

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS

A radiação ultravioleta nos ecossistemas aquáticos e seus impactos nas
diferentes espécies:

- uma revisão bibliográfica.

Sofia Alves de Sousa

BELO HORIZONTE

2013

A radiação ultravioleta nos ecossistemas aquáticos e seus impactos nas
diferentes espécies:
- uma revisão bibliográfica

Monografia apresentada ao Instituto de
Ciências Biológicas da Universidade Federal
de Minas Gerais como requisito parcial à
obtenção do título de especialista em
Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Orientador: Ricardo Motta Pinto-Coelho

BELO HORIZONTE

2013

Monografia aprovada em ____/____/____ para obtenção do título de Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Banca Examinadora:

Ricardo Motta Pinto-Coelho
Orientador

Paulina Maria Maia Barbosa
Professora de Monografia

Alberto Simon Schvartzman
Professor Convidado(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos de curso Renata Peixoto, Kênia Rodrigues, Matheus Duarte, Roberto Martins ,Leonardo Peroni, Marcos Vinicius Martins Ferreira,Luis Felipe do Carmo e Ana Luiza Cunha que tornaram essa caminhada muito mais divertida, nunca vou esquecer vocês;

Aos professores Francisco A. R .Barbosa, Paulina M. Maia Barbosa, Fábio José Bianchetti , Arnola Cecilia Rietzler , Alberto Simon Schwartzman e Marcos Vinicius Polignano , que tanto contribuíram com seus conhecimentos ,ensinamentos e trabalhos;

Agradeço ao meu namorado Vinicius Nogueira, pelo apoio e compreensão;

Aos meus pais Bartolomeu A. de Sousa e Tupiára M. dos S. A. de Sousa e aos meus irmãos Melissa Sousa, Maria Julia Sousa e Kevin Sousa por estarem sempre ao meu lado;

Ao meu irmão Pedro Sousa pelo exemplo incentivo e apoio nesses quase dois anos de curso,

E ao professor e orientador Ricardo Motta Pinto Coelho pela boa vontade e atenção, muito obrigada!

Água doce, doce água

(Evelyn Heine)

De mar é feita a terra,
De água é feita a gente.
Abaixo o desperdício!
Poupar água: coisa urgente!
Clara, doce ou gelada,
Verde, azul ou transparente,
Sem a água não há nada.
Nem floresta, nem semente.
Água doce mata a sede,
Água doce é a que lava.
Cachoeira, rio ou fonte...
Só não pode ser salgada.
Tanto bate até que fura,
diz ditado popular...
Cuida dela! Você jura?
Vamos economizar!

SUMÁRIO

1.Introdução.....	10
2.Objetivos.....	16
2.1.Objetivos Gerais.....	16
2.2.Objetivos específicos.....	16
3.Metodologia	17
4.Resultados.....	17
4.1.Revisão Bibliográfica.....	17
5.Discussão.....	34
6.Conclusão.....	36
7.Referências Bibliográficas.....	38

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Espectro eletromagnético. Fonte: CPTEC/INPE - <http://www.cptec.inpe.br>-----
-----Pág:10
- Tabela 1: Descrição de alguns dos efeitos biológicos causados pela radiação UV em diferentes organismos.-----Pág:17
- Figura 2: As radiações UVA,UVB e UVC. Disponível em:
<http://biofiscando.blogspot.com.br/2010/03/os-raios-uv-e-pele.html>-----Pág:19
- Figura 3: Um exemplar de tambaqui (*Colossoma macropomum*) submetido em laboratório à radiação ultravioleta. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/zoologia/raios-solares-tambem-prejudicam-peixes> -----Pág:24
- Tabela 2: Efeitos causados por exposição aos raios UV.-----Pág:30
- Figura 4: Índice UV no Brasil. Disponível em: <http://clubezimute.com.br/portal/wp-content/uploads/2010/02/indiceUV.png> -----Pág:35

RESUMO

Durante os últimos anos, foi observado uma grande redução na espessura da camada de ozônio e com isso, tornaram-se visíveis os efeitos causados pela maior incidência de raios ultravioletas. O aumento do desmatamento e da erosão, são agravantes desse processo, pois interferem diretamente na sobrevivência da comunidade aquática. O desmatamento faz com que os lagos e reservatórios, além de ficarem desprotegidos sem a cobertura vegetal, acumulem maior quantidade de sedimentos reduzindo assim a espessura da lâmina d'água. Os indivíduos mais afetados nestes ambientes são aqueles que vivem na superfície ou região do epilimnio dos lagos e reservatórios pois estão mais expostos a radiação UV que os demais indivíduos da comunidade aquática. Nos peixes da amazônia a maior exposição aos raios UV têm causado vários distúrbios fisiológicos como aumento da proteína C, indicando um processo inflamatório, aumento de células com mutações e erros genéticos, mudança na estrutura populacional e alteração na variabilidade genética.

As moléculas orgânicas expostas à radiação UV têm alterações significativas e formam ligações químicas nocivas aos seres vivos. A radiação UV tem efeitos deletérios no fitoplâncton que habita a superfície dos oceanos e morre pela sua ação. Com a morte do fitoplâncton, o zooplâncton não sobrevive. Sem fitoplâncton, o krill deixa de existir, diminuindo a população dos peixes dos oceanos e assim por diante.

Quanto aos impactos ambientais causados pela destruição da camada de ozônio, acredita-se que, o aumento da incidência dos raios UV-B pode lesar estruturas biológicas como o DNA, e o sistema fotossintético dos vegetais. O fitoplâncton, que é a base da cadeia alimentar, é muito sensível a radiação ultravioleta, e este afetado, assim como as bactérias, que alimentam o zooplâncton, comprometeria todo o equilíbrio do ecossistema da região. Alguns grupos de cianobactérias são afetadas negativamente pela radiação UV, elas têm algumas de suas atividades fisiológicas alteradas como crescimento, sobrevivência e enzimas do metabolismo de nitrogênio e fixação de CO₂.

Palavras-chave: Radiação UV, ecossistemas aquático, fitoplâncton, zooplâncton, efeitos em peixes.

ABSTRACT

During the last years, it was observed a great reduction in the thickness of the ozone layer and thereby become visible effects caused by incidence of ultraviolet rays. The increase of deforestation and erosion, are aggravating this process by interfering directly in the survival of the aquatic community. Deforestation causes lakes and reservoirs, in addition to being deprotected without the cover, accumulate greater amounts of sediment and thereby reduces the blade water's thickness. The individuals most affected are those who live on the surface or region of the epilimnion of lakes and reservoirs because they are more exposed to UV radiation than other individuals of the aquatic community. In fish of the Amazon, the UV exposure has caused various physiological disorders such as increased protein C, indicating an inflammatory process, with increased cell mutations and genetic errors, change in population structure and change in genetic variability. Organic molecules exposed to UV radiation have significant changes and form chemical bonds harmful to living beings. UV radiation has deleterious effects on phytoplankton inhabiting the ocean surface and die by their action. With the death of phytoplankton, zooplankton them do not survive. Without phytoplankton, krill ceases to exist, reducing the fish population of the oceans and so on. As for the impacts caused by the destruction of the ozone layer, it is believed that the increased incidence of UV-B can damage biological structures such as DNA, and the photosynthetic system of plants. Phytoplankton, which is the base of the food chain, is very sensitive to ultraviolet radiation, and this affected, as well as marine bacteria, which feed on zooplankton, jeopardize the entire balance of the ecosystem of the region. Some groups of cyanobacteria are negatively affected by UV radiation, they have some of their physiological activities changed as growth, survival and enzymes of nitrogen metabolism and CO₂ fixation.

Keywords: UV radiation, aquatic ecosystems, phytoplankton, zooplankton, effects on fish.

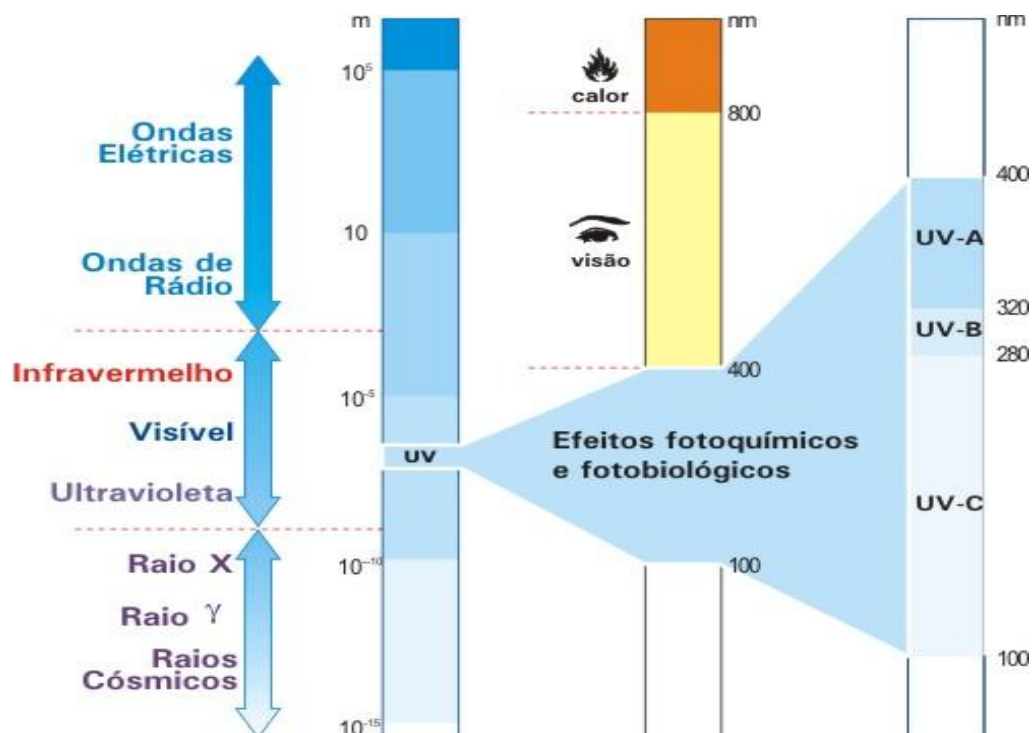
1.Introdução

A intensidade da radiação solar UV incidente na superfície terrestre é influenciada por vários fatores, como, estação do ano, hora do dia, a cobertura de nuvens, latitude e altitude, reflexão dos raios na superfície e ozônio estratosférico(CARDOSO,2011). A camada de ozônio, localizada acima da superfície terrestre, é resultante de um balanço natural de formação e dissociação da molécula de ozônio (O^3). A radiação ultravioleta é emitida pelo sol e por lâmpadas, e são classificadas em UVA, UVB e UVC de acordo com seu comprimento de onda. Os raios UVA são aqueles de comprimento de onda entre 320 e 400 nanômetros($\times 10^{-9}$ metros), os raios UVB são os de comprimento entre 280 e 320 nanômetros e os UVC, comprimento entre 100 e 280 nanômetros(Figura 1).

Dentre os espectros da radiação UV, a energia da UV-C é totalmente utilizada nas reações fotoquímicas, sendo totalmente absorvida pelas moléculas de O^2 e de O^3 , não atingindo a biosfera. A energia da radiação UV-B é parcialmente utilizada nas reações fotoquímicas, mas a radiação UV-A não participa destas reações , sendo então a mais abundante na superfície terrestre(CARDOSO,2011).

Figura1:Espectro eletromagnético.

Fonte: CPTEC/INPE - <http://www.cptec.inpe.br>



A radiação UV possui amplos efeitos biológicos, os quais já foram observados em diversos organismos, atuando no metabolismo normal ou podendo causar efeitos nocivos que podem ser observados morfológicamente e molecularmente (CARDOSO,2011). A radiação UV-A, em particular, pode recuperar os danos causados pela radiação UV, uma vez que atua no processo de fotorreativação celular. Nos organismos aquáticos, conhecem-se algumas estruturas e mecanismos utilizados como proteção e defesa contra agentes estressores, como a radiação UV. Porém, o conhecimento sobre esses efeitos é limitado.(CARDOSO,2011)

Muitos organismos aquáticos apresentam mecanismos para prevenir ou reparar danos causados por perturbações ambientais potencialmente prejudiciais, como as induzidas pela radiação UV. Os danos podem ser evitados por compostos fotoprotetores, como carotenóides e os aminoácidos micsporinas que absorvem parte da radiação UV-A e UV-B, protegendo proteínas, lipídios e o DNA. Outro mecanismo de defesa é constituído pelos cromatóforos, que são células presentes na superfície corporal, as quais apresentam pigmentos que absorvem e degradam a radiação em diferentes comprimentos de ondas. Grandes cromatóforos estão localizados normalmente próximos a órgãos vitais e, em condições de luminosidade, podem expandir seu pigmento, de forma a recobrir uma maior área corporal.(CARDOSO,2011). Além destes mecanismos, os organismos também apresentam proteínas de choque térmico chamadas Hsp(Heat shock protein) que são responsáveis pela homeostase das proteínas. Todos os organismos possuem genes Hsp que codificam proteínas, as quais variam no seu padrão de expressão, podendo ser constitutivas ou induzíveis por estresse. Durante um estresse intenso, inclusive o da radiação UV, as Hsps induzíveis atuam em diferentes funções celulares, por exemplo: evitam a desnaturação das proteínas mantendo o seu padrão de dobramento; auxiliam na localização das organelas para a translocação protéica; minimizam a agregação de proteínas não nativas; e reconhecem as proteínas não nativas ou agregadas, a fim de direcioná-las a degradação ou remoção. Esse tipo de atividade de Hsp foi encontrado em camarões marinhos em condições de hipóxia (CARDOSO,2011) e nos camarões de água doce em tecidos expostos ao aumento de temperatura (CARDOSO,2011). A radiação UV interfere principalmente no DNA e nas proteínas, que podem absorver esta radiação e ser quimicamente alteradas por ela, sendo resultado direto da absorção dos fótons pelas bases do DNA (CARDOSO,2011). A formação de dímeros inibe a transcrição e tradução, o que pode levar ao acúmulo de mutações genéticas e a morte celular(CARDOSO,2011).

Segundo Seelig (2003), a radiação UV atua dissociando moléculas em estruturas atômicas, afetando os seres vivos, e o ozônio filtra esses raios.

Segundo Tevini(1993),as consequências de um aumento da exposição do corpo humano a radiação UV-B é caracterizado pelas propriedades físicas deste tipo de radiação.A radiação UV-B não consegue entrar profundamente no corpo.Assim, a maior parte é absorvida nas camadas superficiais do tecido. Isso limita os efeitos primários para a pele e os olhos. Porém,existem também os efeitos sistêmicos.Estes começam com uma reação primária nas camadas superficiais, mas têm consequências em todo o corpo.Apenas 0,5% da luz solar que chega até a superfície da Terra,é radiação UV-B. No entanto, esta pequena fração é responsável pela maior parte dos efeitos da luz solar sobre o nosso corpo. É a principal causa de queimaduras e bronzeamento, assim como a formação de vitamina D na pele.A radiação UV-B é também a principal causa de cegueira da neve e um fator importante na indução da catarata. Além disso,a radiação UV-B contribui de forma significativa para o envelhecimento da pele e dos olhos, podendo ainda provocar câncer da pele.(TEVINI,1993).

Os estudos indicam que os efeitos como queimaduras solares ou câncer de pele, são os resultados finais de cadeias complexas de eventos. A cadeia inicia-se com uma reação primária, uma reação fotoquímica na pele. Esta reação primária normalmente aumenta quando a exposição à radiação UV-B é aumentada. Se a reação primária leva a lesão, os processos de reparação podem se danificar. Para danificar a molécula de DNA, vários sistemas de reparo devem estar inativos em células vivas. Estes sistemas podem consertar o dano, ou parte dele. Os sistemas de reparação podem ser danificadas se a exposição à luz UV-B for aumentada, e mesmo neste estágio inicial da cadeia de acontecimentos, é difícil prever o resultado. As células ou componentes do tecidos que são alterados por radiação podem ser reconhecidos como estranhos pelo sistema imune e removido. Algumas funções do sistema imune são, no entanto, suprimidas por exposição a radiação UV-B. Quando a pele é exposta mais do que está habituada , tende a se adaptar. As camadas epidérmicas tendem a se tornar mais espessas, e pigmentos de melanina são formados e dispersos por toda a epiderme. Estas reações limitam os efeitos de exposições subseqüentes a radiação UV-B. Com tal seqüência de eventos, é difícil prever os efeitos finais sobre a pele. Principalmente os efeitos resultantes de exposições repetidas.(TEVINI,1993)

Segundo Schaberle e Silva(2000),o DNA das células absorve radiações UV podendo provocar sérias alterações nos indivíduos como eritemas, bronzeamento, diminuição da resposta imunológica, inativação celular e indução do câncer de pele dentre outras . A

interação com os raios UVA e UVB também têm consequências benéficas, como a síntese da vitamina D e a prevenção de distúrbios no metabolismo do cálcio e fósforo, que podem gerar má formação óssea e redução na defesa do organismo. De acordo com Seelig (2003), os raios UVA não são absorvidos pelo ozônio e são os que mais atingem a biosfera. Dos raios UVB, grande parte deles é absorvida pelo ozônio, mas uma parte ainda chega à biosfera, e os raios UVC, quase não chegam a biosfera, são quase totalmente absorvidos pelo ozônio. Os raios UVA são os principais responsáveis pelo fotoenvelhecimento, tem grande participação nas fotoalergias e ainda predispõe a pele ao câncer. Os raios UVB causam vasodilatação nos vasos sanguíneos, o que causa queimaduras solares, e é responsável pelas alterações celulares que levam ao câncer de pele. Os olhos também são prejudicados pela radiação UV. Quando expostos diretamente ao sol, pode levar ao desenvolvimento de catarata em idade avançada, podendo levar a cegueira. As plantas têm a atividade fotossintética reduzida quando tem o aumento da intensidade da radiação ou aumento do tempo de exposição a esses raios. Elas sofrem também alteração na composição química de seus tecidos, por exemplo, aumentam a quantidade de pigmentos protetores nas suas folhas. (SEELIG, 2003)

No ambiente marinho, a intensidade dos raios UV diminui com o aumento da profundidade. A radiação UVB causa danos aos peixes jovens, larvas de camarão, larvas de caranguejos, invertebrados, e às plantas, que são essenciais à teia alimentar marinha. Entre os danos observados está a redução da fecundidade, do crescimento, da sobrevivência, e redução de outras funções vitais em diversos organismos marinhos. A exposição prolongada à radiação UVB também diminui a quantidade de carbono orgânico gerado nesses ambientes. (SEELIG, 2003).

Para avaliar os efeitos da radiação UV nos organismos e em níveis celulares, os pesquisadores utilizam diversos modelos animais. Os estudos com organismos aquáticos enfocam principalmente análises morfológicas e sobrevivência, desde gametas ao indivíduo adulto. Nesses estudos observou-se atraso na eclosão e no crescimento dos embriões, má formação e menor taxa de sobrevivência das larvas de microcrustáceos, poliquetas e peixes (LACUNA & UYE, 2000).

Outros estudos observaram um aumento de estresse oxidativo em zebrafish e crustáceos e ainda, testes de danos ao DNA, como a quantificação de fotoprodutos de CPD (dímeros de pirimidina ciclobutano) foram aplicados em bactérias marinhas e peixes, os quais indicaram que a radiação UV induz a formação desses fotoprodutos (CARDOSO, 2011). O teste de micronúcleo, um biomarcador de genotoxicidade dos agentes que causam

fragmentação dos cromossomos em peixes e répteis, também demonstrou efeitos danosos ao DNA causados pela radiação UV (GROFF,2008).

Segundo Cardoso(2011), grande parte das pesquisas concentra seus estudos em adultos, larvas ou embriões de microcrustáceos e peixes, no entanto, poucos são os estudos com os macrocrustáceos, um grupo biologicamente diverso e amplamente distribuído geograficamente, importante para a dinâmica dos ambientes aquáticos como lagostas, caranguejos e camarões. O gênero *Macrobrachium* inclui espécies de camarões de água doce, como *Macrobrachium acanthurus*, *Macrobrachium potiuna* e *Macrobrachium olfersi*, os conhecidos pitus, que vivem em águas rasas, onde a radiação UV penetra facilmente e tem sua incidência aumentada a cada ano podendo afetar, assim, a dinâmica populacional dessas espécies(CARDOSO,2011). A espécie *Macrobrachium olfersi* possui o desenvolvimento embrionário de 14 dias, em condições de 24°C. Seus ovos são ricos em vitelo e possuem córion transparente e resistente. A clivagem é do tipo meroblástica superficial, onde o embrião, formado por células transparentes, arranja-se na periferia do ovo e mantém essa posição nos estágios subsequentes. Essas características embrionárias permitem uma visualização direta das mudanças morfológicas nos diferentes estágios da embriogênese ao longo do tempo de incubação, o que o torna um bom modelo animal para os estudos relativos a ação da radiação UV no desenvolvimento embrionário de invertebrados(CARDOSO,2011).

Nos estudos sobre os efeitos da radiação UV ressaltam-se a utilização de espécies de crustáceos em pesquisas sobre a dispersão de pigmentos nos cromatóforos, em exemplares adultos do caranguejo *Chasmagnathus granulatus* e do camarão *Palaemonetes argentinus* no estudo do sistema visual de adultos do caranguejo *Ucides cordatus* e em larvas dos caranguejos *Cancer oregonensis* e *Telmessus cheiragonus* (CARDOSO,2011). Em particular na especie de camarões *Macrobrachium olfersi* foram identificados efeitos da radiação UV na morfologia externa, índice mitótico e estresse celular de embriões(CARDOSO,2011).

A contínua degradação da camada de ozônio da Terra por poluentes atmosféricos tem gerado preocupação sobre o impacto do aumento da radiação ultravioleta-B solar (UV-B) nos ecossistemas aquáticos. UV-B é um componente pequeno (menos de 1% das calorias totais), mas altamente ativa do espectro solar que pode penetrar a uma profundidade biologicamente significativa em lagos e oceanos. Ele tem o potencial de causar efeitos de larga escala, incluindo mutagênese, depressão crônica dos principais processos fisiológicos, e estresse fisiológico agudo que pode resultar em morte. Há grandes incertezas no presente sobre as escalas de tempo e protocolos apropriados de bioensaios para avaliar tais efeitos. Células de

algas e cianobactérias têm quatro linhas de defesa contra os efeitos tóxicos da radiação UV-B. Algumas espécies evitam a exposição aos raios UV por sua escolha de habitat ou por estratégias de migração. Muitas espécies produzem pigmentos protetores solares que filtram comprimentos de onda UV. Por exemplo, os aminoácidos são uma classe particularmente importante de tais compostos. A maioria das células têm uma variedade de defesas contra os produtos finais tóxicos da radiação UV, tais como radicais livres de pigmentos carotenóides e superóxido-dismutase. Finalmente, a maioria das células têm pelo menos alguma capacidade de identificar e reparar os danos causados no DNA e em outras biomoléculas. Há uma grande variabilidade interespecífica na extensão de cada uma destas estratégias de defesa. Continuando a destruição do ozônio, ainda não é susceptível que cause um colapso abrupto da produção fotossintética, mas pode resultar em mudanças sutis, a nível da comunidade de produtores que poderia finalmente ter impacto sobre os níveis tróficos superiores (VINCENT & ROY, 1993).

2.Objetivos

2.1.Objetivos gerais

Realizar revisão da literatura sobre as Influências da radiação ultravioleta nos ecossistemas aquáticos e impactos em diferentes espécies, abordando artigos dos anos de 1993 a 2011, dos sites Google e PubMed.gov: <http://www.google.com.br> e <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.

As fontes consultadas são de literatura nacional e internacional, artigos originais, artigos de revisão e relatórios técnicos que tenham como palavras-chave: radiação UV, ecossistemas aquáticos, efeitos da radiação UV, peixes e zooplâncton e radiação UV. Avaliar as consequências da radiação UV nos indivíduos aquáticos e concluir se os efeitos são negativos ou não.

2.2.Objetivos específicos

Fornecer dados de trabalhos atuais , artigos originais, artigos de revisão e relatórios técnicos nacionais e internacionais publicados entre 1993 e 2011, de forma sintetizada para que sejam utilizados como base para futuros trabalhos científicos que busquem com palavras-chave: radiação UV, ecossistemas aquáticos, efeitos da radiação UV, peixes e zooplâncton e radiação UV; e que busque avaliar os efeitos da maior exposição dos indivíduos aquáticos à radiação UV.

3. Metodologia

Foi realizada revisão da literatura nacional e internacional sendo selecionados artigos originais, artigos de revisão, editoriais e relatórios técnicos publicados no período de 1993 à 2011 que tinham como palavras-chave: radiação UV, ecossistemas aquáticos, efeitos da radiação UV, peixes e zooplâncton e radiação UV; afim de avaliar as conseqüências da radiação UV nos indivíduos aquáticos e concluir se os efeitos são negativos ou nulos. Os artigos foram tirados dos sites Google: <http://www.google.com.br> e PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.

4. Resultados

4.1. Revisão bibliográfica

Durante os últimos vinte anos, foi observada uma redução na espessura da camada ozônio, principalmente nas latitudes médias e altas, atribuídas á produtos químicos utilizados pelos seres humanos. Esta redução aumenta em geral na direção dos pólos e com maior intensidade no chamado Buraco de Ozônio na Antártica. (MAIA&FRANÇA,2003 apud GROFF,2008). Isto quer dizer que com a diminuição da proteção fornecida pela camada de ozônio, a superfície terrestre, incluindo os corpos d'água, fica mais vulnerável à ação da radiação ultravioleta (GROFF, 2008). Os raios UV podem causar vários efeitos biológicos nos organismos (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição de alguns dos efeitos biológicos causados pela radiação UV em diferentes organismos.

Fonte: adaptado de CARDOSO,2011. Original disponível em:

<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95716/297132.pdf?sequence=1>

Radiação UV	Efeitos das radiações UV	organismos
UV-C	Esterilizante (lâmpadas germicidas)	Bactérias
	Desinfecção em estações de tratamento de água potável	Cianobactérias e dinoflagelados
	Queimadura na pele e inflamação dolorosa na córnea	Humanos
UV-B	Danos ao DNA pela produção de fotoprodutos e por reações de fotossensibilização	DNA de bactérias e ouriço do mar
	Atraso no crescimento devido ao up ou down regulation de genes envolvidos na replicação, processos de reparo do DNA e chaperonas	Zooplâncton
	Efeitos negativos na sobrevivência e crescimento	Protozoários marinhos e dulcícolas
UV-B	Alterações morfológicas externas e na Pigmentação dos olhos; baixo índice mitótico; estresse oxidativo	Crustáceos
	Efeitos subletais em embriões, larvas e adultos e morte de embriões	Anfíbios

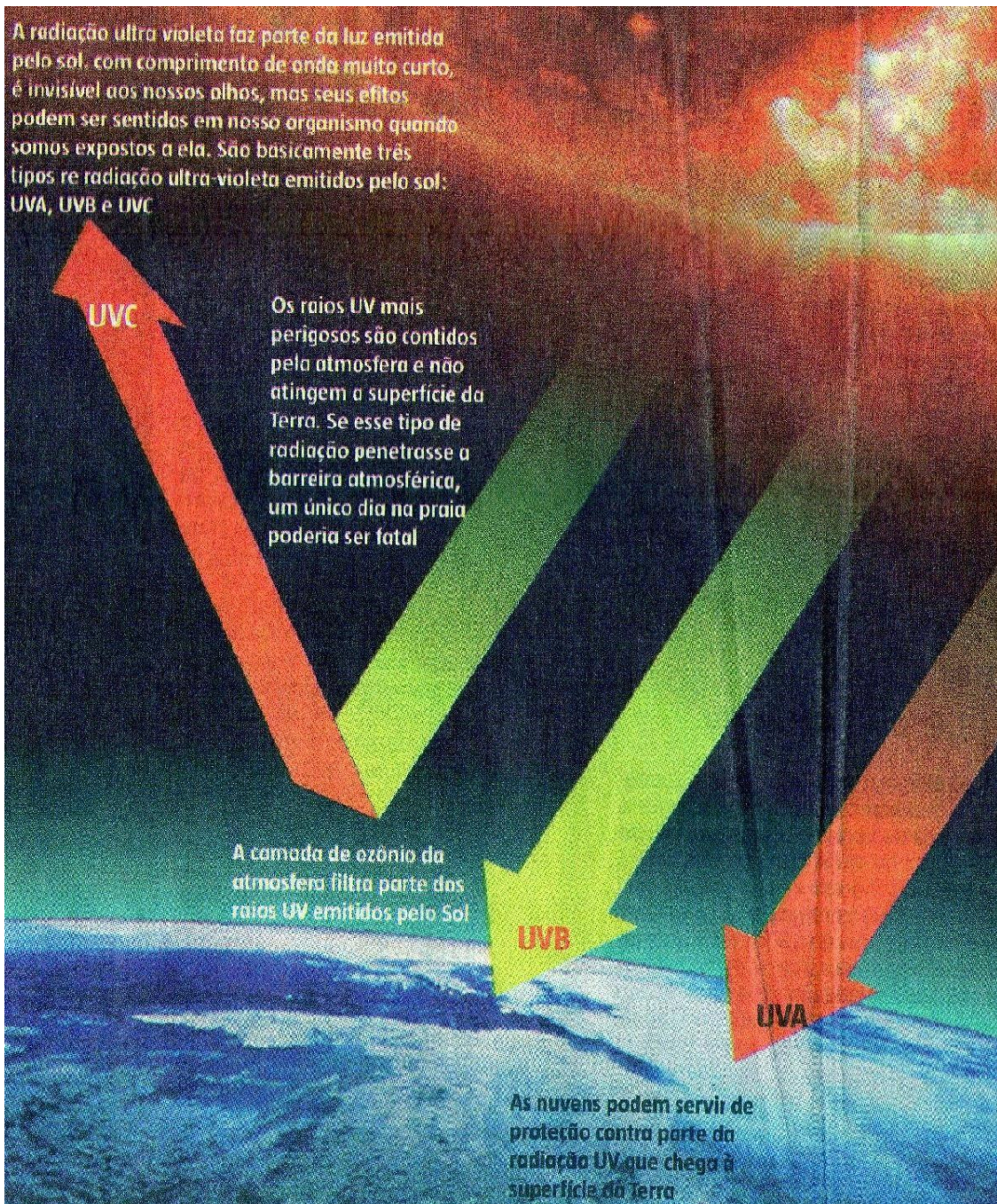
	Produção de espécies reativas de oxigênio, causando estresse oxidativo e danos a lipídios e proteínas	Peixes e humanos
	Síntese de vitamina D3	Humanos
UV-A	Produção fotodinâmica de radicais de hidroxila na célula, causando quebras e ligações cruzadas no DNA	DNA de bactérias

Segundo texto Ozonosfera, do Portal São Francisco, as radiações eletromagnéticas emitidas pelo Sol trazem energia para a Terra, entre as quais a radiação infravermelha, a luz visível e um misto de radiações e partículas, muitas destas nocivas. Grande parte da energia solar é absorvida e ou refletida pela atmosfera, se chegasse em sua totalidade à superfície do planeta o esterilizaria.(Figura 2)

A ozonosfera é uma das principais barreiras que nos protegem dos raios ultravioleta. Quando o oxigênio molecular da alta-atmosfera sofre interações devido à energia ultravioleta provinda do Sol, acaba dividindo-se em oxigênio atômico; o átomo de oxigênio e a molécula do mesmo elemento se unem devido à reionização, e acabam formando a molécula de ozônio cuja composição é O₃.

Figura 2: As radiações UVA,UVB e UVC.

Fonte: <http://biofiscando.blogspot.com.br/2010/03/os-raios-uv-e-pele.html>



A ozonoesfera saturada de ozônio funciona como um filtro onde as moléculas absorvem a radiação ultravioleta do Sol e, devido a reações fotoquímicas, é atenuado o seu efeito. O buraco da camada de Ozônio tem implicações muito maiores do que o câncer de pele nos humanos. As moléculas orgânicas expostas à radiação UV têm alterações significativas e formam ligações químicas nocivas aos seres vivos. A radiação UV atinge em especial o fitoplâncton que habita a superfície dos oceanos e morre pela sua ação.

As medições das populações desses organismos microscópicos sob o raio de ação do buraco da camada de Ozônio demonstraram uma redução de 25% desde o começo do século XXI até o ano de 2003, nas águas marinhas antárticas. A morte destes microorganismos causa uma redução da capacidade dos oceanos em extrair o dióxido de carbono da atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. Com a morte do fitoplâncton, o zooplâncton não sobrevive. Sem fitoplâncton, o krill deixa de existir, diminuindo a população dos peixes dos oceanos e assim por diante. Logo, a ozonosfera é primordial para que haja vida no planeta Terra.

Quando a pele humana é muito exposta à luz solar, pode desenvolver uma queimadura solar: a pele fica avermelhada, torna-se suave e, em casos graves, pode ocorrer formação de bolhas. Depois a superfície da pele “descasca” e a pele parece normal novamente. A queimadura solar era atribuída à luz solar, mas atualmente sabe-se que a radiação UV-B é a principal responsável. Esta é precisamente a gama de comprimentos de onda que vai aumentar no caso de diminuição do ozônio. (TEVINI, 1993)

Segundo Day & Neale (2002), a destruição do ozônio por gases antropogênicos aumentou a transmissão atmosférica de radiação solar ultravioleta B. As consequências do aumento da radiação UV-B sobre os níveis de produção primária tem crescido dramaticamente nos últimos 20 anos. Considerando que os compostos de triagem UV em produtores terrestres e aquáticos geralmente aumentam com a exposição UV-B, as implicações, embora potencialmente de longo alcance, não são claras. A fotossíntese é mais sensível à radiação UV-B em fitoplâncton do que nas plantas terrestres, provavelmente devido à menor eficácia na triagem do fitoplâncton. A produtividade de plantas terrestres é geralmente afetada pelo aumento da radiação UV-B, embora o crescimento reduzido tem sido observado e pode aumentar em magnitude ao longo de anos sucessivos. A produtividade aquática é muitas vezes comprometida por exposições de curta duração ao aumento da radiação UV-B, e avaliações de longo prazo são complicadas devido à natureza dinâmica dos sistemas aquáticos e por respostas não-lineares.

A contínua degradação da camada de ozônio da Terra por poluentes atmosféricos tem gerado preocupação sobre o impacto do aumento da radiação ultravioleta-B solar (UV-B) nos ecossistemas aquáticos. UV-B é um componente pequeno (menos de 1% das calorias totais), mas altamente ativa do espectro solar que pode penetrar a uma profundidade biologicamente significativas em lagos e oceanos. Ele tem o potencial de causar efeitos de larga escala,

incluindo mutagênese, depressão crônica dos principais processos fisiológicos, e estresse fisiológico aguda que pode resultar em morte. Há grandes incertezas no presente sobre as escalas de tempo e protocolos apropriados de bioensaios para avaliar tais efeitos. Células de algas e cianobactérias têm quatro linhas de defesa contra os efeitos tóxicos da radiação UV-B. Algumas espécies evitam a exposição aos raios UV por sua escolha de habitat ou por estratégias de migração. Muitas espécies produzem pigmentos protetores solares que filtram comprimentos de onda UV. Por exemplo os aminoácidos são uma classe particularmente importante de tais compostos. A maioria das células têm uma variedade de defesas contra os produtos finais tóxicos da radiação UV, tais como radicais livres de pigmentos carotenóides e superóxido-dismutase. Finalmente, a maioria das células têm pelo menos alguma capacidade de identificar e reparar os danos causados no DNA e em outras biomoléculas. Há uma grande variabilidade interespecífica na extensão de cada uma destas estratégias de defesa. Continuando a destruição do ozônio, ainda não é susceptível que cause um colapso abrupto da produção fotossintética, mas pode resultar em mudanças sutis, a nível da comunidade de produtores que poderia finalmente ter impacto sobre os níveis tróficos superiores (VINCENT & ROY, 1993).

Dentre as várias radiações que atingem o planeta estão os raios ultravioletas (UV), cuja distribuição varia de acordo com a latitude, e se intensifica na região equatorial. Assim, os ambientes tropicais, recebem maior radiação ultravioleta que as regiões temperadas e polares. Então, para saber se os raios estão afetando os peixes que habitam os rios da Amazônia, principalmente, os que apresentam estratégias respiratórias como o tambaqui e o pirarucu, foi desenvolvido o projeto “Efeitos da Radiação Ultravioleta no Pirarucu e Tambaqui: Análise dos Efeitos das Radiações UVA, UVB e UVR (UVA+UVB) sobre essas espécies”. O projeto foi desenvolvido pelo pesquisador do Laboratório de Ecofisiologia e Evolução Molecular do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Leem/Inpa), Adalberto Luís Val, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam), por meio do programa Programa Integrado de Pesquisa e Inovação Tecnológica. A pesquisa estudou os efeitos da radiação ultravioleta sobre os organismos aquáticos que pode ocorrer quando a mesma atinge as águas de alta transparência ou quando as espécies vêm à superfície para respirar. No caso dos peixes da Amazônia, a dependência da superfície aquática é muito maior que em outras bacias. Isso acontece porque seus ambientes são pouco oxigenados. Então, a saída dos peixes foi desenvolver estratégias respiratórias para poderem sobreviver. Durante as pesquisas, os testes feitos com os animais demonstraram que quando eles são

expostos à radiação UVB a mesma mostrou-se mais perigosa que quando expostos à UVA ou UVR (UVA + UVB). Os efeitos das radiações ultravioletas ocorrem em cinco níveis biológicos: sobre moléculas do citoplasma; sobre o material genético; sobre as células; sobre tecidos dos peixes e sobre o ecossistema como um todo. Nos peixes, em particular, dois efeitos são considerados: modificação da estrutura populacional por alterações na variabilidade genética, com reflexos significativos na pesca e em peixes de cativeiro, em razão de significativas perdas de indivíduos como consequência do efeito UV sobre vários processos fisiológicos e imunológicos que afetam seu crescimento e o desenvolvimento, podendo levar a morte. Espécies estudadas: O pirarucu (*Arapaima gigas*) é uma espécie de peixe que exibe respiração aquática até atingir o peso aproximado de sete gramas. Após esse tamanho, o pirarucu começa a ter respiração aérea, o que o obriga a vir à superfície regularmente. O tambaqui (*Colossoma macropomum*) pratica respiração na camada superficial da água quando o oxigênio está escasso no ambiente. Desta forma, tanto o pirarucu como o tambaqui (assim como as demais espécies de peixes com estratégias respiratórias semelhantes) são mais expostos à radiação UV quando comparados a outras espécies de peixes.

Danos ao material genético, queimadura do tecido epitelial e possível prejuízo à continuidade da espécie estão entre os efeitos maléficos que a exposição contínua aos raios UVA e UVB pode causar a esses animais.

O aquecimento global e o desmatamento agravam a situação, pois permitem que a radiação atinja as águas de forma cada vez mais intensa.

As queimaduras por exposição excessiva aos raios UV não acontecem só com seres humanos, e alerta que apareceram danos epiteliais muito fortes nas espécies de peixes analisadas,(Figura 3) embora a vitamina C presente nos animais ajude a protegê-los dos raios.

Nos testes em que os peixes não receberam dosagem extra de vitamina C, os resultados foram ainda piores.

Para agravar o problema, o desmatamento na Amazônia contribui para a maior incidência dos raios ultravioleta sobre os peixes, uma vez que a falta de cobertura vegetal e, conseqüentemente, da sombra das árvores, desprotege os rios. Desflorestar também provoca o assoreamento (acúmulo de sedimentos no leito do rio), o que diminui o tamanho da coluna d'água e expõe ainda mais os peixes à superfície.(TINOCO,2007)

Figura 3: Um exemplar de tambaqui (*Colossoma macropomum*) submetido em laboratório à radiação ultravioleta (à direita) sofreu lesão epitelial na parte superior da cabeça, enquanto o peixe que não ficou exposto aos raios UV (à esquerda) não apresentou queimaduras na pele. (Fotos: Cristhian Amado Castro Pérez).

Fonte:<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/zoologia/raios-solares-tambem-prejudicam-peixes>



Segundo Gouveia (2009), alguns efeitos da radiação UV têm sido descritos para organismos marinhos encontrados próximos à superfície, onde altos fluxos desta radiação estão presentes, como uma maior taxa de mortalidade em salmões *Oncorhynchus nerka* , em larvas de anchoíta(*Engraulis mordax*), em ovos de perca(*Perca flavescens*) e em larvas de *Esox lucius*. Outros autores também têm mostrado um aumento significativo no dano de DNA

em ovos, embriões e larvas de ouriços do mar(*Strongylocentrotus droebachiensis*), (*Sterechinus neumayeri*), (*Evechinus chloroticus*) , (*Sphaerechinus granularis*) e (*Paracentrotus lividus*), em caranguejos (*Chasmagnathus granulata*), em embriões de salamandra(*Ambystoma maculatum*) e do bacalhau (*Gadus morhua*) (GOUVEIA,2009).

Val(2006) ,destacou que o estudo realizado com a exposição de tambaquis à radiação apresentou alterações significativas nos índices hematológicos, nas células brancas (células de defesa) e em seu desempenho natatório. Já em relação ao pirarucu, foi detectado um aumento relativo às anormalidades nucleares eritrocíticas (ENA), causando a formação de células mutantes ou de células com erros genéticos.Segundo Groff(2008), as radiações UVA e UVB induzem principalmente dímeros de timinina no DNA e geram danos oxidativos.O estudo demonstrou que a radiação UV causou genotoxicidade pela análise de danos no DNA detectado pelo EC (Ensaio Cometa) em ambas as espécies de peixes.Os resultados em relação aos danos mostraram que quanto maior o tempo de exposição maiores são os danos em ambos os peixes.

Segundo professor Ricardo Daher, do Instituto Brasil PNUMA, quanto aos impactos ambientais causados pela destruição da camada de ozônio, na Antártida, o aumento da incidência do ultravioleta B (UV-B) pode lesar estruturas biológicas como o DNA, e o sistema fotossintético dos vegetais. O fitoplâncton, que é a base da cadeia alimentar, é muito sensível a radiação ultravioleta, e este afetado, assim como as bactérias marinhas, que alimentam o zooplâncton, comprometeria todo o equilíbrio do ecossistema da região. No Brasil, a destruição da camada de ozônio afetaria as colheitas agrícolas, tais como as de soja e algodão, e danificaria os sistemas aquáticos de recifes de corais, além dos já mencionados fitoplâncton, zooplâncton e, também, peixes jovens, afetando as atividades pesqueiras. A saúde da população poderia ser afetada através do aumento de casos de câncer de pele, catarata e distúrbios imunológicos.

A Radiação UV penetra profundidades significativas nos sistemas aquáticos e pode afetar tanto a água doce quanto a marinha a partir de grandes produtores de biomassa (fitoplâncton) para os consumidores (por exemplo, os peixes, zooplâncton) mais elevados na cadeia alimentar. Muitos fatores influenciam a profundidade de penetração da radiação em águas naturais, incluindo compostos orgânicos dissolvidos, cuja composição química e concentração são susceptíveis de ser influenciada pelo clima e variabilidade da radiação UV. Há também evidências consideráveis de que as espécies aquáticas utilizam muitos mecanismos para fotoproteção contra radiação excessiva. Muitas vezes, esses mecanismos de proteção

representam pressões de seleção conflitantes sobre as espécies que fazem a radiação UV um estressor adicional sobre o organismo. A influência da radiação UV-B no nível do ecossistema pode ser mais pronunciado na comunidade e estrutura de nível trófico, e, portanto, nos subsequentes ciclos biogeoquímicos, que em níveis de biomassa por si só.(HADER *et al* ;2007)

Bernal *et al* (2011),observou os efeitos letais da radiação UV-B em larvas de anfíbios como fator de stress. Foram examinados os efeitos sobre a sobrevivência embrionária, taxa de desenvolvimento, massa corporal e desempenho locomotor de embriões e larvas do sapo pântano listrado, *Limnodynastes peronii*. Descobriram que, a exposição aos raios UV-B teve efeitos negativos substanciais sobre os embriões em desenvolvimento de *L. peronii*.

Dahms *et al* (2011) descreveu efeitos negativos em animais ectotérmicos (invertebrados e peixes) que causam impedimentos em fases críticas do desenvolvimento (fases iniciais de vida , como gâmetas, zigotos e larvas). Apesar do tamanhos dos efeitos serem muito variados, os danos, mais freqüentemente observados são, celular e molecular, danos no tecido, na sobrevivência, no crescimento,no comportamento,na histologia, e ao nível das populações, comunidades e ecossistemas.

Embora haja uma escassez de dados e informações sobre o efeito da radiação UV-B sobre a estrutura do ecossistema aquático total vários estudos recentes têm abordado os efeitos sobre várias espécies em cada nível trófico. As alterações climáticas, a deposição ácida, e as alterações em outros estressores antropogênicos, como poluentes, podem alterar os níveis de exposição à radiação UV em águas doces e marinhas. Estes fatores causam consequências para uma variedade de organismos aquáticos.Os resultados recentes têm demonstrado os impactos negativos da exposição à radiação UV-B sobre os produtores primários, incluindo efeitos sobre cianobactérias, fitoplâncton, macroalgas e plantas aquáticas.A radiação UV-B é um estressor ambiental para muitos consumidores aquáticos, incluindo zooplâncton, crustáceos, anfíbios, peixes e corais. Muitos produtores aquáticos e consumidores contam com estratégias de prevenção, os mecanismos de reparação e síntese de UV,absorvendo substâncias para proteção (HADER,*et al*; 2011) .

Hader (2011) observou efeitos negativos na fixação de carbono pela fotossíntese das comunidades de fitoplâncton com diferenças espaciais entre águas costeiras e mar aberto. O aumento da temperatura e da acidificação do oceano devido à mudança climática pode exacerbar os efeitos causados pela radiação solar UV-B.

King *et al*(2010) estudou *Cryptosporidium* , um eucarioto membro do filo Apicomplexa. Utilizando técnicas de citometria de fluxo foi demonstrado que a radiação UV induz rapidamente exocitose no esporozóito, resultando numa redução significativa na capacidade de esporozoitos para anexar e invadir as células hospedeiras .A energia UV induz a despolarização da membrana do esporozoíto, resultando na redução do ATP celular e aumento do cálcio citosólico. Os resultados demonstraram, pela primeira vez como a radiação UV pode interferir na exocitose, um processo fundamental em todas as células eucarióticas.

Sharma *etal*(2010) observou como a exposição a radiação UV-B afeta os processos metabólicos e imunológicos sobre as enzimas digestivas e imunidade de larvas de *catla catla*.A concentração de proteínas variou diretamente com a duração da exposição e foi maior no peixe que tinha recebido 15 minutos de radiação UV-B. Atividades de amilase ,protease, tripsina e quimiotripsina foi encontrado em quantidade significativamente maior,em peixes expostos por maior tempo que os outros. O nível de lisozima diminuiu com o aumento da duração da radiação UV-B.

Richter *et al*(2007) observou o impacto da radiação solar sobre a motilidade em três espécies do fitoplâncton marinho: *Tetraselmis suecica*, *Dunaliella salina* e *Gymnodinium chlorophorum*. As células foram expostas à radiação ultravioleta-B e as três espécies exibiram comportamentos diferentes. *Tetraselmis suecica* foi insensível à radiação UV-B. Experiências de exposição não indicaram quaisquer alterações significativas na velocidade de natação nem na percentagem de células móveis, após 5 h de exposição. Por outro lado, *D. salina* era sensível à radiação UV-B exibindo uma diminuição significativa na velocidade de natação e percentagem de células móveis após 2-3 h de exposição. Além disso, as células de *D. salina* migraram no fundo da coluna de água, quando a radiação foi alta. A resposta de *G. chlorophorum* foi entre o das outras duas espécies testadas, com um decréscimo (mas significativo) ligeira na velocidade de natação e percentagem de células móveis em todos os tratamentos de radiação, após 5 h de exposição. Enquanto as células de *G. chlorophorum* eram mais ou menos homoganeamente distribuídas na coluna de água, a resposta de evitação à alta radiação, com a migração de células no fundo da coluna de água. Os dados indicaram claramente que estes efeitos sub-letais de radiação são espécie-específicos e eles podem ter implicações importantes para o ecossistema aquático.

De acordo com Zepp *et al*(2007), a matéria orgânica dissolvida controla a penetração de raios UV nos corpos de água mas a matéria orgânica dissolvida sofre fotodegradação pela radiação UV. Mudanças na quantidade de matéria orgânica dissolvida pode influenciar a

penetração da radiação UV em corpos de água com consequências importantes para processos biogeoquímicos aquáticos. Mudanças na produtividade primária aquática e decomposição devido ao clima, alterações relacionadas à circulação e fornecimento de nutrientes, ocorrem simultaneamente com um aumento da exposição a radiação UV-B, e têm efeitos sinérgicos sobre a penetração da luz para os ecossistemas aquáticos.

A radiação UV induz duas das mais abundantes lesões do DNA mutagênicos e citotóxicos, ciclobutano pirimidina dímeros (CPDs) e fotoprodutos pirimidina pirimidona (6-4PPs) e sua valência Dewar isômeros. No entanto, os organismos aquáticos têm desenvolvido um certo número de mecanismos de reparação e de tolerância para neutralizar os efeitos nocivos da radiação UV sobre o DNA. Fotorreativação com a ajuda da enzima fotoliase é um dos mecanismos de reparação mais importantes que ocorrem com frequência e em uma variedade de organismos. Reparação da excisão, a qual pode ser distinguida em reparação de excisão de base (BER), e reparação da excisão de nucleotídeos (NER), também desempenham um papel importante na reparação do DNA em diversos organismos, com a ajuda de um número de polimerases e glicosilase, respectivamente. Além disso, mecanismos como a reparação mutagênicas ou desvio de dímero, reparação recombinacional, postos de controle do ciclo celular, apoptose e certos mecanismos de reparo de alternativas também são operativa em vários organismos aquáticos. (HADER & SINHA; 2005)

O fitoplâncton marinho representa o ecossistema mais importante em nosso planeta e é a base da cadeia alimentar aquática e quaisquer mudanças no tamanho e composição das comunidades de fitoplâncton irá afetar diretamente a produção de alimentos para os seres humanos de fontes marinhas. Outra função importante do fitoplâncton marinho é servir como um dissipador para o dióxido de carbono atmosférico. Investigações recentes mostraram uma sensibilidade grande maioria dos organismos de fitoplâncton em relação a radiação solar ultravioleta de curto comprimento de onda (UV-B), mesmo em níveis ambientais de radiação UV-B muitos organismos parecem estar sob o stress UV. Por causa de sua necessidade de energia solar, o fitoplâncton habita as camadas superiores da coluna de água. Nesta posição, perto da superfície, o fitoplâncton será exposto à radiação ultravioleta solar. Tem sido demonstrado que esta radiação afeta o crescimento, a fotossíntese incorporação de azoto, e a atividade de enzimas. Outro alvos de radiação solar UV são proteínas e pigmentos envolvidos na fotossíntese. As macroalgas mostram um padrão distinto de distribuição vertical em seu habitat. Eles desenvolveram mecanismos para regular sua atividade fotossintética para se adaptar ao regime de mudança de luz e proteger-se da radiação excessiva. (HADER,2000)

Cianobactérias:

As cianobactérias são componentes dominantes da Antártida terrestre e comunidades de água doce. Muitas dessas comunidades vivem em habitats como lagoas rasas, paredes rochosas, morenas glaciais, e leitos que são expostos à radiação solar direta. A exposição à radiação UV pode provocar lesões citotóxicas específicas de cianobactérias na base de dímeros de DNA e inativação do fotossistema II. Também tem uma variedade de efeitos gerais debilitantes associados a danos proteína e foto-oxidação do pigmento. Estas respostas são em função do comprimento de onda, intensidade e duração da exposição. Como muitos outros fototróficos, as cianobactérias têm quatro linhas de defesa contra a exposição aos raios UV: prevenção, rastreamento, tempera e reparação. No entanto, existem grandes diferenças entre as espécies, incluindo espécies da Antártida, em sua capacidade de lidar com UV. A radiação solar intensa pode prejudicar alguns destes mecanismos de defesa. A mudança do fluxo de ultravioleta-B (UV-B) sobre a Antártida não é susceptível de provocar uma queda abrupta da produtividade nestes ecossistemas microbianos, mas pode causar alterações na estrutura da comunidade. A dispersão e as fases de colonização primária em ambientes terrestres antárticos podem ser particularmente vulneráveis a radiação UV-B no início ou antes do período de crescimento, por exemplo, durante o período de depleção do ozônio. Nesta época do ano os microrganismos ainda estão congelados e os seus mecanismos de reparo biossintéticos são susceptíveis de ser operacional. Qualquer dano fotoquímico incorridos durante este período pode permanecer desmarcada e cumulativa até o metabolismo celular recomeçar no verão (VINCENT & QUESADA, 1994).

Giordanino *et al* (2011) observou a influência dos raios UV sobre a fotossíntese e a morfologia de quatro espécies de cianobactérias : *Anabaena sp.*, *Nostoc sp.*, *Arthrospira platensis* e *Microcystis sp.* Em geral, as amostras tiveram diminuição das taxas de recuperação de rendimento quântico fotoquímico . Verificou-se que o aumento de radiação beneficiou o desempenho fotossintético de *Anabaena sp.* e *Nostoc sp.* mas não beneficiou o desempenho de *Microcystis sp.* e *A. platensis*. . No entanto, não foram encontrados efeitos morfológicas em *Microcystis sp.* Como estes efeitos e mecanismos afetarão a dinâmica trófica e produção dos ecossistemas aquáticos ainda é incerto, mas a especificidade das respostas sugere que nem todas as cianobactérias seriam igualmente beneficiados pelo aumento de radiação UV, podendo afetar o equilíbrio e a interação entre as espécies na coluna de água.

Segundo Noyma (2009), grupos de cianobactérias são afetadas negativamente pela radiação UV, elas têm algumas de suas atividades fisiológicas alteradas como crescimento, sobrevivência e enzimas do metabolismo de nitrogênio e fixação de CO₂. Num estudo realizado com cianobactérias da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, observou-se efeitos negativos significativos na densidade e integridade da membrana celular, e modificações morfológicas em que notou-se principalmente a redução da proporção de tilacóides e estruturas de armazenamento de pigmentos acessórios.

A maioria dos organismos aquáticos são afetados negativamente pela maior exposição aos raios UV-B (Tabela 2).

Tabela 2: Efeitos causados por exposição aos raios UV.

Indivíduo estudado	Autor(ES)	Efeito observado
Camarões <i>Macrobrachium olfersi</i>	(CARDOSO,2011)	Efeitos na morfologia externa, índice mitótico e estresse celular de embriões
Seres Humanos	(SCHABERLE E SILVA,2000)	eritemas, bronzeamento, diminuição da resposta imunológica, inativação celular e indução do câncer de pele, fotoenvelhecimento, fotoalergias, catarata em idade avançada, cegueira
Plantas	(SEELIG,2003)	atividade fotossintética reduzida, alteração na composição química de seus tecidos, por exemplo, aumentam a quantidade de pigmentos protetores nas suas folhas.
Peixes jovens, larvas de camarão, larvas de caranguejos, invertebrados, e plantas aquáticas	(SEELIG,2003)	a redução da fecundidade, do crescimento, da

<p>Microcrustáceos, poliquetas e peixes</p>	<p>(LACUNA & UYE,2000)</p>	<p>sobrevivência, e redução de outras funções vitais.</p> <p>atraso na eclosão e no crescimento dos embriões, mal formação e menor taxa de sobrevivência das larvas de microcrustáceos, poliquetas e peixes.</p>
<p>Zebrafish , Répteis e peixes</p>	<p>(GROFF,2008).</p>	<p>aumento de estresse oxidativo em zebrafish, fragmentação dos cromossomos em peixes e répteis, também demonstrou efeitos danosos ao DNA.</p>
<p>Bactérias marinhas e peixes</p>	<p>(CARDOSO,2011).</p>	<p>Formação de fotoprodutos</p>
<p>Tambaqui</p>	<p>(GROFF,2008)</p>	<p>alterações significativas nos índices hematológicos, nas células brancas (células de defesa) e em seu desempenho natatório.</p>
<p>Pirarucu</p>	<p>(GROFF,2008)</p>	<p>aumento relativo às anormalidades nucleares eritrocíticas (ENA),</p>

<p>Cianobactérias <i>Cylindrospermopsis</i> <i>raciborskii</i></p>	<p>(NOYMA,2009)</p>	<p>formação de células mutantes ou de células com erros genéticos, danos oxidativos.</p> <p>lesões citotóxicas na base de dímeros de DNA e inativação do fotossistema II, danos à proteína e foto-oxidação do pigmento. Algumas atividades fisiológicas alteradas como crescimento, sobrevivência e enzimas do metabolismo de nitrogênio e fixação de CO₂,efeitos negativos significativos na densidade e integridade da membrana celular ,e modificações morfológicas como a redução da proporção de tilacóides e estruturas de armazenamento de pigmentos acessórios.</p>
--	---------------------	--

Peixes	(VAL,2006).	Danos ao material genético, queimadura do tecido epitelial e possível prejuízo à continuidade da espécie
Salmões <i>Oncorhyncus nerka</i> , larvas de anchoíta (<i>Engraulis mordax</i>), ovos de perca (<i>Perca flavescens</i>) e larvas de <i>Esox lucius</i>	(GOUVEIA,2009).	maior taxa de mortalidade
Ovos, embriões e larvas de ouriços do mar (<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>), (<i>Sterechinus neumayeri</i>), (<i>Evechinus chloroticus</i>), (<i>Sphaerechinus granularis</i>) e (<i>Paracentrotus lividus</i>), caranguejos (<i>Chasmagnathus granulata</i>), embriões de salamandra (<i>Ambystoma maculatum</i>) e bacalhau (<i>Gadus morhua</i>) .	(GOUVEIA,2009).	aumento significativo no dano de DNA

Dos vinte e sete trabalhos consultados, todos apresentaram algum tipo de dano aos seres vivos causados pela radiação UV. Foram abordados trabalhos sobre o Tambaqui(*Colossoma macropomum*), o Pirarucu(*Arapaima gigas*), fitoplâncton, embriões do camarão de água-doce *Macrobrachium*, as cianobactérias *Cylindrospermopsis raciborskii*, larvas de alguns peixes, e algumas plantas aquáticas.

Danos ao material genético, queimadura do tecido epitelial e possível prejuízo à continuidade da espécie estão entre os efeitos maléficos que a exposição contínua aos raios UVA e UVB pode causar aos indivíduos da comunidade aquática.

A ocorrência de mutações pode causar graves problemas para as populações de peixes e já existem relatos de mortandade em massa. Outro ponto percebido foi efeito das radiações sobre o zooplâncton, que serve de alimento para esses peixes. Em peixes criados em tanques, observou-se perda de peso e de fertilidade.

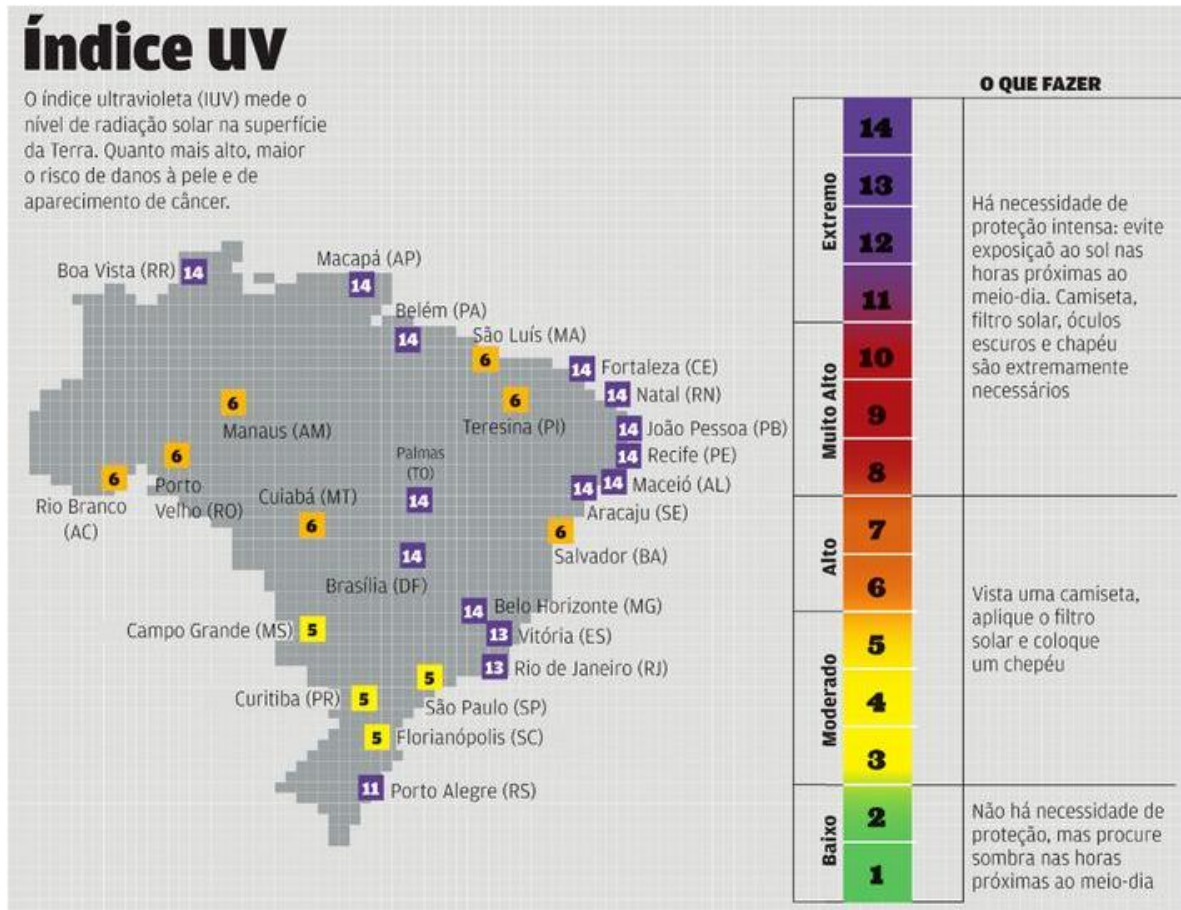
Os estudos mostraram também que queimaduras por exposição excessiva aos raios UV não acontecem só com seres humanos, e alerta que apareceram danos epiteliais muito fortes nas espécies de peixes analisadas, embora a vitamina C presente nos animais ajude a protegê-los dos raios; e os principais estudos sobre a radiação UV em peixes Tambaqui (*Colossoma macropomum*) e Pirarucu(*Arapaima gigas*), são realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA.

5. Discussão

A radiação ultravioleta nos ecossistemas aquáticos e seus impactos é um assunto de extrema importância pelas consequências que a radiação UV tem sobre os organismos diretamente (no DNA e em proteínas) ou no ambiente (cadeia alimentar).

No Brasil, o índice de radiação UV nas principais cidades e capitais, é de nível extremo,(Figura 4) e nas principais capitais como Brasília, Belo Horizonte e Rio de Janeiro há um grande número de construções civis, que produz muitos sedimentos que são carregados para os cursos de água e acabam reduzindo a coluna de água, expondo ainda mais os indivíduos que vivem nos ecossistemas aquáticos dessas regiões.

Figura 4: Índice UV no Brasil. Fonte: <http://clubezimute.com.br/portal/wp-content/uploads/2010/02/indiceUV.png>



Pensando em gerenciamento de recursos hídricos, este tema é ainda mais complexo já que o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos dependem de vários fatores dentre eles, a radiação solar UV que deve ser observado principalmente nos ambientes eutrofizados. A radiação UV pode dissociar moléculas de matéria orgânica dissolvida, que funciona como um filtro que barra a entrada desses raios na coluna de água, e assim pode expor esses ecossistemas a maior quantidade de raios UV.

6. Conclusão

Durante os últimos anos, foi observada uma diminuição na espessura da camada de ozônio. Com isso ocorreu o aumento da preocupação sobre os efeitos que os raios UV têm sobre os seres vivos aquáticos. Com este trabalho, fica claro que a maior exposição aos raios UV, acarretam danos irreversíveis aos indivíduos estudados. Danos ao material genético, queimadura do tecido epitelial e possível prejuízo à continuidade da espécie estão entre os efeitos maléficos que a exposição contínua aos raios UVA e UVB pode causar aos indivíduos da comunidade aquática.

Quanto aos danos observados, podemos dizer que por se tratar de um ecossistema, todos os seres que vivem nele, estão intimamente envolvidos, e por isso que um acontecimento não pode ser avaliado isoladamente. Trata-se de um sistema frágil em que todos os habitantes tem seu papel e seu nível trófico. Se um é afetado, mesmo que seja o menor deles, o resultado pode ser desastroso, como um efeito em cascata: a diminuição do fitoplâncton leva a morte do krill ,que serve de alimento para peixes, que também sofrerão com a diminuição do alimento disponível, e assim por diante, seguindo a cadeia alimentar.

Os resultados desta revisão bibliográfica contribuem para o entendimento dos efeitos que as radiações UV podem causar nos indivíduos das comunidades aquáticas servindo de base para futuros trabalhos sobre os efeitos da radiação UV nos organismos aquáticos.

Dos vinte e sete trabalhos consultados, todos apresentaram algum tipo de dano aos seres vivos causados pela radiação UV. Foram abordados trabalhos sobre o Tambaqui(*Colossoma macropomum*) ,o Pirarucu(*Arapaima gigas*), fitoplâncton, embriões do camarão de água-doce *Macrobrachium*, as cianobactérias *Cylindrospermopsis raciborskii*, larvas de alguns peixes, e algumas plantas aquáticas.

Danos ao material genético, queimadura do tecido epitelial e possível prejuízo à continuidade da espécie estão entre os efeitos maléficos que a exposição contínua aos raios UVA e UVB pode causar aos indivíduos da comunidade aquática.

A ocorrência de mutações pode causar graves problemas para as populações de peixes e já existem relatos de mortandade em massa. Outro ponto percebido foi efeito das radiações sobre o zooplâncton, que serve de alimento para esses peixes. Em peixes criados em tanques, observou-se perda de peso e de fertilidade.

7.Referências Bibliográficas

Alerta CEDOC

Disponível em:

http://www.sema.pa.gov.br/download/14-11-06_alerta.pdf

acesso em:29/10/2012

Bernal, M.H.; Alton, L.A.; Cramp, R.L.; Franklin, C.E.(2011):**Does simultaneous UV-B exposure enhance the lethal and sub-lethal effects of aquatic hypoxia on developing anuran embryos and larvae?**

Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21541673>

Acesso em:23/03/2013

Cardoso, V.M.(2011):**Efeitos da radiação ultravioleta-A e ultravioleta-B sobre os embriões do camarão de água-doce *Macrobrachium olfersi* (Crustacea, Decapoda) e o papel da radiação ultravioleta-A na fotorreativação.**

Disponível

em:

<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/95716/297132.pdf?sequence=1>

acesso em:29/11/2012

Coelho, R.M.P.(2007):**A atenuação da radiação ultravioleta visível em reservatórios e lagos de Minas Gerais:Influência do uso do solo e o papel do carbono orgânico dissolvido.**Relatório final.Disponível

em:

http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/CNPq_ultravioleta/r_cnpq_uv_rmpe.pdf

Acesso em: 10/09/2012

Daher, R. :**Camada de Ozônio.**Instituto Brasileiro PNUMA.Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.Disponível

em:

<http://www.brasilpnuma.org.br/saibamais/ozonio.html>

Acesso em:05/02/2013

Dahms, H.U.; Dobretsov, S. Lee, J.S.(2011): **Effects of radiation on marine ectotherms in polar regions.**

Disponível em:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21300175>

acesso em: 23/03/2013

Giordanino, M.V.; Strauch, S.M.; Villafaña, V.E.; Helbling, E.W.(2011):**Influence of temperature and UVR on photosynthesis and morphology of four species of cyanobacteria.** Disponível em:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21296589>

acesso em: 23/03/2013

Gouveia, G.R.(2009): **Penetração da radiação UV na coluna d'água do estuário da lagoa dos patos e seus efeitos sobre células e larvas de peixes.** Disponível em:
http://www.lei.furg.br/lei/teses/Tese_Gouveia_2009.pdf
Acesso em: 05/02/2013

Groff, A.A.(2008): **O Tambaqui(*Colossoma macropomum*) e o Pirarucu(*Arapaima gigas*) como organismos bioindicadores do efeito genotóxico da radiação ultravioleta(UVA e UVB).**Disponível em:

<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15487/000678232.pdf?sequence=1>

acesso em:29/10/2012

Häder, D.P.(2000):**Effects of solar UV-B radiation on aquatic ecosystems.** Disponível em:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12038489>

Acesso em:23/03/2013

Häder, D.P.(2011):**Does enhanced solar UV-B radiation affect marine primary producers in their natural habitats?** Disponível em:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21208211>

Acesso em:23/03/2013

Häder,D.P.; Helbling,E.W.; Williamson,C.E.; Worrest,R.C.(2011):**Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change.**Disponível em:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21253662>

Acesso em:23/03/2013

Häder,D.P.; Kumar,H.D.; Smith,R.C.; Worrest,R.C.(2007):**Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change.**Disponível em:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17344962>

acesso em:23/03/2013

Häder, D.P.; Sinha, R.P. (2005) **Solar ultraviolet radiation-induced DNA damage in aquatic organisms: potential environmental impact.** Disponível em:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15748649>
 Acesso em:23/03/2013

King, B.J.; Hoefel, D.; Wong, P.E.; Monis, P.T.(2010):**Solar radiation induces non-nuclear perturbations and a false start to regulated exocytosis in *Cryptosporidium parvum*.** Disponível em:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20668710>
 Acesso em:23/03/2013

Lacuna, D.G.; Uye, S-I.(2000): **Influence of mid-ultraviolet (UVB) radiation on the physiology of the marine planktonic copepod *Acartia omorii* and the potential role of photoreactivation.** Disponível em:
<http://plankt.oxfordjournals.org/content/23/2/143.full>

acesso em: 29/01/2013

Noyma, N.P.(2009): **Avaliação da ultraestrutura e morte celular em *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria) sob efeito da radiação ultravioleta.** Disponível em:
<http://www.ufjf.br/ecologia/dissertacoes/ano-2009/natalia-pessoa-noyma/>
 acesso em:19/10/2012

Portal São Francisco. Texto: **Ozonosfera.** Disponível em:
<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/camada-de-ozonio/meio-ambiente-ozonosfera.php>
 Acesso em: 05/02/2013

Richter, P.R.; Häder, D.P.; Gonçalves, R.J.; Marcoval, M.A.; Villafañe, V.E.; Helbling, E.W.(2007):**Vertical migration and motility responses in three marine phytoplankton species exposed to solar radiation.** Disponível em:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17645651>
 Acesso em:23/03/2013

Schaberle, F.A.; Silva, N.C.(2000):**Introdução à Física da Radioterapia.** Disponível em:
<http://www.fsc.ufsc.br/~canzian/intrort/efeitos.html>
 acesso em:19/10/2012

Seelig, M.(2003): **Radiação ultravioleta**.Disponível em:

<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-uv-seelig.pdf>

acesso em:20/10/2012

Tevini, M. (Ed.), 1993. **UV-B radiation and ozone depletion: effects on humans, animals, plants, microorganisms, and materials.**

Disponível em:

<http://www.ciesin.org/docs/001-540/001-540.html>

acesso em:26/11/2012

Tinoco, J. ,2007. **Radiação ultravioleta provoca danos à pele de peixes e pode acarretar mutações em espécies.**

Disponível em:

<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/zoologia/raios-solares-tambem-prejudicam-peixes>

acesso em:29/01/13

Val, L.A. (2006) **Radiação ultravioleta causa danos em peixes da Amazônia.**

Disponível em:

<http://portalamazonia.globo.com/new-structure/view/scripts/noticias/noticia.php?id=44680>

acesso em:26/11/2012

Vincent, W.F. ;Quesada, A.(1994) **Ultraviolet radiation effects on cyanobacteria: Implications for Antarctic microbial ecosystems.** Disponível em:

<http://www.agu.org/books/ar/v062/AR062p0111/AR062p0111.shtml>

acesso em:26/11/2012

Vincent,W.F.; Roy, S.(1993) **Solar ultraviolet-B radiation and aquatic primary production: damage, protection, and recovery.**

Disponível em: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.11001#.ulULO7ZeTAcbdD>

Acesso em:26/11/2012

Zepp, R.G.; Erickson, D.J. 3rd.; Paul, N.D.; Sulzberger, B. (2007):**Interactive effects of solar UV radiation and climate change on biogeochemical cycling**. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17344963>

Acesso em:23/03/2013