARVALHO, M.C. Comunidade fitoplanctônica como instrumento de biomonitoramento em reservatório do Estado de São Paulo. São Paulo (BR); 2003. [Tese de Doutorado – Faculdade de Saúde Pública da USP].

COESEL, P. F. and BROKLAND, H. KV. Distribution and seasonality of desmids in the Maarsseveen Lakes area. *Netherland Journal of Aquatic Ecology*, vol. 28, 19 – 24, 1994.

COESEL, P. F. M. and WARDENAAR, K. Growth responses of planktonic desmid species in a temperature – light gradient. *Freshwater Biology*, vol. 23, 551 – 560, 1990.

DAUFRESNE, M., LENGFELLNER, K. and SOMMER, U. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *PNAS*, vol. 106, no. 31, August 4, 2009.

DONG, J., ZHOU, W., SONG, L., LI, G. Responses of phytoplankton functional groups to simulated winter warming. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 51, 199–210, 2015.

ELLIOT, J. A. and MAY, L. The sensitivity of phytoplankton in Loch Leven (U.K) to changes in nutrient load and water temperature. *Freshwater Biology*, 53, 32 – 41, 2008.

FINKEL, Z. V. et al. Phytoplankton in a changing world: cell size and Elemental stoichiometry. *Journal of Plankton Research*, vol 60, 1 – 19, 2009.

HILLEBRAND H., DÜRSELEN C. D., KIRSCHTEL D., POLLINGHER U., ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35, 403–424, 1999.

IPCC. 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of IPCC. Geneva, Switzerland, 151 pp.

KREMER, C.T., THOMAS, M. K., LITCHMAN, E. Temperature and size-scaling of phytoplankton population growth rates: Reconciling the Eppley curve and the metabolic theory of ecology. *Limnology and Oceanography*, 2017.

LEHMAN, P. W. The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco Bay Estuary. *Limnology and Oceanography*, vol. 45(3), 580 – 590, 2000.

MARENGO, A.J. Água e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, vol.22, no. 63, São Paulo, 2008.

McLEAN, N., LAWSON, C.R., LEECH, D.I., and VAN de POL, M. Predicting when climate-driven phenotypic change affects population dynamics. *Ecology Letters*, vol. 19, 595–608, 2016.



MOURA, M. E. Effects of global climate change on chlorophyll-a concentrations in a tropical aquatic system during a cyanobacterial bloom: a microcosm study. Rev. Ambient. Água, vol.12, no.3, Taubaté, 2017. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2014>

PANDFIELD, D., YVON-DUROCHER, G., BUCKLING, A., JENNINGS, S. YVON-DUROCHER, G. Rapid evolution of metabolic traits explains thermal adaptation in phytoplankton. Ecology Letters, 2015.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, USP, Brasil, vol. 8, 63 – 74, 1994.

SOMMER, U., PAUL, C., MOUSTAKA-GOUNI, M. Warming and ocean acidification effects on phytoplankton – From species shifts to size shifts within species in a mesocosm experiment. PLoS ONE, vol. 10(5), 2015.

YVON-DUROCHER, G., ALLEN, A.P., CELLAMARE, M., DOSSENA, M., GASTON, K.J., LEITAO, M., et al. Five Years of Experimental Warming Increases the Biodiversity and Productivity of Phytoplankton. December, 2015. PLoSBiol13 (12):e1002324.doi:10.1371/journal.pbio.1002324

YVON-DUROCHER, G., Schaum, C. E. and TRIMMER, M. The temperature dependence of phytoplankton stoichiometry: Investigating the roles of species sorting and local adaptation. Frontiers in Microbiology, vol. 8, 2017.

ZAR J. H. Biostatistical Analysis. Pearson Print Hall, New Jersey, 2010.