

Luis Fabiano Baldasso

**“Deslocamento Seletivo Induzido do Zooplâncton Marinho em
Resposta a Percepção Espectral da Luz Visível”**

São Paulo

Novembro de 2015

Luis Fabiano Baldasso

**“Deslocamento Seletivo Induzido do Zooplâncton Marinho em
Resposta a Percepção Espectral da Luz Visível”**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica

Universidade de São Paulo — USP

Instituto Oceanográfico

Orientador: Prof. Dr. Rubens Mendes Lopes

São Paulo

Novembro de 2015

Luis Fabiano Baldasso

**“Deslocamento Seletivo Induzido do Zooplâncton Marinho em
Resposta a Percepção Espectral da Luz Visível”**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Biológica

Versão Corrigida

Julgada em 18/02/2016 por

Prof. Dr. Rubens M. Lopes

Conceito: Aprovado

Prof(a). Dr(a). Odete Rocha

Conceito: Aprovado

Prof. Dr. Frederico Brandini

Conceito: Aprovado

São Paulo
Novembro de 2015

Este trabalho dedico aos meus pais e a todas as outras pessoas que, como nós, deram o primeiro passo na fé, sem ver a escada inteira, apenas deram o primeiro passo na fé¹.

Pois compartilhamos que o verdadeiro princípio pode ser resumido em três palavras:

Pensamentos viram coisas ² e por isso mesmo acreditamos que o otimismo seja a verdadeira coragem moral de um homem ³.

¹ "Dê o primeiro passo na fé. Você não precisa ver a escada inteira. Apenas dê o primeiro passo."

Martin Luther King, Jr

² **Mike Dooley**

³ **Sir Ernest Shackleton**

Agradecimentos

Agradeço especialmente ao meu orientador Prof. Dr. Rubens Mendes Lopes pelas oportunidades e contribuições nesta minha caminhada.

Agradeço a Dra. Linda Waters, Prof. Dr. Paulo Yukio, Dr. Arthur Güth e ao Dr. André Rosch pelas contribuições essenciais que conduziram as principais ideias deste trabalho.

Agradeço a Maysa Pompeu, Prof. Dr. Alexandre Turra, Dr. Fernando Gomez, Prof. Dr. Júlio Singer, Dr. Eliardo Costa e Prof. Dr. Daniel Lemos pelas contribuições técnicas e apoio na execução, redação ou solução dos problemas referentes a este estudo.

Agradeço a dedicação dos meus amigos Maía Medeiros, Leandro Tíclia e Catarina Marcolin pela contribuição amiga e essencial nos momentos de maior dificuldade.

Meu agradecimento especial a Jonathan Almeida e Marta Stephan sem os quais a execução das tarefas desta pesquisa seria impossível.

Agradeço ao pessoal de apoio da base de pesquisa Clarimundo de Jesus em Ubatuba e da secretária de Pós Graduação do IOUSP que sempre foram muito cordiais.

Nada disso seria possível se não fosse a presença de Deus na minha vida nos momentos de decisão através de sua sabedoria emanada pelos fatos do acaso.

Agradeço incondicionalmente aos meus pais, Therezinha e José Carlos e a minha irmã Andreia pelo amor, apoio e paciência.

Aos amigos Inês Vianna, Marcelo Telles e Admilson Alves minha eterna gratidão por sustentar meus devaneios e perdoar minhas ausências.

“Siga seu entusiasmo e o Universo abrirá portas onde antes só havia paredes.”

Joseph John Campbell

“Apenas a mente que coloca uma questão fundamental e que é capaz de perseguir essa questão até o fim – apenas uma mente desse tipo é que pode descobrir o que é a verdade.”

Jiddu Krishnamurti, in 'Talks and Dialogues'

Resumo

A distribuição da biomassa do plâncton é a chave para o entendimento de vários processos inclusive a compreensão da migração vertical diurna. Entender a fototaxia positiva, como responsável por esta distribuição, com enfoque na qualidade espectral da luz é um campo vasto a ser explorado. Investigamos a percepção espectral luminosa do mesozooplâncton marinho através da quantificação de capturas em uma nova arte de coleta com armadilha de luz. Estas armadilhas foram testadas com tratamentos luminosos na cor vermelha, verde, azul e branco. Elas foram fundeadas na enseada do Flamengo e de Ubatuba (Ubatuba-SP) no fim do verão e outono de 2015 durante a lua cheia e lua nova em três noites consecutivas. Foram avaliadas as associações de exposição (fase lunar, local de coleta e esquema de randomização dos tratamentos) baseada nos dados de captura através de gráficos NMDS, teste PERMANOVA e tabelas de contingência de Chi-quadrado. Os táxons mais abundantes nas capturas foram dois gêneros de copépodes Calanoida (*Acartia* sp e *Temora* sp) seguidos pela família Podonidae e Brachyura. Demonstramos que os organismos capturados do zooplâncton marinho expressaram seleção espectral induzidos pela fototaxia positiva. O tratamento luminoso verde exerceu maior atração nos organismos em detrimento ao tratamento luminoso vermelho. A influência das fases lunares ou dos esquemas de randomização dos tratamentos luminosos dependem da sensibilidade espectral de cada táxon. Porém local não implicou em diferenças entre as coletas. Estas particularidades da fototaxia positiva seletiva podem explicar a variação vertical da biomassa do zooplâncton marinho na coluna d'água inclusive no entendimento da MVD.

Palavras-chave: Fototaxia positiva seletiva. qualidade espectral da luz. migração vertical diurna. armadilha de luz.

Abstract

The distribution of plankton biomass is the key for understanding many processes including diel vertical migration (DVM). Understand the positive phototaxis, as responsible for this distribution, with a focus on spectral quality of light is a vast field to be explored. We investigate the spectral light perception of the marine mesozooplankton through quantification of catches in a new art with light trap. These traps were tested with light treatments in red, green, blue and white. They were anchored in the Flamengo and Ubatuba bay (Ubatuba-SP) in late summer and autumn of 2015 during the full moon and new moon on three consecutive nights. Exposure associations were evaluated (lunar phase, site and treatment randomization scheme) based on the data capture through NMDS graphics, PERMANOVA test and Chi-square contingency tables. Most abundant taxa caught were two kinds of copepods Calanoida (*Acartia sp* and *Temora sp*) followed by Podonidae and Brachyura. We have demonstrated that the captured marine zooplankton showed spectral selection induced by positive phototaxis. The green light treatment exerted biggest attraction in organisms over the red light treatment. The influence of lunar phases or randomization schemes of bright treatments depend on the spectral sensitivity of each taxon. But location did not result in differences between collections. These specifics of selective phototaxis may explain the vertical variation of marine zooplankton biomass in water column including the understanding of DVM.

Keywords: Selective positive phototaxis. spectral quality of light. diel vertical migration. light trap.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Comparação da penetração luminosa em oceano aberto e em regiões costeiras	3
Figura 2 – Atenuação das componentes do espectro luminoso	4
Figura 3 – Ilustração da migração vertical	5
Figura 4 – Locais de coleta do experimento com armadilha de luz	11
Figura 5 – Desenho técnico da armadilha de luz espectral	16
Figura 6 – Emissão espectral das microunidades de LED RGB	18
Figura 7 – Transmitância típica dos filtros ópticos de cor	18
Figura 8 – Circuito eletrônico de controle da intensidade luminosa	19
Figura 9 – Esquema de randomização dos tratamentos luminosos	20
Figura 10 – Preparação e escaneamento das amostras no Zooscan	23
Figura 11 – Organismos totais capturados	31
Figura 12 – NMDS por captura de <i>Acartia</i> sp	33
Figura 13 – NMDS por captura de <i>Temora</i> sp	34
Figura 14 – NMDS por captura de Podonidae	36
Figura 15 – NMDS por captura de Monstrilloida	38
Figura 16 – NMDS por captura de <i>Oncaea</i> sp	40
Figura 17 – NMDS por captura de <i>Copilia</i> sp	42
Figura 18 – NMDS por captura de <i>Penilia</i> sp	43
Figura 19 – NMDS por captura de Harpacticoida	45
Figura 20 – NMDS por captura de Chaetognatha	47
Figura 21 – NMDS por captura de Nauplio	49

Figura 22 – NMDS por captura de Brachyura (zoea)	52
Figura 23 – NMDS por captura de Brachyura (megalopa)	53
Figura 24 – NMDS por captura de Caridea	55
Figura 25 – NMDS por captura de Cirripedia	57
Figura 26 – NMDS por captura de Polychaeta	59
Figura 27 – NMDS por captura de <i>Lucifer</i> sp	61
Figura 28 – NMDS dos controles	63
Figura 29 – Evolução dos órgãos fotossensores e a formação da imagem	67
Figura 30 – Evolução dos órgãos fotossensores e a percepção da cor	68
Figura 31 – Estudo teórico da percepção visual dos organismos	70

Lista de tabelas

Tabela 1 – Informações astronômicas e cronológicas das coletas	14
Tabela 2 – Iluminância comparativa entre várias situações naturais e artificiais . .	15
Tabela 3 – Resumo do esforço amostral das coletas	29
Tabela 4 – Síntese taxonômica dos organismos capturados	30
Tabela 5 – Dados ambientais da Enseada do Flamengo e da Enseada de Ubatuba .	32
Tabela 6 – PERMANOVA para capturas de <i>Acartia</i> sp	32
Tabela 7 – χ^2 para capturas de <i>Acartia</i> sp	33
Tabela 8 – PERMANOVA para capturas de <i>Temora</i> sp	35
Tabela 9 – χ^2 para capturas de <i>Temora</i> sp	35
Tabela 10 – PERMANOVA para capturas de Podonidae	37
Tabela 11 – χ^2 para capturas de Podonidae	37
Tabela 12 – PERMANOVA para capturas de Monstrilloida	39
Tabela 13 – χ^2 para capturas de Monstrilloida	39
Tabela 14 – PERMANOVA para capturas de <i>Oncaea</i> sp	41
Tabela 15 – χ^2 para capturas de <i>Oncaea</i> sp	41
Tabela 16 – PERMANOVA para capturas de <i>Copilia</i> sp	42
Tabela 17 – χ^2 para capturas de <i>Copilia</i> sp	43
Tabela 18 – PERMANOVA para capturas de <i>Penilia</i> sp	44
Tabela 19 – χ^2 para capturas de <i>Penilia</i> sp	44
Tabela 20 – PERMANOVA para capturas de Harpaticoida	46
Tabela 21 – χ^2 para capturas de Harpaticoida	46
Tabela 22 – PERMANOVA para capturas de Chaetognatha	47

Tabela 23 – χ^2 para capturas de Chaetognatha	48
Tabela 24 – PERMANOVA para capturas de Nauplio	48
Tabela 25 – χ^2 para capturas de Nauplio	49
Tabela 26 – PERMANOVA para capturas de Brachyura (zoea)	51
Tabela 27 – χ^2 para capturas de Brachyura (zoea)	51
Tabela 28 – PERMANOVA para capturas de Brachyura (megalopa)	54
Tabela 29 – χ^2 para capturas de Brachyura (megalopa)	54
Tabela 30 – PERMANOVA para capturas de Caridea	56
Tabela 31 – χ^2 para capturas de Caridea	56
Tabela 32 – PERMANOVA para capturas de Cirripedia	58
Tabela 33 – χ^2 para capturas de Cirripedia	58
Tabela 34 – PERMANOVA para capturas de Polychaeta	60
Tabela 35 – χ^2 para capturas de Polychaeta	60
Tabela 36 – PERMANOVA para capturas de <i>Lucifer</i> sp	61
Tabela 37 – χ^2 para capturas de <i>Lucifer</i>	62
Tabela 38 – PERMANOVA para capturas do controle	62
Tabela 39 – Capturas dos Controles por táxon	63
Tabela 40 – Dados geográficos das Coletas	91

Lista de abreviaturas e siglas

MVD	Migração vertical diurna
LED	Diodo emissor de luz do inglês <i>Light-emitting diode</i>
LED RGB	Diodo emissor de luz com microunidades que emitem luz no espectro do vermelho (R), verde (G) e azul(B). Com estas combinações de luz é possível reproduzir qualquer outra luz colorida
R	Radiação eletromagnética na faixa da luz visível predominantemente na cor vermelha entre $620 < \lambda < 645 \text{ nm}$ do inglês <i>RED</i>
G	Radiação eletromagnética na faixa da luz visível predominantemente na cor verde entre $520 < \lambda < 550 \text{ nm}$ do inglês <i>GREEN</i>
B	Radiação eletromagnética na faixa da luz visível predominantemente na cor azul entre $460 < \lambda < 490 \text{ nm}$ do inglês <i>BLUE</i>
W	Radiação eletromagnética na faixa da luz visível predominantemente na cor branca de amplo espectro do inglês <i>WHITE</i>
GPS	Sistema global de posicionamento do inglês <i>Global Position System</i>
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa do inglês <i>Photossintetic Active Radiation</i> principalmente relacionado ao espectro de absorção da clorofila <i>a</i> com dois picos predominantes em 400 e 700 <i>nm</i>
PVC	Cloreto de polivinil

ntu	Unidades Nefelométricas de Turbidez medidas a 90° padronizados com solução de formazina
ups	Unidade Prática de Salinidade adotada e recomendada pela UNESCO/ ICES/ SCOR/ IAPSO desde 1980 (PSS-78)
ppb	Partes por Bilhão (10^{-9})
SMD	Dispositivos de montagem eletrônica em superfícies do inglês <i>Surface Mount Devices</i>
NMDS	Escalonamento Multidimensional Não Métrico, do inglês <i>Non Metric Multidimensional Scaling</i> , técnica de análise estatística multivariada
MDS	Escala Multidimensional, do inglês <i>Multidimensional Scaling</i>
DF	Em estatística graus de liberdade do inglês <i>Degrees of Freedom</i>
p	ou nível descritivo, é a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, sob a hipótese nula.
F	Esse valor de F compara a quantidade de variância sistemática nos dados com a quantidade de variância não-sistemática. Em outras palavras, o valor de F é a razão entre o modelo e seu erro.
R^2	ou coeficiente de determinação, é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado em relação aos valores observados
PERMANOVA	Análise multivariada de variâncias não paramétrica por permutações de Monte Carlo

Lista de símbolos

λ	Comprimento de onda do espectro eletromagnético
μ	Estatisticamente é o valor da média populacional ou média amostral (\bar{X}) quando o número de eventos medidos é muito grande, de acordo com a teoria estatística dos grandes números. μ e \bar{X} podem se diferenciar muito se o número amostral for limitado e a variável medida não for homogênea
w	Unidade de medida de potência, neste caso, potência elétrica que pode ser calculada pela multiplicação direta da corrente pela tensão em circuitos de corrente contínua. Utilizaremos preferencialmente os dados no sistema métrico internacional (SI) para este estudo
lx	Unidade de medida de luminância ou emitância luminosa, o lux, é a medida do fluxo luminoso por unidade de área. Esta medida também faz parte do SI. É a mesma coisa que lumens por metro quadrado e amplamente usada em fotometria para percepção da luz pelo olho humano
Vcc	é a abreviação para tensão em corrente contínua, eletricamente, o oposto da corrente alternada (Vca). A fonte de corrente contínua mais comum são as baterias eletroquímicas enquanto que na corrente alternadas são os geradores indutivos
$\sum(x_i - \bar{x})^2$	Em estatística representa a Soma dos quadrados

$\sum(x_i - \bar{x})^2/N$ Em estatística representa a média da Soma dos quadrados

χ^2 Análise estatística de Chi-Quadrado

1 Introdução

A biomassa do plâncton marinho é a chave, em termos de magnitude, para o entendimento de vários processos ecológicos e oceanográficos pois dela podemos estabelecer características particulares das comunidades como por exemplo: as taxas de mortalidade, as taxas fisiológicas de respiração e exsudados bioquímicos, fluxo de carbono, fluxo de matéria orgânica e fluxo de energia ao longo da cadeia trófica (BELGRANO et al., 2005; CARLOTTI et al., 2008; MINUTOLI et al., 2014).

Os resultados de biomassa dependem da abundância dos organismos, da distribuição de tamanho deles e da estrutura da comunidade amostrada, conseqüentemente estes estudos podem variar de uma a três ordens de grandeza entre as amostragens e apresentar grandes incertezas com relação as suas conclusões (GLIWICZ, 1986; HAREN, 2007; HUNTLEY; LOPEZ, 1992). É evidente que estas imprecisões se relacionam com o desenho amostral da pesquisa e com as técnicas de coleta aplicada. Fatores abióticos muitas vezes negligenciados, como as fases da lua ou a intensidade luminosa incidente na coluna d'água, podem potencializar ainda mais estas incertezas (BERGE et al., 2009; BRAMM et al., 2009; HERNÁNDEZ-LEÓN et al., 2001; HERNÁNDEZ-LEÓN et al., 2002).

O cerne da questão que iremos explorar é a luz e seus efeitos no zooplâncton marinho que pode atuar como atrator de grandes agrupamentos de biomassa. Entretanto, devemos entender inicialmente que a atmosfera e a coluna d'água atenuam a intensidade luminosa e atuam como filtro de frequência no espectro da luz, ou seja, dependendo da espessura da atmosfera ou da coluna d'água a cor (espectro luminoso) e a intensidade podem ser diferentes ao longo do tempo, como indicado nas figuras 1 e 2 (JERLOV, 1976;

LI et al., 2014; MCCLATCHEY et al., 1972; SPINRAD et al., 1998). Exemplificando este efeito no ambiente marinho, a radiação ultravioleta ($\lambda < 380 \text{ nm}$) que chega na superfície é atenuada para 0,1% a 25 m de profundidade; a radiação espectral do vermelho e infravermelho ($\lambda > 630 \text{ nm}$) se reduz também a este percentual logo nos primeiros 15 m da coluna d'água; Os espectros da luz azul e luz verde alcançam maiores profundidades porém, dependem de outros fatores que diferenciam águas costeiras de águas de oceano aberto.

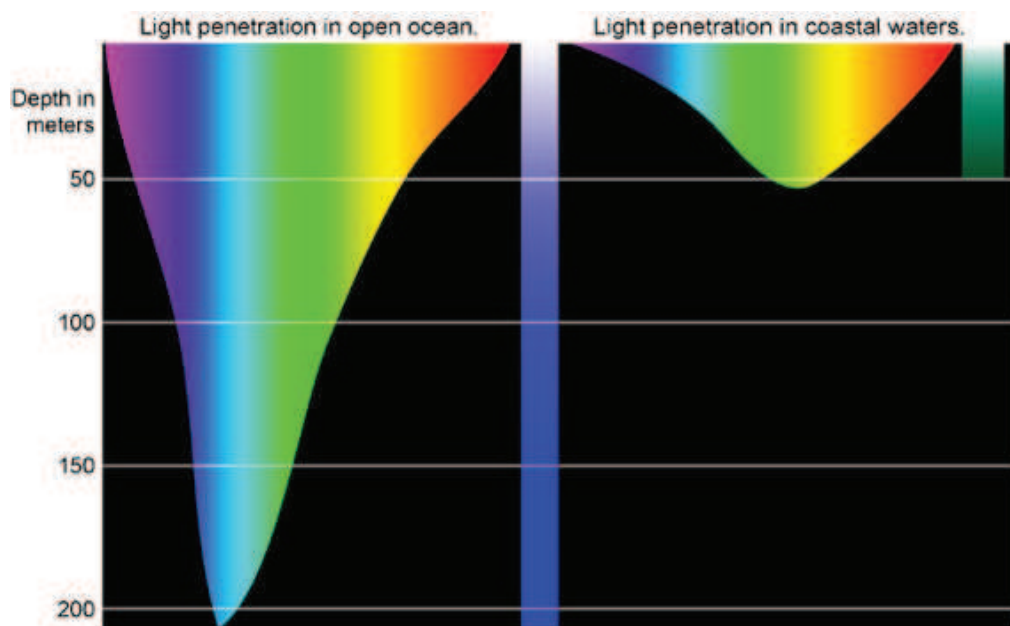


Figura 1 – Comparação da penetração luminosa em oceano aberto e em regiões costeiras considerando as várias componentes espectrais da luz solar. Fonte: NOAA Deep light diagram.

A variação luminosa é de extrema importância para o ambiente marinho, acredita-se que ela é uma das explicações mais aceitas para o maior movimento migratório de biomassa conhecido no mundo: a migração vertical diurna (MVD) (COHEN; FORWARD JR., 2009; RINGELBERG, 2010). Este fenômeno natural se repete todos os dias em todos os oceanos e varia com a latitude e longitude. É o maior transporte migratório rítmico e cadenciado de biomassa da terra alterando a sua distribuição vertical na coluna d'água diurnamente. Basicamente os diminutos organismos do zooplâncton que realizam a MVD

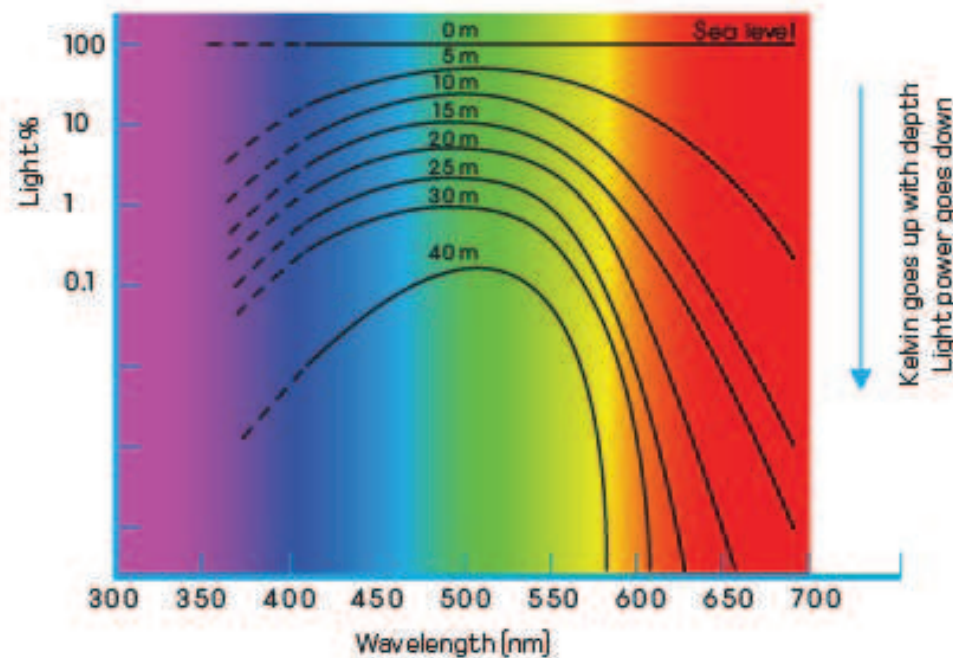


Figura 2 – Atenuação das componentes do espectro luminoso de acordo com a profundidade em um mesmo instante, observa-se que a temperatura da luz e a intensidade varia consideravelmente. A temperatura da luz em Kelvin é uma maneira de medir a cor da luz baseada na absorção da corpo escuro. Fonte: http://answers.seneye.com/en/Aquarium_help/-What_is_Coral/What_are_zooxanthellae

podem percorrer centenas de metros diariamente duas ou mais vezes ao dia. (ANGEL; PUGH, 2000; HAYS, 2003).

Este movimento é de grande importância e forte interferência na distribuição e ecologia do zooplâncton. Na migração vertical diurna mais comum os organismos sobem para a superfície no início do anoitecer e descem para profundidades maiores no início do amanhecer conforme apresentado na figura 3 (RINGELBERG, 2010). Porém existem outras MVD menos comuns, esta complexidade de padrões comportamentais dificultam ainda mais a explicação das causas destes movimentos e a predição exata através de modelos matemáticos. A MVD ainda não está bem entendida, porém acredita-se que a luz seja a chave deste processo, mas podem existir outros fatores de menor poder exercendo influências (COHEN; FORWARD JR., 2009; HAREN; COMPTON, 2013; ROENNEBERG;

MERROW, 2005).

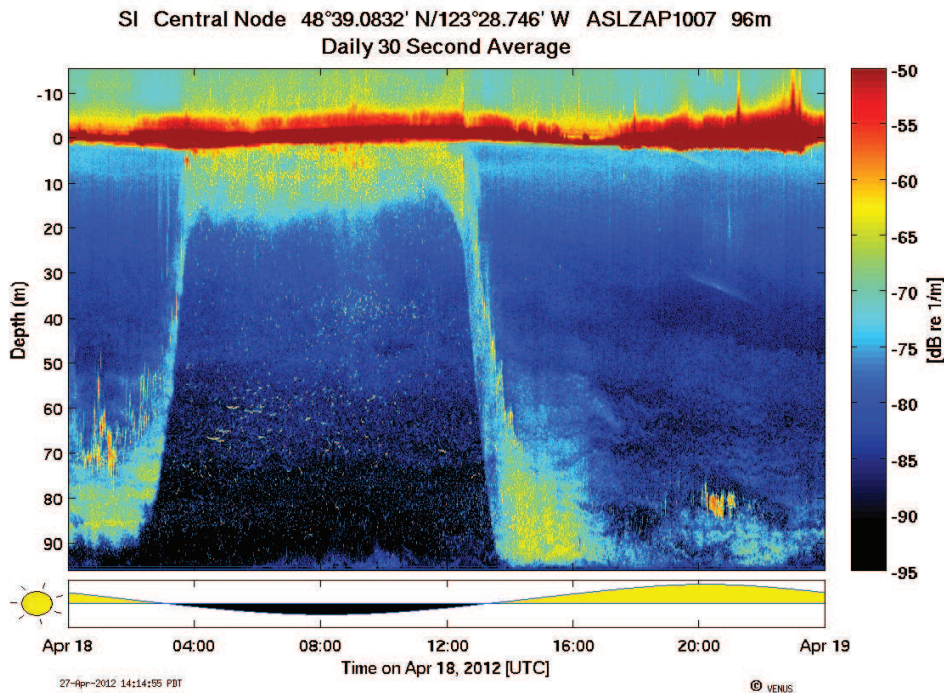


Figura 3 – Ilustração da migração vertical e abundância dos organismos durante a noite e o dia através de dados de ecosonda do projeto Venus na baía de Saanich, British Columbia, Canada. Fonte: <http://www.oceannetworks.ca/learning/educators/teaching-resources/diel-vertical-migration-zooplankton>

Além desses aspectos gerais, Frank & Widder (1997) observaram que o início da MVD não ocorre ao mesmo tempo para todos os grupos taxonômicos. Ela acontece em camadas interespecíficas, de acordo com Frank & Widder (2002), o que indica diferenças na indução inicial dos estímulos que provocam o disparo deste processo migratório. Porém, como pode haver este nível de refinamento comportamental se a maioria destes organismos do zooplâncton não possui percepção visual uns dos outros que poderia induzir a organização deste movimento em camadas. Em sua maioria apresentam ocelos que não possibilitam a formação de imagem (ARENDRT; WITTBRODT, 2001; BOLTOVSKOY, 1999; GEHRING; IKEO, 1999; MAUCLINE, 1998). A qualidade da luz do espectro luminoso na coluna d'água seria a orquestradora mais provável para o cadenciamento preciso dos estímulos resumidamente evidenciado nas observações das camadas. A questão

da qualidade espectral da luz recebeu pouca atenção e não foi devidamente abordada nos estudos pretéritos.

Paradoxalmente ao fenômeno da MVD, onde os organismos procuram por regiões mais sombreadas, a maioria deles possuem fototaxia positiva bem conhecida (HARRIS et al., 2000; JÉKELY et al., 2008; MARTYNOVA; GORDEEVA, 2010), ou seja são atraídos pela luz. Esta característica é explorada de forma natural através dos predadores que possuem atratores bioluminescentes (HADDOCK et al., 2010). Armadilhas de luz utilizam o mesmo mecanismo da fototaxia positiva para coleta destes indivíduos para fins científicos ou comerciais (HERNANDEZ JR.; SHAW, 2003; HICKFORD; SCHIEL, 1999; KEHAYIAS et al., 2008; PORTER et al., 2008). Porém em estudos pretéritos para a investigação da fototaxia positiva como estratégia de coleta do zooplâncton, a qualidade espectral da luz também foi negligenciada, assumindo a luz branca de amplo espectro e sua atenuação como a variável principal analisada (DOHERTY, 1987; KAWAGUCHI et al., 1986; RINGELBERG, 2010).

Em organismos terrestres vários estudos consideram a qualidade espectral da luz como interferente no comportamento de insetos, anfíbios, aves e aracnídeos o que claramente possibilitou uma maior compreensão destes organismos, de seus comportamentos e dos processos ecológicos no qual eles estão envolvidos (BARGHINI; SOUZA DE MEDEIROS, 2012; BRUCE-WHITE; SHARDLOW, 2011; LONGCORE; RICH, 2004).

Considerando que existe um campo vasto de exploração das particularidades da fototaxia positiva do zooplâncton marinho com enfoque na qualidade espectral da luz, propomos neste trabalho, elucidar a percepção espectral luminosa destes organismos através de uma nova arte de coleta com armadilha de luz para entendimento de fenômenos complexos como a MVD refletidos na distribuição vertical da biomassa.

7 Conclusão

De acordo com os dados observados nos diferentes táxons através das capturas realizadas nas armadilhas luminosas, podemos concluir em linhas gerais que:

- Existem evidências de uma seleção espectral na percepção luminosa dos organismos capturados. Esta sensibilidade óptica seria a principal responsável pela fototaxia positiva e conseqüentemente pelas induções ao deslocamento e capturas nos tratamentos luminosos das armadilhas de luz;
- De maneira geral a luz verde exerceu maior atração nos organismos;
- A luz vermelha foi o tratamento que causou menor influência no deslocamento dos organismos com fototaxia positiva;
- As fases lunares ou o esquema de randomização podem provocar influências nas capturas das armadilhas de luz, dependendo da sensibilidade luminosa de cada táxon;
- A seletividade espectral destes organismos pode ser o mecanismo responsável pela distribuição vertical de camadas intraespecíficas na coluna d'água, alterando assim os padrões de distribuição de biomassa;
- Nossa proposta de armadilha de luz foi eficiente na captura de organismos planctônicos podendo ser adaptada para trabalhar em diferentes profundidades e em estudos mais complexos com objetivo de estudar estas camadas verticais;

Para o avanço deste assunto e entendimento dos fenômenos naturais correlatos sugerimos para os próximos passos os seguintes desafios:

- Desenvolvimento de equipamentos mais sensíveis pra a medição da penetração de luz na coluna d'água tomando-se como padrão a percepção dos organismos planctônicos mais abundantes e não a percepção visual humana;
- O desenvolvimento de armadilhas de luz com maior resolução espectral para compreender a ação desta nos processos ecológicos principalmente relacionados a reprodução e predação;
- A comprovação da persistência temporal e espacial das zonação vertical de zooplâncton marinho;
- A proposição de uma história evolutiva da deriva genética do zooplâncton para realização da migração vertical;
- A adoção de novas técnicas de coleta do zooplâncton marinho para estudos ambientais;
- Estudos da poluição luminosa costeira sobre a alteração na ecologia da comunidade planctônica.

Referências

- ANGEL, M.; PUGH, P. Quantification of diel vertical migration by micronektonic taxa in the northeast atlantic. *Hydrobiologia*, v. 440, n. 1-3, p. 161–179, dec 2000.
- ARENDT, D.; WITTBRODT, J. Reconstructing the eyes of urbilateria. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, v. 356, n. 1414, p. 1545–1563, oct 2001.
- BARGHINI, A.; SOUZA DE MEDEIROS, B. A. Uv radiation as an attractor for insects. *LEUKOS*, v. 9, n. 1, p. 47–56, jul 2012.
- BELGRANO, A. et al. *Aquatic food webs, an ecosystem approach*. [S.l.]: Oxford University Press, 2005.
- BERGE, J. et al. Diel vertical migration of arctic zooplankton during the polar night. *Biology Letters*, v. 5, p. 69–72, oct 2009.
- BOLLENS, S. M.; FROST, B. Uv light and vertical distribution of the marine planktonic copepod *Acartia hudsonica* pinhey. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, n. 137, p. 89–93, 1990.
- BOLTOVSKOY, D. *South Atlantic Zooplankton*. [S.l.]: Backhuys Publishers, 1999.
- BRAMM, M. E. et al. The role of light for fish-zooplankton-phytoplankton interactions during winter in shallow lakes – a climate change perspective. *Freshwater Biology*, v. 54, p. 1093–1109, 2009.
- BRUCE-WHITE, C.; SHARDLOW, M. *A Review of the Impact of Artificial Light on Invertebrates*. [S.l.]: Buglife, 2011.
- BUSKEY, E. et al. Photosensitivity of the oceanic copepods *Pleuromamma gracilis* and *Pleuromamma xiphias* and its relationship to light penetration and daytime depth distribution. *Marine Ecology Progress Series*, n. 55, p. 207–216, 1989.
- CARLOTTI, F. et al. Zooplankton community structure, biomass and role in carbon fluxes during the second half of a phytoplankton bloom in the eastern sector of the kerguelen shelf (january–february 2005). *Deep-Sea Research II*, v. 55, p. 720–733, 2008.
- CASTRO FILHO, B. M. Summer/winter stratification variability in the central part of south brazil bight. *Continental Shelf Research*, n. 89, p. 15–23, 2014.
- CASTRO FILHO, B. M. et al. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de ubatuba: variações sazonais e em média escala. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 35, n. 2, p. 135–151, 1987.
- CEPAGRI. *Clima dos municípios paulistas - Ubatuba*. 2015. Online; acessado em 16/sep/2015. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_624.html>.
- COHEN, J.; FORWARD JR., R. Spectral sensitivity of vertically migrating marine copepods. *Biological Bulletin*, n. 203, p. 307–314, 2002.

- COHEN, J.; FORWARD JR., R. Diel vertical migration of the marine copepod *Calanopia americana*. *Marine Biology*, n. 147, p. 387–410, 2005.
- COHEN, J. H.; FORWARD JR., R. B. Zooplankton diel vertical migration - a review of proximate control. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, v. 47, p. 77–110, 2009.
- COUZIN, I. D.; KRAUSE, J. Self-organization and collective behavior in vertebrates. *ADVANCES IN THE STUDY OF BEHAVIOR*, v. 32, 2003.
- CRONIN, T.; FORWARD JR., R. The visual pigments of crabs: Spectral characteristics. *Journal of Comparative Physiology*, n. 162A, p. 463–478, 1988.
- CUMMING, G. et al. Error bars in experimental biology. *Journal of Cell Biology*, v. 177, n. 1, p. 7–11, apr 2007.
- DOHERTY, P. J. Light-traps: Selective but useful devices for quantifying the distributions and abundances of larval fishes. *Bulletin of Marine Science*, v. 41, n. 2, p. 423–431, aug 1987.
- FERMIN, A. C.; SERONAY, G. A. Effects of different illumination levels on zooplankton abundance, feeding periodicity, growth and survival of the asian sea bass, *Lates calcarifer* (bloch), fry in illuminated floating nursery cages. *Aquaculture*, n. 157, p. 227–237, 1997.
- FERNALD, R. D. Casting a genetic light on the evolution of eyes. *SCIENCE*, v. 313, p. 1914–1918, sep 2006.
- FORWARD JR., R. et al. Control of diel vertical migration: Photoresponses of a larval crustacean. *Limnology and Oceanography*, n. 29, p. 146–154, 1984.
- FRANK, T.; WIDDER, E. A. Comparative study of the spectral sensitivities of mesopelagic crustaceans. *Journal of Comparative Physiology A*, n. 185, p. 255–265, 1999.
- FRANK, T.; WIDDER, E. A. Effects of a decrease in downwelling irradiance on the daytime vertical distribution patterns of zooplankton and micronekton. *Marine Biology*, n. 140, p. 1181–1193, 2002.
- FRANK, T. M.; WIDDER, E. A. The correlation of downwelling irradiance and staggered vertical migrations patterns of zooplankton in wilkinson basin, gulf of maine. *Journal of Plankton Research*, v. 19, n. 12, p. 1975–1991, 1997.
- GAL, G. et al. Light and diel vertical migration: Spectral sensitivity and light avoidance by mysis relicta. *CANADIAN JOURNAL OF FISHERIES AND AQUATIC SCIENCES*, n. 56, p. 311–322, 1999.
- GEHRING, W.; IKEO, K. Pax 6: mastering eye morphogenesis and eye evolution. *Trends Genet.*, v. 15, n. 9, p. 371–377, sep 1999.
- GEHRING, W.; ROSBASH, M. The coevolution of blue-light photoreception and circadian rhythms. *Journal of Molecular Evolution*, v. 57, p. S286–S289, nov 2003.
- GEHRING, W. J. New perspectives on eye development and the evolution of eyes and photoreceptors. *Journal of Heredity*, v. 96, n. 3, p. 171–184, jan 2005.

- GLIWICZ, Z. M. A lunar cycle in zooplankton. *Ecology*, v. 67, n. 4, p. 883–897, aug 1986.
- GORSKY, G. et al. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *Journal of Plankton Research*, v. 32, n. 3, p. 285–303, 2010.
- GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. *Princípios de estatística em ecologia*. [S.l.]: Artmed, 2011.
- HADDOCK, S. H. D. et al. Bioluminescence in the sea. *Annual Review of Marine Science*, v. 2, p. 443–493, oct 2010.
- HAREN, H. Monthly periodicity in acoustic reflections and vertical motions in the deep ocean. *Geophysical Research Letters*, v. 34, aug 2007.
- HAREN, H.; COMPTON, T. J. Diel vertical migration in deep sea plankton is finely tuned to latitudinal and seasonal day length. *PLoS ONE*, v. 8, n. 5, 2013.
- HARRIS, R. et al. *ICES Zooplankton Methodology Manual*. [S.l.]: Elsevier, 2000.
- HAYS, G. C. A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations. *Hydrobiologia*, v. 503, n. 1-3, p. 163–170, aug 2003.
- HECHT, E. *Optics*. [S.l.]: Addison-Wesley, 1998.
- HERNANDEZ JR., F. J.; SHAW, R. F. Comparison of plankton net and light trap methodologies for sampling larval and juvenile fishes at offshore petroleum platforms and a coastal jetty off louisiana. *American Fisheries Society Symposium*, v. 36, p. 15–38, oct 2003.
- HERNÁNDEZ-LEÓN, S. et al. Zooplankton abundance in subtropical waters: is there a lunar cycle? *Scientia Marina*, v. 65, n. 1, p. 59–63, jan 2001.
- HERNÁNDEZ-LEÓN, S. et al. Lunar cycle of zooplankton biomass in subtropical waters: biogeochemical implications. *Journal of plankton research*, v. 24, n. 9, p. 935–939, dec 2002.
- HICKFORD, M. J. H.; SCHIEL, D. R. Evaluation of the performance of light traps for sampling fish larvae in inshore temperate waters. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, v. 186, p. 293–302, oct 1999.
- HUNTLEY, M. E.; LOPEZ, M. D. Temperature-dependent production of marine copepods: a global synthesis. *The American Naturalist*, v. 140, n. 2, p. 201–242, aug 1992.
- HURLBERT, S. H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, v. 54, n. 2, p. 187–211, 1984.
- JERLOV, N. G. *MARINE OPTICS*. [S.l.]: ELSEVIER, 1976. (Elsevier Oceanography Series, v. 14).
- JÉKELY, G. et al. Mechanism of phototaxis in marine zooplankton. *Nature*, v. 456, p. 395–399, nov 2008.

- KAWAGUCHI, K. et al. A light trap to collect krill and other micronektonic and planktonic animals under the antarctic coastal fast ice. *Polar Biology*, v. 6, n. 1, p. 37–42, aug 1986.
- KEHAYIAS, G. et al. Using plankton nets as light traps: application with chemical light. *JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH*, v. 30, n. 9, p. 1075 – 1078, oct 2008.
- KOLMOGOROV, A. N. Dissipation of energy in the locally isotropic turbulence. *Mathematical and Physical Sciences*, v. 434, 1991.
- LAMB, T. D. Evolution of the eye. *Scientific American*, p. 64–69, July 2011.
- LAMB, T. D. et al. Evolution of the vertebrate eye: opsins, photoreceptors, retina and eye cup. *Nat Rev Neurosci*, v. 8, n. 12, p. 960–976, dec 2007.
- LAND, M. F.; FERNALD, R. D. The evolution of eyes. *Annual Review of Neuroscience*, v. 15, p. 1–29, mar 1992.
- LAND, M. F.; NILSSON, D. E. *Animal Eyes*. [S.l.]: Oxford Univ. Press, 2002. 1-15 p.
- LI, L. et al. Characterization of the solar light field within the ocean mesopelagic zone based on radiative transfer simulations. *Deep-Sea Research I*, v. 87, 2014.
- LINDBERG, D. C. A reconsideration of roger bacon's theory of pinhole images. *Archive for History of Exact Sciences*, v. 6, n. 3, p. 214–223, 1970.
- LONGCORE, T.; RICH, C. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 2, n. 4, p. 191–198, may 2004.
- MARCOLIN, C. et al. Seasonal and interannual variability of zooplankton vertical distribution and biomass size spectra off ubatuba, brazil. *Journal of Plankton Research*, v. 37, 2015.
- MARTYNOVA, D.; GORDEEVA, A. Light-dependent behavior of abundant zooplankton species in the white sea. *Journal of Plankton Research*, v. 32, 2010.
- MATELATTO, F.; FRANSOZO, A. Characterization of the physical and chemical parameters of ubatuba bay, northern coast of são paulo state, brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 59, 1999.
- MAUCLINE, J. *Advances in Marine Biology: The Biology of Calanoid Copepods*. [S.l.]: Academic Press, 1998.
- MCCLATCHEY, R. A. et al. *Optical Properties of the Atmosphere*. [S.l.]: AIR FORCE CAMBRIDGE RESEARCH LABORATORIES, 1972. (ENVIRONMENTAL RESEARCH PAPERS, v. 411).
- MILSTEIN, A. Vertical distribution of paracalanus crassirostris (copepoda, calanoidea): Analysis by the general linear model. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 28, n. 2, 1979.
- MINUTOLI, R. et al. Mesozooplankton carbon requirement in the southern adriatic sea: vertical distribution, diel and seasonal variability, relation to particle flux. *Marine Ecology Progress Series*, v. 495, p. 91–104, 2014.

- PINESE, J. F. *Distribuição vertical e variação sazonal de Acartia lilljeborgi (Copepoda, Calanoidea) na enseada do Flamengo - Ubatuba*. 55 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) — Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.
- PORTER, S. S. et al. Comparison of light traps and plankton tows for sampling brachyuran crab larvae in an alaskan fjord. *Journal of Crustacean Biology*, v. 28, n. 1, p. 175 – 179, oct 2008.
- RINGELBERG, J. *Diel Vertical Migration of Zooplankton in Lakes and Oceans*. [S.l.]: Springer Netherlands, 2010.
- ROENNEBERG, T.; MERROW, M. Circadian clocks - the fall and rise of physiology. *Nat Rev Mol Cell Biol.*, v. 6, n. 12, p. 965–971, dec 2005.
- SALDANHA-CORRÊA, F.; GIANESELLA, S. A microcosm approach on the potential effects of the vertical mixing of water masses over the primary productivity and phytoplankton biomass in the southern brazilian coastal region. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 52, 2004.
- SHAW, F. et al. Comparison of plankton catch by three light-trap designs in the northern gulf of mexico. *Gulf of Mexico Science*, n. 2, p. 109–118, 2007.
- SHEN, S. C. S. C. et al. Design and analysis of an underwater white led fish-attracting lamp and its light propagation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, v. 10, 2013.
- SPINRAD, R. W. et al. *Ocean Optics*. [S.l.]: OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1998. (OXFORD MONOGRAPHS ON GEOLOGY AND GEOPHYSICS).
- STEARNS, D.; FORWARD JR., R. Photosensitivity of the calanoida copepode *Acartia tonsa*. *Marine Biology*, n. 82, p. 85–89, 1984.
- STRICKLER, J. R. Observing free-swimming copepods mating. *Philosophical Transactions Royal Society London B Biology Science*, v. 353, 1998.
- TURNER DESIGNS. *Optical Specification Guide Cyclops-7 Submersible Sensors*. 2015. Online; acessado em 6/jun/2015. Disponível em: <<http://www.turnerdesigns.com/t2/doc/spec-guides/998-2181.pdf>>.
- VAUX, D. L. Know when your numbers are significant. *NATURE*, v. 492, p. 180–181, dec 2012.
- VERNIER SOFTWARE TECHNOLOGY. *Turbidity Sensor*. 2015. Online; acessado em 6/jun/2015. Disponível em: <<http://www.vernier.com/files/manuals/trb-bta.pdf>>.
- VOLPATO, G. *Bases teóricas para redação científica*. [S.l.]: Cultura Acadêmica, 2007. 85-102 p.