

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

A SEXTA EXTINÇÃO EM MASSA E O ANTROPOCENO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas, sob orientação da
Profª Drª Cristina Silveira Vega.

FERNANDA DITTMAR CARDOSO

CURITIBA
JUNHO, 2015

RESUMO

Eventos de extinção em massa correspondem a perda de mais de $\frac{3}{4}$ das espécies viventes num curto intervalo de tempo geológico. Ocorreram cinco grandes episódios de extinções em massa no Fanerozóico (nos períodos Ordoviciano, Devoniano, Permiano, Triássico e Cretáceo-Paleógeno), sendo o maior registrado no Permiano Superior. As causas foram diversas, como impactos de asteróides, mudanças climáticas, vulcanismo e elevação do nível dos mares. Ao período de influência humana na história dá-se o nome de Antropoceno, embora ainda não haja consenso do uso desse termo no tempo geológico. Atividades antrópicas como alterações na composição da atmosfera, aquecimento global, fragmentação de habitats, poluição, caça e pesca exacerbada, introdução de espécies invasoras e patógenos, além do grande crescimento populacional, podem causar consequências que fogem ao curso natural da vida na Terra. Estes fatores são responsáveis por gerar uma crise biótica atual, que pode ter uma magnitude comparável à das cinco extinções em massa do Fanerozóico, caso não sejam revistos os padrões de consumo e degradação ambiental da sociedade contemporânea.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 4 |
| 2. EXTINÇÕES | 5 |
| 2.1 CAUSAS DAS EXTINÇÕES..... | 8 |
| 2.2 OS CINCO EVENTOS PRINCIPAIS DE EXTINÇÕES EM MASSA DO FANEROZÓICO..... | 9 |
| 2.2.1 ORDOVICIANO SUPERIOR – SILURIANO INFERIOR (445,2MILHÕES DE ANOS)..... | 10 |
| 2.2.2 DEVONIANO SUPERIOR (372,2 MILHÕES DE ANOS) | 11 |
| 2.2.3 PERMIANO SUPERIOR/ LIMITE PERMO-TRIÁSSICO (252,2 MILHÕES DE ANOS)..... | 11 |
| 2.2.4 TRIÁSSICO SUPERIOR (201,3 MILHÕES DE ANOS)..... | 13 |
| 2.2.5 CRETÁCEO SUPERIOR – TERCIÁRIO (PALEÓGENO) (66 MILHÕES DE ANOS) | 13 |
| 3. A SEXTA EXTINÇÃO EM MASSA..... | 15 |
| 3.1 ANTROPOCENO | 16 |
| 3.2 ATIVIDADES ANTRÓPICAS: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS | 18 |
| 3.3 HISTÓRICO DA INFLUÊNCIA HUMANA NO AMBIENTE..... | 28 |
| 3.4 MAGNITUDE DA SEXTA EXTINÇÃO EM MASSA..... | 29 |
| 3.5 IMPACTOS E ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO | 31 |
| 4. CONCLUSÃO | 34 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 35 |

1. INTRODUÇÃO

Extinções em massa são caracterizadas como a perda de mais de $\frac{3}{4}$ das espécies presentes no planeta Terra, num curto intervalo de tempo geológico (Barnosky *et al.*, 2011). Nos últimos 540 milhões de anos, a Terra experimentou pelo menos cinco grandes eventos de extinção em massa, havendo evidências de estarmos em um sexto evento de grande magnitude.

As chamadas “Big Five”, ou seja, as cinco grandes extinções em massa, ocorreram no Ordoviciano (há cerca de 440 milhões de anos), Devoniano (365 milhões de anos), Permiano (250 milhões de anos), Triássico (215 milhões de anos) e Cretáceo-Paleógeno (65 milhões de anos) (Freeman & Herron, 2009). A maior extinção foi registrada no Permiano Superior, com uma perda de espécies estimada em 96% do total (Erwin, 1994 apud Barnosky *et al.*, 2011) e o evento mais amplamente conhecido ocorreu no Cretáceo, caracterizado como “Extinção K/T”, no qual os dinossauros não-avianos foram dizimados, dentre muitas outras espécies.

Estas grandes extinções ocorreram por diversos motivos, como choques de asteróides, mudanças climáticas, alterações na tectônica de placas, níveis globais de vulcanismo e elevação do nível dos mares. Assim, a compreensão destes eventos passados atua como chave para se entender o presente e prever o futuro com relação ao comportamento da vida segundo as variações na superfície terrestre.

Apesar da aceitação científica de que naturalmente espécies tem seu prazo de duração determinado, ou seja, surgem e se extinguem ao longo das eras geológicas, a ação humana pode causar consequências neste equilíbrio natural dos ecossistemas. A esta época da história da vida humana no planeta, e seus impactos, dá-se o nome Antropoceno (Crutzen, 2002).

No Antropoceno, o homem tem agido como uma força evolucionária, moldando a biodiversidade, causando pressões seletivas e extinguindo grande parte da fauna e flora atuais. Por meio de diversas atividades que podem reduzir a taxa de reprodução e de sobrevivência das espécies, a espécie humana tem sido considerada como o principal agente causador da sexta extinção em massa do Fanerozóico.

A proposição do nome Antropoceno tem sido discutida, visto que em termos geológicos, o nome só poderia ser usado se houvesse uma unidade estratigráfica que determinasse esta nova época. Devido ao curto intervalo de tempo que o homem tem atuado sobre o planeta, em relação às demais épocas geológicas, ainda não houve a

formação de uma nova camada que pudesse caracterizar uma unidade estratigráfica, seja por critérios litoestratigráficos, bioestratigráficos, magnetoestratigráficos ou cronoestratigráficos (ICS, 2015). Portanto, o termo Antropoceno tem sido aplicado levando em consideração somente a existência e as consequências do ser humano na Terra.

Este trabalho teve como propósito verificar a ocorrência de uma sexta extinção em massa, à luz dos demais eventos desta magnitude que já ocorreram, e avaliar sua relação com o Antropoceno, além de discutir a validade do uso desse termo na escala de tempo geológico, após o Holoceno.

2. EXTINÇÕES

Extinções de espécies ocorreram continuamente ao longo do tempo geológico, como meio de renovação e adaptação da biota às diferentes forçantes ambientais às quais está sujeita. Novacek (2001, *apud* Barnosky *et al.*, 2011) estima que, das 4 bilhões de espécies que se desenvolveram no planeta Terra nos últimos 3,5 bilhões de anos, 99% das mesmas já foram extintas. Embora seja uma estimativa gigantesca, ocorre um equilíbrio, no qual as extinções são balanceadas pelo surgimento de novas espécies, por meio da especiação (Schultz, 2010). Portanto, eventos de extinção e especiação ao longo de todo o tempo geológico foram responsáveis por moldar toda a biodiversidade existente no planeta hoje.

Os seres vivos apresentam um percurso desde seu nascimento, desenvolvimento, reprodução, até a morte, e diversos são os fatores que influenciam e moldam os atributos biológicos de cada espécie ao longo destes ciclos de vida. Interações bióticas e abióticas das espécies com o meio em que vivem, como relações inter ou intraespecíficas, doenças ou mudanças ambientais, são forças de seleção de indivíduos, que atuam diretamente na transformação de atributos de cada espécie (Schultz, 2010). Assim, pode haver a formação de novas espécies, e extinção de outras, quando se torna impossível que se mantenha uma população viável numa região (Begon *et al.*, 2007).

As extinções de ordem natural, as chamadas extinções de fundo, são aquelas que apresentam taxas normais, e são produtos da interação entre os organismos, em decorrência de uma variedade de causas internas e externas (Pievani, 2014). Ocorrem normalmente em populações pequenas e devido a diversos fatores, como competição

por recursos, predação excessiva, escassez de alimentos, irradiação de doenças ou modificações na qualidade do ambiente (por exemplo, mudanças climáticas) que podem reduzir a aptidão reprodutiva dos indivíduos da espécie, podendo levar a população a um nível que a torne incapaz de se manter (Jablonski, 1995; Begon *et al.*, 2007). O *Homo sapiens*, desde seu surgimento, tem levado à extinção de outras espécies, uma vez que age como um predador eficiente que não precisa de uma presa específica para se alimentar, o que causa um desequilíbrio entre as populações de predador e presa (Schultz, 2010).

Segundo Jablonski (1995), um evento é considerado como de extinção em massa quando a taxa de extinção aumenta abruptamente num curto intervalo de tempo, ocorrendo numa extensão global, envolvendo grande variedade de organismos. É uma extinção rápida com relação à duração de vida dos táxons que são eliminados. Pievani (2014) ressalta mais uma característica principal que envolve grandes extinções, a ausência de seleção de indivíduos para sobreviverem (a escolha dos que permanecem é aleatória), além das taxas de extinção anormais para famílias (20 a 65%) e para espécies (50 a 95%) por unidade de tempo, e a alta velocidade com que estas extinções ocorrem (poucos milhares de anos até 10 milhões de anos para todo o processo).

A existência de extinções abrangendo um grande número de espécies, com maior ou menor intensidade, se repetiu diversas vezes ao longo da história do planeta. A geologia registrou, desde o final do Pré-Cambriano (570 milhões de anos atrás) até o Pleistoceno (cerca de 12 mil anos atrás), cerca de nove extinções globais (Donovan, 1994 apud Sgarbi, 2001). Reconhecidas por Raup e Sepkoski (1982), cinco destas extinções ocorreram no Fanerozóico e são ilustradas na Figura 1 (adaptada de Schultz, 2010). Estes eventos foram marcantes por apresentarem taxas de extinção maiores que em qualquer outro período geológico, e exibirem uma perda de 75% ou mais das espécies estimadas como viventes naquele período (Barnosky *et al.*, 2011).

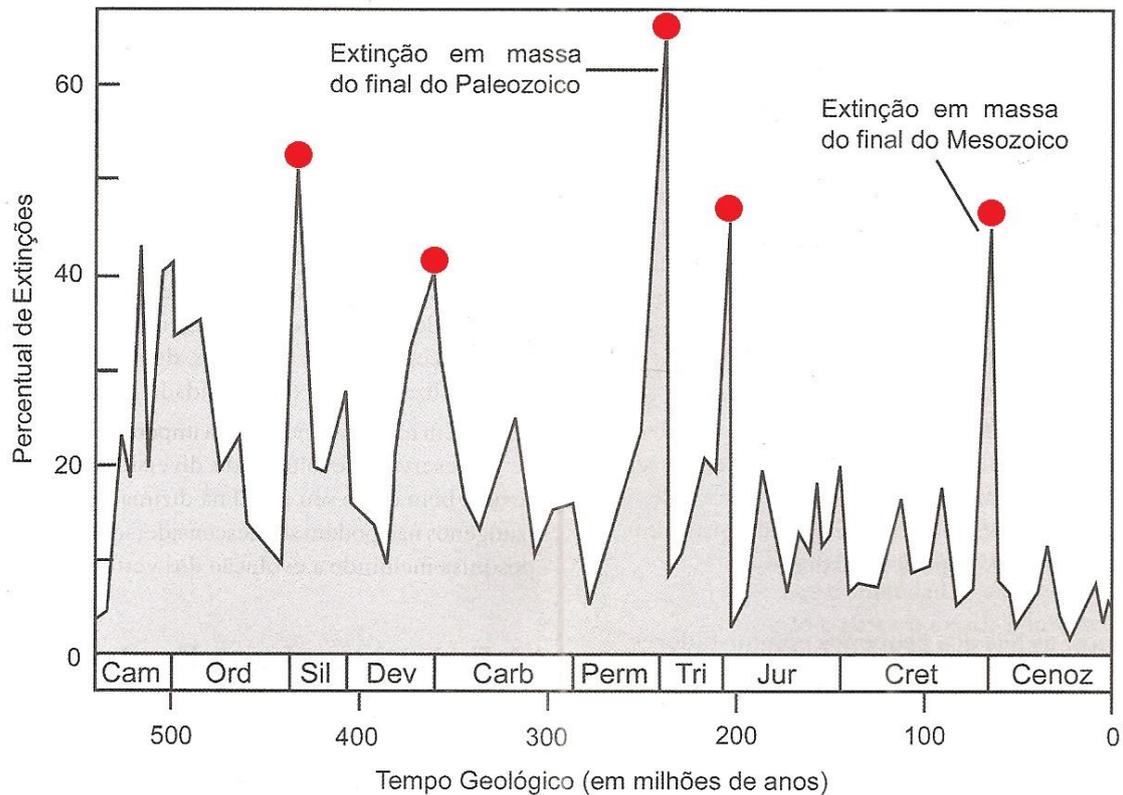


Figura 1. Diagrama de distribuição de extinções ao longo do Fanerozóico. As cinco maiores extinções em massa estão indicadas por pontos vermelhos. Fonte: Adaptado de Schultz (2010).

As cinco maiores extinções em massa ocorreram no final do Ordoviciano, final do Devoniano, Permiano Superior, final do Triássico e no limite Cretáceo-Paleógeno, sendo a maior extinção registrada no Permiano Superior, o que marcou o fim da Era Paleozóica e o início da Mesozóica.

Apesar da magnitude dos eventos, é importante reconhecer que essas cinco maiores extinções são responsáveis por 4% das extinções no Eon Fanerozóico, sendo que os 96% restantes ocorreram em taxas normais, ou seja, por extinções de fundo (Freeman & Herron, 2009). Embora não contemplem grande parte das extinções do Fanerozóico, é pertinente salientar que, após estes eventos de extinção em massa, estima-se que houve um período de cerca de 10 milhões de anos até que a riqueza de espécies voltasse aos níveis anteriores, claramente apresentando composição faunística e florística distintas (Kirchner & Well, 2000). Devido à abrangência de espécies extintas num mesmo curto intervalo de tempo, as extinções em massa acabam por mudar o rumo da evolução e promovem grandes alterações na biota do planeta. Assim, extinções em massa podem ser altamente destrutivas, mas também

são um importante agente de renovação evolutiva (Câmara, 2007). A extinção de um grupo pode facilitar a radiação adaptativa de outro existente, devido à liberação de nichos que podem ser ocupados pelas espécies que permaneceram (Machado *et al.*, 2006). Por exemplo, se não tivesse ocorrido o evento de extinção do fim do Cretáceo, é bem provável que a espécie humana não teria evoluído como se apresenta no momento. O desaparecimento dos dinossauros não-avianos, entre muitos outros grupos, nesta extinção em massa, permitiu que os mamíferos se diversificassem e ocupassem os habitats antes dominados pelos grupos extintos.

2.1 CAUSAS DAS EXTINÇÕES

Eventos de extinção em massa são relacionados tanto a causas extraterrestres, como impactos de corpos celestes na superfície do planeta, quanto a causas terrestres, como mudanças climáticas bruscas, variações do nível do mar, entre outros (Schultz, 2010). Grande parte dessas causas são associadas a atividades do manto terrestre, como os extremos do Ciclo de Wilson, que compreende o ciclo de surgimento e destruição da crosta terrestre, por meio do movimento das placas tectônicas (Grotzinger & Jordan, 2013). O Ciclo de Wilson tem duração aproximada de 300 milhões de anos e provoca eventos de glaciação e efeito estufa. A diminuição da temperatura do planeta intensifica as glaciações, e ocorre quando os continentes estão unidos (com a diminuição do vulcanismo, resfriamento global e redução do nível do mar), e o aumento da temperatura do planeta permite o alastramento de áreas com clima quente e úmido, quando as placas estão em expansão (o planeta aquece devido ao vulcanismo intenso e o nível do mar se eleva devido ao degelo de calotas polares e a acentuada produção de rochas nas cadeias mesoceânicas) (Press *et al.*, 2006)

Câmara (2007) cita algumas das causas de extinções em massa, como seguem:

- Eventos vulcânicos intensos e de longa duração, com derrames de lavas percorrendo milhares de quilômetros, cinzas vulcânicas, além de uma grande quantidade de gases, como dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e metano (CH₄);
- Impactos de grandes meteoritos e cometas;
- Variações acentuadas no nível do mar;
- Grande quantidade de emissões de CO₂ e CH₄ de depósitos oceânicos de carbono;

- Anoxia dos mares;
- Variações intensas de temperatura (eventos de efeito estufa e glaciação);
- Fortes variações na composição da atmosfera (O₂, CO₂ e óxidos de enxofre).

Raup e Sepkoski, em 1984, sugeriram uma periodicidade nas extinções em massa no Fanerozóico, que ocorreriam a cada 26-30 milhões de anos, devido à fatores extraterrestres. Há ainda um intenso debate sobre a existência desta periodicidade, sendo que para os autores que defendem esta idéia, provavelmente ocorreria por mecanismos astronômicos, como influências periódicas de poeira cósmica no percurso terrestre, a oscilação do Sistema Solar acima e abaixo do plano da galáxia, efeitos da proximidade periódica de um Planeta X, entre muitas outras especulações (Raup, 1991; House, 1995).

Hoje, há evidências que estamos num evento de extinção em massa, mas em decorrência de outras causas, provocadas pela espécie humana, como será discutido posteriormente.

2.2 OS CINCO EVENTOS PRINCIPAIS DE EXTINÇÃO EM MASSA DO FANEROZÓICO

Para que se chegasse aos atuais dados que corroboram as extinções em massa do Fanerozóico, houve um grande debate e constantes críticas às informações obtidas, uma vez que são vários os fatores que são levados em consideração na formulação de idéias científicas. Tanto aspectos biológicos, como geológicos e estatísticos são constantemente discutidos neste tema, como a dificuldade no estudo do registro fossilífero, as divergências na taxonomia dos grupos, os métodos estatísticos aplicados, erros de datação (Barnosky *et al.*, 2011), variações conceituais (como definições distintas de “evento de extinção em massa”), entre outros. Assim, embora não haja um consenso sobre a caracterização nem o número de extinções em massa que ocorreram na história do planeta, são apresentados a seguir os grandes eventos de extinção que são amplamente conhecidos e discutidos.

Apesar das evidências fossilíferas anteriores ao Cambriano (541 a 485,4 milhões de anos) serem insuficientes para caracterizar altas taxas de extinção, Machado *et al.* (2006) afirmam que houveram extinções em massa no Pré-Cambriano. Há 2,5 bilhões de anos, bactérias metanogênicas (antes predominantes nos mares de todo o planeta), foram dramaticamente extintas quando as cianobactérias (surgidas a 3 bilhões de

anos) começaram a se irradiar e produzir oxigênio em grandes quantidades, uma vez que metanógenos são anaeróbios estritos (Machado *et al.*, 2006). Este evento de extinção em massa causado, portanto, por um agente biológico e endógeno, pode ser evidenciado geologicamente por meio de depósitos de arenito vermelho de hematita datados desta época, considerando que a hematita é um mineral de ferro que só ocorre em atmosfera rica em oxigênio.

Os cinco principais episódios de extinção em massa são descritos a seguir.

2.2.1 ORDOVICIANO SUPERIOR – SILURIANO INFERIOR (445,2-443,8 MILHÕES DE ANOS)

Estima-se que nesta extinção em massa houve uma perda de 85% das espécies, e o evento se deu por dois pulsos de extinção, produzidos pela alternância de episódios glaciais e interglaciais (Sheehan, 2001). No primeiro pulso, no início da glaciação, houve regressão marinha, produzindo um clima severo, com mudança de habitats. O segundo pulso de extinção ocorreu devido ao término súbito do período de glaciação, com elevação do nível marinho, estagnação da circulação oceânica, gerando águas anóxicas e alterando climas e habitats. Além disso, o soerguimento e intemperismo das montanhas dos Apalaches, hoje na América do Norte, afetou diretamente a química da atmosfera e dos oceanos (Barnosky *et al.*, 2011).

Com um resfriamento intenso, depósitos glaciais foram distribuídos globalmente, evidenciados pela variação da frequência do isótopo de oxigênio (O_{18}) em carbonatos marinhos (Lenton, 2003). Devido à esta glaciação global, houve uma queda na concentração de oxigênio em águas profundas, além da regressão marinha epicontinental, prejudicando organismos abissais e de mares rasos, como vários grupos de cefalópodos, corais, briozoários, crinóides, graptólitos, gastrópodos, bivalves, trilobitas e conodontes, totalizando mais de 100 famílias de invertebrados marinhos extintas (Gaston & Spicer, 2004 apud Machado *et al.*, 2006). A recuperação da fauna levou de 5 a 7 milhões de anos e se deu por sobreviventes generalistas e com baixa diversidade, não ocorrendo uma inovação biológica significativa (Sheehan, 2001).

Como essa extinção em massa foi caracterizada por um evento de glaciação atípico no Siluriano, especula-se que este fato pode ter ocorrido como uma oscilação dentro de um ciclo menor que o Ciclo de Wilson (como o de Excentricidade de

Milankovich), ou ainda como resultado de um evento catastrófico de origem externa, porém, as causas ainda não estão esclarecidas (Sutcliffe *et al.*, 2000).

2.2.2 DEVONIANO SUPERIOR (372,2-358,9 MILHÕES DE ANOS)

Foram perdidos 35% dos gêneros sendo estimada a perda de 75% das espécies (Bambach, 2006). Ocorreu no limite Frasniano-Fameniano, e são atribuídas diversas causas a este evento de extinção em massa. Alterações climáticas, flutuações eustáticas, alastramento de águas anóxicas e ainda é debatida a hipótese do impacto de um corpo celeste (Streel *et al.*, 2000; Machado *et al.*, 2006; Câmara, 2007).

A expansão da vegetação terrestre possivelmente teve grande influência no clima do planeta (Barnosky *et al.*, 2011). Com o desenvolvimento das raízes, os solos foram sendo formados (pedogênese), sofreram intemperismo químico, e se tornaram ricos em matéria orgânica; a presença de detritos orgânicos em grandes quantidades tornou as águas pobres em oxigênio; a alta concentração de nutrientes promoveu a eutrofização das zonas costeiras, provocando a anoxia das águas epicontinentais; houve uma queda na concentração global de CO₂ na atmosfera, devido à fotossíntese e à maior residência do carbono no solo (Algeo *et al.*, 1998). Esses aspectos levaram à queda acentuada da temperatura do planeta, que já estava num evento de glaciação dentro do Ciclo de Wilson.

O evento de glaciação afetou principalmente a comunidade marinha, como os recifes de corais, que só voltaram a se diversificar no Mesozóico (Bambach, 2006; Machado *et al.*, 2006). Grupos de foraminíferos bentônicos, braquiópodos, trilobitas, conodontes, amonoides, acritarcos, agnatos e placodermos foram extintos (Bambach, 2006; Câmara, 2007). Apenas 17 das 70 famílias de peixes reconhecidas no Devoniano Superior sobreviveram no Carbonífero (Benton, 2005). Após o acontecimento, a fauna apresentou espécies generalistas e comunidades simples (Erwin, 1998 apud Machado *et al.*, 2006).

2.2.3 PERMIANO SUPERIOR/ LIMITE PERMO-TRIÁSSICO (252,2 MILHÕES DE ANOS)

É a maior extinção em massa registrada no Fanerozóico, sendo estimada a perda de 56% dos gêneros e 96% das espécies, afetando tanto a biota marinha como a

terrestre (Barnosky *et al.*, 2011). Foi um evento relativamente abrupto geologicamente, sendo associado possivelmente a um vulcanismo extremo ocorrido na Sibéria (Knoll *et al.*, 2007), atípico ao se considerar que o planeta estava num período glacial do Ciclo de Wilson. Há autores que afirmam que a erupção durou 600.000 anos, como Benton (2005). Já Erwin (2006) concluiu que pode ter durado apenas 200.000 anos. O evento foi tão intenso que causou o aquecimento global exacerbado, devido aos 3 a 4 milhões de quilômetros cúbicos de lava ejetados durante a erupção, o que aumentou rapidamente tanto as concentrações de CO₂ e H₂S como a temperatura na atmosfera e na água, e levou à liberação do CH₄ acumulado sob altas pressões no fundo dos oceanos e à anoxia marinha (Câmara, 2007; Knoll *et al.*, 2007). A presença dos gases na água acabou por levar à acidificação, assim como a anoxia oceânica (Knoll *et al.*, 2007). Pode ter ocorrido uma variação do nível do mar, uma vez que o planeta estava numa situação de Pangea (supercontinente formado, e portanto, nível do mar baixo) (Rees, 2002), houve um aumento abrupto da temperatura e uma acentuada formação de rochas pelo vulcanismo, resultando em subida do nível do mar.

A fauna terrestre foi sufocada pela liberação do CO₂ e CH₄, associada à redução dos níveis de oxigênio (que ficaram entre 10 e 15%) pela ampla oxidação de substâncias orgânicas e minerais (Ward, 2004 apud Câmara, 2007). Benton (2005) afirma que apenas 12 das 48 famílias de vertebrados terrestres existentes sobreviveram. Machado e colaboradores (2006) afirmam que foram dizimados todos os répteis basais (exceto os procolofonídeos), quase todos os anfíbios “labirintodontes” e a maior parte dos terápsidas, incluindo grande parcela dos dicinodontes; a anoxia e a acidificação marinha foram alguns dos fatores que acarretaram a extinção de 90% das espécies marinhas, como amonoides, foraminíferos, braquiópodos, corais, crinoides, equinodermos, briozoários e os últimos trilobitas. A vegetação e o fitoplâncton também foram afetados, como o desaparecimento total da flora de *Glossopteris*, de ampla distribuição geográfica (Câmara, 2007).

Algumas evidências corroboram a existência de um grande evento de extinção em massa nesse período, como a menor formação de carvão no final do Permiano, o que sugere que houve um acúmulo de CO₂ atmosférico pela diminuição da sua fixação em carvão (Rees, 2002); a substituição da flora de *Glossopteris* - de clima frio, pela flora de *Dicroidium* - de clima quente; cristais de quartzo fissurado, que podem estar relacionados a explosões vulcânicas (ou impacto de asteróides, mas até então não foi encontrado Irídio como evidência de queda de corpos celestes) (Knoll *et al.*, 2007).

2.2.4 TRIÁSSICO SUPERIOR (208,5-201,3 MILHÕES DE ANOS)

Estima-se que foram extintos 56% dos gêneros e 80% das espécies viventes (Barnosky et al., 2011). Caracteriza-se por ter sido uma extinção em massa proveniente dos efeitos de um aquecimento global. Blackburn e colaboradores (2013) comprovaram que a erupção da Província Magmática do Atlântico Central (CAMP, em inglês), que fraturou o Supercontinente Pangea dando origem ao Oceano Atlântico, provocou a elevação do nível de CO₂ e CH₄ a altas temperaturas, devido à liberação de milhões de quilômetros cúbicos de lava em 600.000 anos. Schootbrugge et al. (2007) salientam que a grande liberação de CO₂ afetou a dinâmica do carbono, acidificando os oceanos, causando uma crise na biocalcificação, expressa na redução drástica de recifes de corais por 8 milhões de anos.

Este episódio de extinção em massa eliminou vários vertebrados, como todos os “tecodontes”, rincocefálios, dicinodontes, sobrevivendo alguns sinápsidas, como mamíferos e alguns cinodontes carnívoros de pequeno porte (Câmara, 2007). Na fauna marinha, houve o desaparecimento de 58 famílias de cefalópodos, extinguiu-se amonoides e metade dos gêneros bivalves, ocorreu um declínio dos ostracodes, afetou braquiópodos e gastrópodos e dizimou 13 famílias de répteis marinhos (Machado et al., 2006). É relevante apontar o fim dos conodontes nesta época, uma vez que são cordados primitivos de grande importância estratigráfica (Câmara, 2007). As Glossopteridaceae, Peltaspermeaceae e Corystospermeaceae foram extintas, assim como 35 famílias de insetos e 8 famílias de peixes ósseos (Machado et al., 2006).

2.2.5 CRETÁCEO SUPERIOR – PALEÓGENO (TERCIÁRIO) (66 MILHÕES DE ANOS)

A mais conhecida extinção em massa ocorreu no limite K-T (K-Pg na nova nomenclatura) e estima-se que extinguiu 40% dos gêneros viventes e 76% das espécies (Barnosky et al., 2011). Ainda são muito discutidas as causas, mas são atribuídos diversos fatores que em conjunto promoveram este evento de extinção. Estudos recentes sugerem que houve um intenso vulcanismo seguido de um impacto de um asteróide, que acabou por provocar um cataclisma global (Ponte, 2013). O vulcanismo na Província Magmática de Deccan, na Índia, foi um dos mais intensos da

história, e provavelmente coincidiu com o impacto de um meteoro em Yucatán, no México, que deu origem à cratera Chicxulub, levando à extinção dos dinossauros não-avianos. Antes do impacto, a biota pode ter entrado em declínio devido ao evento em Deccan, com aquecimento global, liberação de CO₂, soerguimento tectônico que alterou a biogeografia e acelerou a erosão, contribuindo para a eutrofização dos oceanos, devido à grande quantidade de detritos orgânicos, seguida da anoxia das águas oceânicas, além do recuo do nível do mar, com crescimento de 27% da área terrestre (Barnosky *et al.*, 2011; MacLeod & Keller, 1996 apud Câmara, 2007). A liberação de CO₂ (gás de efeito estufa) foi pequena em relação aos outros vulcanismos do Fanerozóico, e foi seguida de um grande aumento nos níveis de SO₂, oriundo das erupções, que promoveu uma queda na temperatura, que aliada à imensa nuvem de cinzas, causou o resfriamento global e chuvas ácidas (Keller *et al.*, 2009).

Acredita-se que o impacto do corpo celeste, comprovado pela presença de Irídio em vários locais do globo (Schulte *et al.*, 2010) e na cratera de 180 a 300 km de diâmetro em Yucatán, tenha causado o fim de grupos que já estavam em decadência, como dinossauros não-avianos, pterossauros e amonóides, seja pelos efeitos do vulcanismo ou por outras pressões de seleção antes do período de extinção (Câmara, 2007). O impacto de grande potência, além de afetar diretamente os organismos, gerou uma intensa nuvem de poeira que cobriu a superfície terrestre, acabando por acentuar o resfriamento do planeta, além de influenciar na fotossíntese. O local da cratera apresentava CaSO₄, que no impacto foi liberado na forma de um aerossol de ácido sulfúrico, que gerou chuvas ácidas, além de se manter em suspensão na nuvem de poeira, favorecendo o bloqueio solar (Pope *et al.*, 1994). O resfriamento foi seguido de um aquecimento relacionado a emissão de CO₂ provocada pela vaporização de carbonatos na cratera de Chicxulub, que provavelmente estavam em maiores quantidades que o sulfato de cálcio (CaSO₄), primeiramente liberado (Pope *et al.*, 1994). A variação climática afetou alguns grupos remanescentes da biota, que já havia sofrido com os diversos efeitos ambientais anteriormente citados.

A extinção K-T eliminou várias espécies marinhas, como foraminíferos planctônicos, fitoplâncton calcáreo, moluscos (principalmente amonóides e alguns bivalves gigantes), corais, equinóides, briozoários, esponjas e répteis marinhos (Câmara, 2007). A fauna terrestre sofreu com a extinção de 36 famílias de vertebrados, incluindo os últimos dinossauros não-avianos (Carroll, 1997 apud Câmara, 2007). Há evidências de extinção de grande parte da vegetação terrestre, embora a maior parte

da vegetação nas latitudes médias e altas pareça ter sido pouco afetada (Carroll, 1997 apud Câmara, 2007). Acredita-se que a extinção não foi seletiva e atingiu ao acaso diferentes táxons, permanecendo vários grupos como as diatomáceas, os foraminíferos bentônicos, os braquiópodes, os gastrópodes, os artrópodes, grande parte dos peixes, tartarugas, lagartos, sendo curiosa a alta taxa de sobrevivência dos anfíbios, sensíveis a alterações ambientais (Câmara, 2007). Muitos grupos de mamíferos, aves, crocodilos e serpentes também não foram prejudicados, abrindo a oportunidade para a irradiação adaptativa destas espécies, após a extinção dos grandes répteis (Erwin, 1998 apud Machado *et al.*, 2006; Câmara, 2007).

3. A SEXTA EXTINÇÃO EM MASSA

A grande queda na biodiversidade ocasionada por atividades antrópicas atualmente caracteriza um sexto evento de extinção em massa (Machado *et al.*, 2006; Wake & Vredenburg, 2008; Freeman & Herron, 2009; Pievani, 2014). Como a biodiversidade contempla a diversidade genética, de espécies e ecossistêmica (Cincotta & Gorenflo, 2011), o declínio atual da diversidade abrange todas as suas formas. A queda na variabilidade genética, devido à extinção de espécies, contribui para a suscetibilidade dos organismos às pressões seletivas, reduzindo a adaptação dos mesmos às condições do meio ambiente. Os ecossistemas estão, portanto, fadados ao colapso, uma vez que não haverá equilíbrio entre o meio biótico e abiótico pela ausência de espécies tanto da flora como da fauna.

A queda da diversidade é generalizada e o homem tem sido apontado como o principal fator responsável. Em toda a história terrestre, as espécies não estiveram sujeitas a transformações semelhantes às causadas pelo homem, que consome os recursos de forma exacerbada, ocupando todas as esferas ambientais e pressionando as espécies que nelas vivem. A fragmentação de habitats, poluição, caça e pesca exagerada, introdução de espécies invasoras e patógenos, além do grande crescimento populacional, são ameaças causadas pela espécie humana e fatores estressantes para as outras espécies do planeta, podendo ocasionar as suas extinções (Barnosky *et al.*, 2011).

Segundo Eldredge (2009), o biólogo Edward O. Wilson, da Universidade de Harvard, em 1993, afirmou que a Terra estava perdendo cerca de 30.000 espécies por ano, o que daria uma média de 3 espécies extintas por hora. O ser humano inclusive

está causando a extinção de espécies sequer conhecidas ou descritas (Pievani, 2014). Em vista desta estatística, e da contínua pesquisa sobre o rumo que a humanidade está levando nas últimas décadas, muitos cientistas começaram a constatar esta nova crise na biodiversidade.

Nos outros eventos de extinção em massa, a evolução foi responsável por balancear a perda de espécies com o surgimento de novas. Atualmente, segundo Pievani (2014), dois aspectos devem ser considerados, levando em conta a relação entre o ser humano e as demais espécies: as taxas de evolução biológica são bem lentas em relação às taxas de evolução antrópica, portanto o tempo de recuperação de espécies não tem sido respeitado; a extinção em massa atual não tem sido equilibrada pela especiação e por radiações adaptativas. A variabilidade genética é a base para a evolução, e o que assegura as espécies do ataque por patógenos (Novacek, 2001 apud Pievani 2014); atualmente, no Antropoceno, a perda de biodiversidade está anulando o que realmente certifica a nossa sobrevivência no planeta, que é a evolução.

Do ponto de vista geológico, mudanças estão ocorrendo muito rapidamente, em vista do que as espécies já foram expostas anteriormente, na ausência do ser humano moderno. Por exemplo, alterações na composição da atmosfera, em decorrência de atividades industriais, produzem níveis de CO₂ que geram um aquecimento acima do esperado em épocas interglaciais, à qual estamos em curso, de acordo com o Ciclo de Milankovich (Grotzinger & Jordan, 2013). O homem pode estar acelerando processos naturais, e não se conhece os efeitos destas ações no futuro tempo geológico, seja para as espécies ou para o próprio planeta.

3.1 ANTROPOCENO

O termo Antropoceno foi introduzido pela primeira vez em 2002, por Crutzen, para designar uma nova época, na qual a espécie humana tem provocado mudanças significativas no comportamento natural do planeta. O mesmo autor (Crutzen, 2002) estima que estas mudanças tenham iniciado no final do século XVIII, com o advento da industrialização, marcado pelo aumento das concentrações de dióxido de carbono e metano na atmosfera, confirmado por análises destes gases aprisionados no gelo polar.

Crutzen (2002) também ressalta a grande exploração de recursos naturais pelo homem, devido ao crescimento populacional exacerbado. Superexploração de madeira,

construção de barragens em rios, redução de estoques pesqueiros, químicos na agricultura, produção de energia com liberação de poluentes e o consumo de mais da metade de água doce disponível são algumas das atividades antrópicas que podem causar desequilíbrio na dinâmica da superfície terrestre. Assim, o autor conclui que, se não houver nenhum impacto catastrófico (como meteoros ou erupções, como aconteceu em outras épocas geológicas), o homem será a maior força ambiental por muitos milênios. Por meio de todas as ações antrópicas atuais, seguramente é possível afirmar que o homem tem apresentado papel chave na nova dinâmica ecológica, sendo apontado como a principal causa da Sexta Extinção em Massa (e. g. Barnosky *et al.*, 2011).

Sabe-se que o impacto humano no equilíbrio ecológico se deu muito antes do século XVIII. Eldredge (2009) afirma que há 100.000 anos, quando o homem começou a se dispersar pelas várias regiões do mundo, este já causou extinções de muitas espécies nativas, por caça excessiva e dispersão de patógenos em espécies que nunca haviam tido contato com humanos.

O termo Antropoceno também remonta ao estabelecimento do *Homo sapiens* como a força evolucionária dominante (Palumbi, 2001), uma vez que somos responsáveis pelas várias condições a que as espécies estão sujeitas, às diversas pressões seletivas que nós, seres humanos, criamos.

Apesar de ser evidente que a atividade humana tem dominado processos na superfície terrestre, a época Antropoceno ainda não é um termo precisamente definido nos termos geológicos, segundo Visconti (2014). A principal crítica, segundo alguns autores (Autin & Holbrook, 2012; Gibbard & Walker, 2014), é que não há uma camada estratigráfica que determine esta cronologia, fator que é o ponto de partida para determinar uma nova época. São seguidos os mais diversos critérios para se denominar uma nova época geológica, além das considerações a serem seguidas para estabelecer um novo estrato, como o tipo de rocha, sua idade, origem e o registro fossilífero, por exemplo (Suguio, 2003). Para ser devidamente classificado, Gibbard & Walker (2014) afirmam que deve haver uma marcação global que diferencie o Antropoceno do Holoceno, como algum indicador biológico, sedimentar ou geoquímico, e apesar das ações humanas produzirem variações nas sequências geológicas, é incerto que estes efeitos sejam suficientemente distintos, consistentes e passíveis de datação para fundamentar esta nova camada.

Algumas ideias têm sido propostas para determinar a época Antropoceno, como o uso de radionuclídeos antropogênicos depositados na superfície em meados de 1900 (Hancock *et al.*, 2014), e por micropaleontologia, através de variações biológicas na microflora e microfauna causadas por atividades antrópicas (Wilkinson *et al.*, 2014). Certini e Scalenghe (2011) propuseram definir o início do impacto humano no ambiente por meio solos antropizados. Porém, somente os primeiros metros são correspondentes ao período do homem sobre o ambiente, além do potencial de preservação do solo ser baixo, dentre outros fatores que não sustentam todos os pré-requisitos necessários para serem utilizados como marcadores de tempo (Gale & Hoare, 2012).

Como o requisito principal para a classificação da nova época é a ocorrência de um novo estrato (Gale & Hoare, 2012), e ainda não houve tempo necessário para que tenha ocorrido deposição e formação desse novo andar estratigráfico, a definição de Antropoceno como a era atual trata-se de um aspecto da história humana (Finney comunicação pessoal *apud* Visconti, 2014) e não da história geológica, uma vez que não considera as partes litológicas e cronoestratigráficas.

3.2 ATIVIDADES ANTRÓPICAS: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS

Pievani (2014) indica três parâmetros, que em sinergia, provocam uma extinção em massa: mudanças climáticas aceleradas, alterações na composição da atmosfera e estressores ecológicos com intensidades anormais, além do feedback entre os três. De acordo com Barnosky *et al.* (2011), todos os fatores estão sendo verificados atualmente, o que certifica a ocorrência de uma sexta extinção em massa, sem considerar as taxas de extinção de espécies.

Wilson (2010a) propôs um modelo que contempla as principais causas de perda de biodiversidade pela ação humana, o qual foi denominado HIPPO. HIPPO é uma sigla, onde: “H” se refere a *Habitat fragmentation*, ou seja, fragmentação do habitat principalmente devido à abertura de florestas para construção civil, pastagens e agricultura intensiva; “I” diz respeito à *Invasive species*, ou seja, introdução de espécies invasoras, que são capazes de causar extinções em massa em grandes regiões, assim como em ilhas e arquipélagos; “P” indica *Population growth*, isto é, o crescimento populacional humano exacerbado, bem como estabelecimento e desenvolvimento de grandes aglomerados urbanos; “P” é relativo à *Pollution*, ou seja, poluição por

indústrias, agricultura, portos, envolvendo todas as matrizes ambientais; “O” é referente a *Overexploitation of biological resources*, isto é, superexploração ou sobrexploração de recursos biológicos, principalmente por caça e pesca predatórias.

Este modelo não contempla as mudanças climáticas (p.e. aquecimento global) que estão sendo provocadas pela industrialização, mas é importante ressaltar a importância deste fator no ciclo de espécies. Hails (2008) aponta a mudança no clima como a maior ameaça à biodiversidade nas últimas décadas.

A Figura 2 ilustra algumas causas e suas contribuições para a atual crise na biodiversidade. É possível evidenciar que a degradação e perda de habitat concentram 45% da ameaça à riqueza de espécies, seguida da superexploração, com 37%.

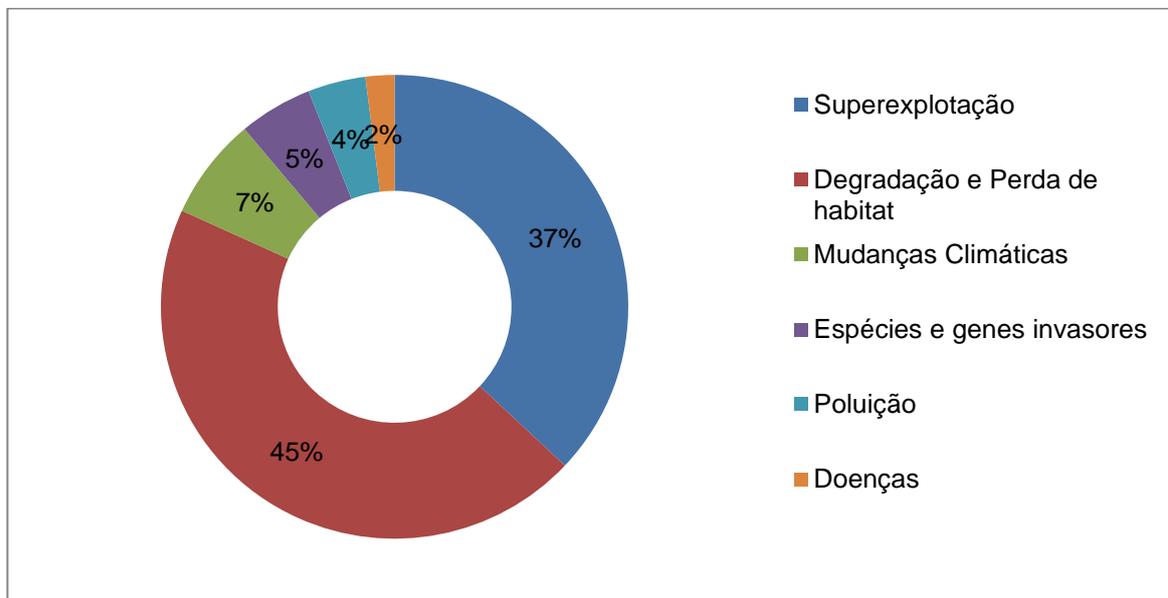


Figura 2. Algumas das ameaças à biodiversidade, considerando informações referentes à 3430 populações de vertebrados (Adaptado de McLellan, 2014).

Os aspectos apontados por Wilson (2010a) interagem entre si, convergindo para uma soma de fatores que tem causado a perda massiva de espécies. Cada um destes elementos será descrito a seguir, assim como as mudanças climáticas, em vista de toda a problemática que tem sido discutida sobre este tema e do seu impacto na biodiversidade.

- Fragmentação de Habitat

Primeiramente, habitat é definido como o local onde uma espécie vive, e este local abriga o nicho da espécie, ou seja, todas as condições e recursos necessários para cumprir as tolerâncias e exigências da espécie (Townsend *et al.*, 2010). A fragmentação do habitat, como o próprio nome diz, é a divisão de uma área habitada por uma espécie em várias áreas menores, isoladas umas das outras por uma matriz, compondo habitats diferentes dos originais (Fahrig, 2003). A fragmentação pode ser causada em ambientes terrestres, pela exploração de florestas para uso extrativista, construção civil (rodovias, centros urbanos), abertura de florestas para agricultura e pastagens, queimadas, e em ambientes marinhos, pela degradação de fundo oceânico por rede de arrasto, por indústrias extrativistas, entre outros (Hails, 2008).

Uma vez que ocorre a perda do habitat original, são produzidos diversos efeitos na biota. Fahrig (2003), em sua revisão sobre o assunto, concluiu que a perda de habitat gera encurtamento de cadeias tróficas, modificações na interação de espécies, além de afetar a reprodução, dispersão, predação e forrageamento. Todos estes aspectos em conjunto levam à uma grande probabilidade de que ocorram extinções, caso as espécies não consigam lidar com as novas mudanças.

As áreas menores e isoladas, provenientes da fragmentação do habitat, podem ser reduzidas ao ponto de que sejam insustentáveis, diminuindo significativamente o tamanho da população (Fahrig, 2003). Assim, os indivíduos à ela pertencentes têm seu valor adaptativo reduzido, uma vez que irá ocorrer perda de diversidade genética, por redução na heterozigose, além da diminuição do vigor reprodutivo e possível fixação de alelos deletérios por conta da endogamia (acasalamento com descendentes muito próximos filogeneticamente) (Oliveira *et al.*, 2006).

O isolamento também provoca efeitos de borda, pela interação de dois ecossistemas distintos, gerando efeitos tanto bióticos com abióticos em cascata. O ambiente aberto ao redor dos fragmentos produz maior intensidade de luz nas bordas dos mesmos, fazendo com que se estabeleça um microclima na região, com reduzida umidade, temperatura elevada (tanto do solo como do ar), maior fluxo de vento, reduzida ciclagem de nutrientes, afetando as espécies ali viventes (Murcia, 1995). Como consequência, a composição e distribuição de espécies é modificada, em função da tolerância fisiológica das mesmas. Desta forma, efeitos de borda também podem levar à extinção, novamente devido a suscetibilidade dos indivíduos às mudanças ambientais.

Pievani (2014) ressalta que a atual tendência de extinções, fragmentação e perda de habitat irá comprometer espécies com hábito mais especializado e restritas a determinados locais, e favorecer espécies oportunistas, com tamanho corporal pequeno, e capazes de sobreviver com a presença humana global. Desta forma, é provável que ocorra um sucesso desproporcional de pragas, ervas daninhas, espécies como baratas, ratos, corvos, entre outros.

- Espécies invasoras

Espécie invasora é aquela que foi introduzida em um ambiente que não é o seu nativo, e obteve sucesso no seu estabelecimento por diversos fatores, como abundância de recursos, ausência de predadores, baixa biodiversidade local, assim como a suscetibilidade do ambiente (p.e, ambientes poluídos) (Souza *et al.*, 2009).

Espécies invasoras podem competir com espécies nativas, substituí-las, assim como predá-las e disseminar doenças e parasitas. Deste modo, a espécie em questão destrutura todo o habitat natural, afetando o equilíbrio de cadeias alimentares, que com o tempo, acabam por reduzir a riqueza de espécies locais, provocando extinções e contribuindo para a queda na biodiversidade global (Delariva & Agostinho, 1999). Além de extinções, espécies exóticas invasoras podem reduzir o *pool* gênico pelo cruzamento com espécies nativas congêneres, originando híbridos (McDonald, 1996 apud Delariva & Agostinho, 1999). A hibridação pode proporcionar a redução da população, levando ao declínio da diversidade genética, e consequente suscetibilidade ambiental e endogamia (Delariva & Agostinho, 1999; Oliveira *et al.*, 2006).

Com o avanço da globalização, em decorrência do crescimento populacional humano, tem ocorrido uma aceleração no processo de invasão. O aumento do transporte de espécies, seja proposital (p.e. comércio ilegal) ou não (p.e. cracas e outros organismos em cascos de navios), tem por consequência o aumento na disseminação de espécies invasoras, fato apontado como responsável pela “homogeneização antropogênica”, pela similaridade, causada pelo homem, na composição da biota em vários locais do planeta, e consequente redução da diversidade (Souza *et al.*, 2009). Deste modo, a bioinvasão é um dos elementos mais impactantes para a biodiversidade proporcionado pela espécie humana.

O estado do ambiente invadido influencia no estabelecimento da espécie invasora. Ambientes isolados, de baixa diversidade de espécies nativas, similares aos

de origem das espécies introduzidas e alterados são os mais propensos à invasão (Delariva & Agostinho, 1999). Por exemplo, em ambientes poluídos estas espécies têm sucesso no seu desenvolvimento, provavelmente, por encontrarem menor competição (Souza *et al.*, 2009). E neste ponto, é importante salientar o impacto de um outro elemento do modelo HIPPO, a poluição.

- Crescimento populacional

Além de problemas socioeconômicos, o crescimento populacional humano exacerbado traz consequências diretas para a perda da biodiversidade e para a atual extinção em massa. Com o maior contingente populacional, é necessária a exploração de recursos suficiente para atendê-lo, incluindo terras agrícolas, pecuária, assentamentos, matéria-prima para construção civil e tecnologias, além de água, essencial para qualquer ser vivo (Mora, 2014).

Hails (2008) afirma que todos os elementos de perda de biodiversidade citados neste trabalho, como perda de habitat de outras espécies e superexploração de recursos biológicos, são frutos da demanda humana por alimento, água, energia e materiais, que reflete na produção e consumo de produtos agropecuários e pesqueiros, madeira e papel, transporte e terras para cidades e suas infraestruturas. Logo, à medida que a população humana aumenta, a economia cresce e estas demandas causam maior impacto à biodiversidade. Como os recursos e terras são limitados, outras espécies sofrerão com o desenvolvimento e ocupação humana desordenada. Desta forma, são afetados também os próprios seres humanos, como já é evidenciado pelas condições de pobreza extrema e fome de mais de um bilhão de pessoas, além da falta de água potável e abrigo para muitos (Mora, 2014).

A perda da biodiversidade tem direta influência na vida humana, contribuindo para a insegurança de recursos alimentícios e energia, vulnerabilidade a desastres naturais (e.g. enchentes), redução na qualidade e disponibilidade de água, impactos na saúde, além de efeitos negativos no patrimônio cultural da humanidade (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Desta forma, o aumento populacional em si estimula a queda na capacidade de manutenção da vida humana no planeta.

- Poluição

As ações humanas no planeta geram resíduos e efluentes, e a sua disposição incorreta e/ou ausência de tratamento provocam impactos negativos no ecossistema em que vivemos. Além da produção de efluentes domésticos (esgotos) e resíduos sólidos (lixo), atividades industriais e agropecuárias, como produção de alimentos (vegetais, carne, leite), petróleo, fibras têxteis, elementos de construção civil, mineração, assim como meios de transporte, uso de energia e combustíveis fósseis, são fatores que acarretam desequilíbrios ecossistêmicos e efeitos tóxicos em muitas espécies (Hails, 2008). Ou seja, toda a atividade humana de exploração e consumo, que mantém o modo de vida que temos hoje, polui o ambiente e afeta a biodiversidade.

O excesso de nutrientes em ambientes aquáticos, que pode ser proveniente de efluentes domésticos e fertilizantes, causa a eutrofização e depleção no nível de oxigênio dissolvido, desestruturando a cadeia trófica e reduzindo a taxa de sobrevivência das espécies locais (Esteves, 1998). Poluentes químicos tóxicos oriundos de agroquímicos, efluentes industriais e de mineração, também podem ser introduzidos em ambientes aquáticos, podendo ser letais aos organismos, além de alguns sofrerem bioacumulação e biomagnificação, chegando a níveis tróficos altos (Knutzen, 1995; Hails, 2008; Torres *et al.*, 2012). O derramamento acidental de petróleo, por embarcações ou plataformas de extração, além de introduzir compostos químicos tóxicos no ambiente, pode impregnar diretamente óleo nos animais (p.e. aves), possivelmente sendo letal, e afetar a incidência luminosa, reduzindo a produtividade primária de ecossistemas aquáticos, ocasionando a asfixia de muitos organismos (Neubauer Filho, 2009).

A liberação de gases tóxicos, principalmente SO_3 , por indústrias, veículos e embarcações pode provocar chuvas ácidas (com ácido sulfúrico, por exemplo), que comprometem a sobrevivência da fauna e da flora a elas expostas, além de danos materiais (CETESB, 2015). Além disso, a produção crescente de gás carbônico, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, leva à acidificação de oceanos, pela combinação do gás com a água, formando ácido carbônico; o pH resultante altera o equilíbrio de carbonatos e bicarbonatos na água, afetando organismos marinhos na fabricação de suas conchas e partes duras, além da corrosão de recifes de corais, que possuem grande riqueza de espécies (Doney, 2006).

O solo também é alvo de poluição. Disposição incorreta de resíduos, estocagem de produtos químicos, vazamento/derramamento de resíduos e efluentes, deposição atmosférica de poluentes industriais e agrícolas, e escoamento superficial de locais

contaminados, são causas da poluição do solo por atividades humanas (CETESB, 2015). Como consequências da poluição do solo, a biota local pode ser afetada por poluentes; ciclos biogeoquímicos (Nitrogênio, Fósforo, Carbono) podem ser comprometidos, gerando prejuízos à agropecuária; se houver lixiviação dos poluentes, pode haver a contaminação de águas subterrâneas, sendo que muitas populações utilizam este recurso hídrico para sua sobrevivência (CETESB, 2015).

- Superexploração

Exploração é a exploração e uso de fauna e flora para benefício humano. A superexploração ou sobrexploração é a exploração que ocorre numa taxa acima da capacidade de reprodução da espécie-alvo; as atividades que mais têm impactado a biodiversidade são a extração de madeira e a caça e pesca predatórias (Hails, 2008).

As superexploração de madeira e suas atividades relacionadas, como p. ex. a construção de rodovias, promove mudanças no sistema, influenciando a estrutura e o clima da floresta. Essas mudanças seriam: completo desmatamento de certas áreas, com perda direta de espécies vegetais e animais que delas dependem; fragmentação e isolamento de áreas intactas, diminuindo o fluxo de espécies e causando a perda de habitat; quebra na continuidade do dossel, comprometendo as espécies que vivem nessa área da floresta; e mudanças no microclima dentro da floresta (sob o dossel), como luminosidade, umidade, temperatura, alterando a produtividade primária e facilitando a ocorrência de queimadas (Soriano & Ochoa, 2001). Assim, exploração da madeira gera consequências diretas na biodiversidade e no equilíbrio ecológico da floresta. Mamíferos, como primatas e morcegos, aves, principalmente dispersoras de sementes, e invertebrados polinizadores são os mais afetados (Yared & Souza, 1993).

A caça predatória envolve principalmente o tráfico e comercialização de animais silvestres, a caça esportiva e a caça de subsistência. A caça extingue animais silvestres, reduzindo a biodiversidade (Mendes, 2014), além de desequilibrar a cadeia alimentar, podendo haver o desaparecimento de uma espécie e superpopulação de outra. É importante lembrar que o desaparecimento de determinadas espécies de animais interrompe os ciclos vitais de muitas plantas, devido à ausência de dispersores de sementes (Magalhães, 2002). Pode ocasionar também a diminuição da população das espécies caçadas e redução do tamanho médio do animal, devido à seleção dos animais maiores (Mendes, 2014).

A pesca predatória e acidental (*bycatch*) tem consequências diretas na biodiversidade, promovendo o declínio na população de muitas espécies, o que implica risco de extinção, causando desequilíbrio ecológico, além de provocar também o colapso dos estoques pesqueiros, que não conseguem se regenerar, gerando impacto socioeconômico sobre populações humanas (Hails, 2008; Souza, 2012). As redes de arrasto de profundidade são exemplos desta pesca predatória, que afeta ecossistemas frágeis, ricos e únicos, com muitas espécies ainda nem descritas (Gislason, 1994; O Globo, 2012).

Mendes (2014) salienta as questões cultural e social envolvidas na exploração no Brasil. Muitas populações sem acesso a outras oportunidades vêm a caça, assim como a pesca, como fonte de subsistência, tanto para alimentação quanto para comércio, que atua como parte da renda familiar. Além disso, muitos produtos são utilizados em tratamentos de saúde, sendo considerados zoterápicos. A exploração como aspecto cultural tem sido um obstáculo para o manejo e a conservação de muitas espécies selvagens.

A depleção de recursos naturais próprios de cada país impacta diretamente a economia, favorecendo a dependência de produtos importados e reduzindo as opções de desenvolvimento futuro da região (Hails, 2008).

- Mudanças climáticas

Atividades antrópicas, derivadas da industrialização e dirigidas pelo desenvolvimento da economia e do crescimento populacional, têm provocado mudanças climáticas que alteram o equilíbrio de processos em ecossistemas (IPCC, 2014). Indústrias, usinas termoelétricas, meios de transporte, são exemplos de atividades que utilizam a queima de combustíveis fósseis como geração de energia. Esta combustão libera muitos compostos, inclusive alguns cancerígenos (Knutzen, 1995, Saha *et al.*, 2009), e gases de efeito estufa, como gás carbônico (CO₂, dióxido de carbono), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), vapor d'água, entre outros (Hails, 2008).

Gases de efeito estufa possuem um papel importante na regulação da temperatura da atmosfera desde que o planeta foi formado. Ciclos globais de milhares de anos, como Ciclos de Milankovich e de milhões de anos, como os Ciclos de Wilson, ditam o volume de energia solar que chega ao planeta e controlam a concentração destes gases, para que haja um equilíbrio entre as condições geológicas e a

temperatura da atmosfera, o que cria situações de glaciação e de efeito estufa (Grotzinger & Jordan, 2013).

Com o advento da agricultura e desmatamento, e posterior globalização e industrialização pela civilização humana, gases de efeito estufa começaram a ser liberados indiscriminadamente para a atmosfera há pelo menos 8 mil anos, segundo o paleoclimatólogo William Ruddiman, o que já pode ter influenciado o ciclo natural do planeta, prolongando o período interglacial quente (Grotzinger & Jordan, 2013). Este fato pode desequilibrar o clima que o planeta apresenta hoje, uma vez que gases de efeito estufa continuarão a aquecer a superfície, podendo alterar ciclos sazonais, desertificar áreas pela indução de seca e incêndios em florestas, derreter geleiras, degradar ambientes árticos e alpinos e causar a perda de zonas úmidas sazonais, entre outras consequências (Hails, 2008).

Como já mencionado neste trabalho, o gás carbônico pode provocar a acidificação dos oceanos. Organismos com carapaça calcária funcionam como fixadoras de gás carbônico, e por isso sempre foram essenciais para a manutenção da temperatura do planeta (Press *et al.*, 2006). Além do pH oceânico baixo afetar a fabricação das suas carapaças calcárias, o mesmo provoca a corrosão de corais (Doney, 2006), liberando o Carbono, que já estava fixado, para o ambiente. A alteração do pH também muda todo o equilíbrio químico numa solução, afetando as condições ótimas dos processos biológicos. A temperatura elevada, assim como pH, também podem promover stress ambiental às algas simbióticas que vivem nos corais, causando o branqueamento dos mesmos (Doney, 2006), e consequente alteração na produtividade primária (Brown, 1997).

A oferta de água ficará mais escassa com as mudanças climáticas, devido ao desequilíbrio no ciclo hidrológico (Hails, 2008), influenciando diretamente a agropecuária, processos industriais, o bem-estar humano (Mora, 2014), além das espécies que dependem da água para seu ciclo de vida. A produção de alimentos será afetada não só pela seca, mas pela temperatura, precipitação e suscetibilidade a queimadas (IPCC, 2007).

A frequência de eventos extremos tem sido elevada pelas atividades antrópicas, como a queda na temperatura mínima e o aumento na temperatura máxima, furacões, ondas de calor, e alterações no padrão de precipitação global, com chuvas intensas em determinados locais, causando enchentes, influenciando na salinidade oceânica, e consequentemente espécies marinhas que sobrevivem sob determinadas condições

osmóticas (IPCC, 2014). Com o aumento de ventos e tempestades, a turbidez pode ser aumentada nos ambientes aquáticos, reduzindo a zona eufótica e afetando a produtividade do sistema (Weslawski *et al.*, 2010), com possíveis impactos na produção pesqueira. Eventos como o El Niño se tornarão mais frequentes e mais intensos, o qual leva correntes de águas quentes e pobres em nutrientes para algumas regiões, provocando o declínio de populações de espécies que dependem dos alimentos fornecidos pelas águas frias (Oliveira *et al.*, 2006).

Com o aumento do nível do mar, devido ao derretimento de geleiras, regiões costeiras com ocupação humana poderão ficar vulneráveis à erosão, pela variação na linha de costa (IPCC, 2014), assim como espécies marinhas de costões rochosos, que poderão apresentar modificações no seu padrão de distribuição, estando sujeitas a diferentes condições de hidrodinamismo, irradiação solar, suscetibilidade à dessecação, entre outros fatores abióticos (Coutinho, 2002).

O aumento da temperatura não só causa o recuo de geleiras como também o derretimento de permafrost, que são solos permanentemente congelados nas regiões de altas latitudes (IPCC, 2014), recobrem cerca de 18,8 km² da superfície do planeta e estocam 1700 bilhões de toneladas de Carbono orgânico, proveniente da decomposição de vegetais e animais de milhares de anos (Schuur & Abbott, 2011). Com seu derretimento, estes solos glaciais serão as principais fontes de dióxido de carbono e metano para a atmosfera, e se estabelecerá um processo de retroalimentação destes gases (Koven *et al.*, 2011). Como o potencial de reter calor do metano é 25 vezes maior do que o dióxido de carbono, e há grandes quantidades deste composto estocado no permafrost, se ocorrer sua liberação, as consequências serão agravantes para o clima global (Schuur & Abbott, 2011).

A ecologia, fenologia e distribuição de cada espécie, além da composição das comunidades estão intimamente ligadas às condições climáticas, que por sua vez, atua como pressão seletiva, podendo levar à uma queda demográfica, e conseqüentemente, à extinção, caso a espécie não consiga se adaptar às rápidas modificações no clima (Saino *et al.*, 2011).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) afirma que se a quantidade de emissões atmosféricas de gases de efeito estufa continuar como está nos dias de hoje, ocorrerão impactos negativos claros na biodiversidade, nos ecossistemas, no desenvolvimento econômico, além da amplificação dos riscos para segurança alimentar e humana.

3.3 HISTÓRICO DA INFLUÊNCIA HUMANA NO MEIO AMBIENTE

Eldredge (2009) afirma que já estamos numa sexta extinção em massa, devido às influências provocadas pelas atividades antrópicas, e divide o evento em duas fases: a primeira fase se deu quando *Homo sapiens* evoluiu na África e se dispersou pelas regiões do mundo, cerca de 100.000 anos atrás; a segunda é caracterizada pelo início da agricultura, há cerca de 10.000 anos. Na primeira fase, os seres humanos alcançaram o Oriente Médio há 90.000 anos e a Europa há cerca de 40.000 anos, onde viviam Neandertais, que conseguiram sobreviver somente por mais 10.000 anos, desaparecendo devido às guerras com o homem moderno ou por seleção natural, segundo paleoantropólogos. Em todas as regiões que chegaram, causaram extinções de muitas espécies nativas, por caça excessiva e dispersão de patógenos em espécies que nunca haviam tido contato com humanos. Há evidências no registro fóssil que humanos chegaram em grande número no continente americano há cerca de 12.500 anos, extinguindo mamutes, mastodontes e espécies ancestrais de búfalo por caça excessiva. Em Madagascar, onde seres humanos só chegaram há dois mil anos, espécies de maior porte (como espécies de hipopótamo e lêmures grandes) rapidamente desapareceram. Apenas em alguns locais onde homínídeos viveram anteriormente, como África, Europa e Ásia, que a fauna, adaptada à presença humana, conseguiu sobreviver à primeira fase do sexto evento de extinção em massa.

A segunda fase deste evento, segundo Eldredge (2009), se iniciou com o advento da agricultura, com a qual os seres humanos não precisariam caçar ou pescar excessivamente, manipulando espécies vegetais para uso próprio, não necessitando depender da capacidade de carga do ecossistema para poder se alimentar e se reproduzir. O *Homo sapiens* tornou-se a primeira espécie que abrangeria mais de um ecossistema, todas as demais vivem dentro de ecossistemas locais, inclusive sociedades de caçadores-coletores remanescentes em populações semi-isoladas. Embora as culturas ainda não fornecessem alimentos regularmente, e a fome e as doenças ainda persistissem, não há dúvida de que a agricultura teve um enorme impacto sobre o tamanho da população humana: as estimativas variam entre 1 e 10 milhões de pessoas na Terra a 10 mil anos atrás, chegando a 6 bilhões nos dias atuais. Esta explosão da população humana, especialmente no período pós-Revolução

Industrial nos últimos dois séculos, aliada à distribuição desigual e o consumo exacerbado dos recursos do planeta, é uma das causas da sexta extinção em massa.

Há um ciclo vicioso, no qual cada vez mais terras são utilizadas com as mais eficientes técnicas de produção (por exemplo, pela engenharia genética) para alimentar o crescente número de seres humanos, que vivem dentro de padrões que necessitam de energia. Neste ponto, entra o uso de combustíveis fósseis, que liberam gases de efeito estufa na atmosfera, consumo de recursos para construção civil, geração de resíduos e efluentes, poluição, entre outros. Além disso, a fragmentação de habitats, devido à ocupação urbana e industrial exagerada, promove a desintegração dos nichos de muitas espécies nativas, constituindo um fator marcante na contribuição da magnitude para a atual crise na biodiversidade.

3.4 MAGNITUDE DA SEXTA EXTINÇÃO EM MASSA

Para avaliar se a magnitude do evento atual pode ser semelhante às aquelas encontradas para as cinco maiores extinções em massa, é necessário conhecer e quantificar as espécies existentes no planeta hoje e suas taxas de extinção, e compará-las com os dados dos episódios passados, provenientes do registro fóssil. Para isso, é essencial o desenvolvimento de estudos de taxonomia juntamente com a paleontologia. Barnosky e colaboradores (2011) afirmam que, no geral, as taxas atuais de extinção podem produzir um evento de extinção em massa da mesma magnitude das “Big Five”. Estes autores concluíram que as taxas de extinção de mamíferos, anfíbios, aves e répteis, calculadas segundo os últimos 500 anos, são mais rápidas ou tão rápidas quanto as taxas que produziram as “Big Five” em centenas de milhares ou milhões de anos.

Em um século, se for extinta a quantidade de espécies avaliadas como ameaçadas de extinção pela International Union for Conservation of Nature (IUCN), em 240 a 540 anos haverá a perda de 80% das espécies viventes, ou seja, haverá uma extinção em massa com a mesma abrangência dos cinco maiores eventos já registrados na história do Fanerozóico (Barnosky *et al.*, 2011).

A Figura 3 ilustra as magnitudes de extinção atuais, considerando alguns grupos de espécies, com seus status de ameaça classificados segundo a IUCN (2010, apud Barnosky *et al.*, 2011). Foi realizada uma compilação dos dados de extinção de grupos fósseis e vivos, concluindo que ainda não vemos um evento de extinção em massa,

mas que podemos saltar de $\frac{1}{4}$ do caminho para a metade, caso as espécies ameaçadas desaparecerem (Barnosky *et al.*, 2011). Foi possível uma avaliação adequada para pouquíssimos grupos, em vista das dificuldades de comparação de registros fósseis, sendo levadas em consideração predições muito mais teóricas que empíricas. Comparações de fósseis com espécies modernas têm sido possíveis com o crescimento de bases de dados paleontológicos online (Barnosky *et al.*, 2011), e podem se tornar mais precisas a partir do desenvolvimento de novas tecnologias e softwares, além do intercâmbio de informações entre cientistas da área.

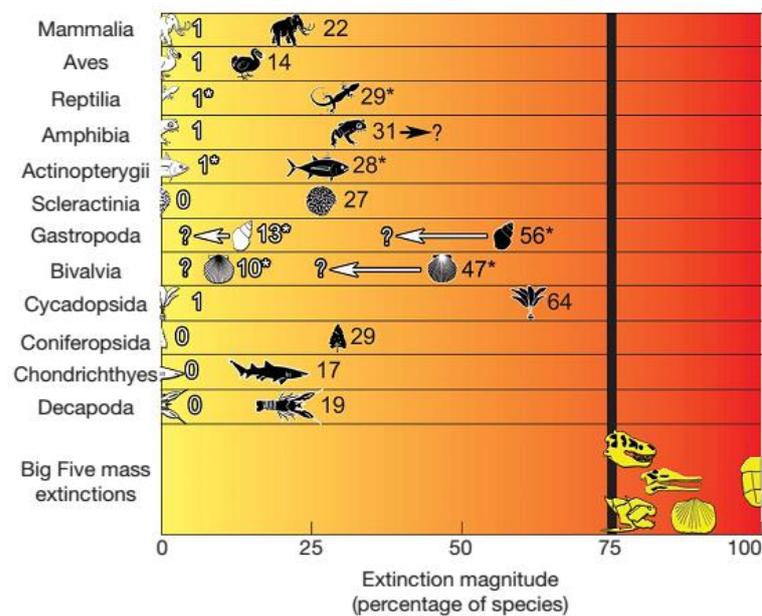


Figura 3. Magnitudes de extinção de grupos avaliados pela IUCN, em comparação com a marca de 75% de extinções relativo às extinções em massa. Números próximos aos ícones indicam a porcentagem de espécies. Ícones brancos indicam espécies extintas na natureza nos últimos 500 anos. Ícones pretos adicionam espécies ameaçadas àquelas já extintas; para anfíbios, a porcentagem pode chegar a 43%. Ícones amarelos indicam as perdas das cinco grandes extinções em massa: Cretáceo + Devoniano, Triássico, Ordoviciano e Permiano (da esquerda para a direita). Asteriscos indicam grupos com poucas espécies avaliadas (menos de 3% para bivalves e gastrópodes); flechas brancas mostram onde as porcentagens de extinção estão provavelmente infladas. O número de espécies conhecidas ou avaliadas para cada grupo listado é: Mammalia 5,490/5,490; Aves 10,027/10,027; Reptilia 8,855/1,677; Amphibia 6,285/6,285, Actinopterygii 24,000/5,826, Scleractinia (corais) 837/837; Gastropoda

85,000/2,319; Bivalvia 30,000/310, Cycadopsida 307/307; Coniferopsida 618/618; Chondrichthyes 1,044/1,044; e Decapoda 1,867/1,867 (Barnosky *et al.*, 2011).

No ano de 2014, 1.730.725 espécies estavam descritas na Lista Vermelha da IUCN, que contempla tanto vertebrados, como invertebrados, vegetais, fungos e protistas, mas apenas 4% deste total têm seus status de conservação avaliados. No grupo dos vertebrados, mamíferos, répteis, aves, anfíbios e peixes somam 66.178 espécies descritas. Destas, somente 59% (39.223) tiveram seu status avaliado, revelando 7.678 espécies ameaçadas. As espécies mais vulneráveis são aquelas mais especializadas e restritas a determinados habitats, assim como as de grande tamanho corporal, menor capacidade de deslocamento e plasticidade adaptativa (Pievani, 2014). Os anfíbios merecem destaque, uma vez que são sensíveis a variações ambientais, além de muitos serem endêmicos, apresentando 56% das suas espécies ameaçadas de extinção (Wake & Vredenburg, 2008; IUCN, 2014).

Portanto, estamos na trajetória de uma sexta extinção em massa, com taxas de extinção bastante aceleradas (Pievani, 2014). Barnosky e colaboradores (2011) afirmam que as atuais ameaças à biodiversidade precisam ser reduzidas, para evitar uma extinção em massa de grande magnitude em poucos séculos.

3.5 IMPACTOS E ALTERNATIVAS DE MITIGAÇÃO

O impacto de uma sexta extinção em massa nas próximas gerações poderá ser notado em todas as esferas humanas, inclusive sociais e econômicas. As consequências irão desde o desaparecimento de enciclopédias genéticas construídas em milhões de anos, o colapso de ecossistemas devido à desestabilização das cadeias tróficas, até a perda de oportunidades na medicina, na biotecnologia e na agricultura, assim como os danos permanentes na maior parte do patrimônio natural global, sendo muito provável que todas ocorram juntas (Wilson, 2010b).

Wilson (2010b) afirma que, embora não seja possível recuperar toda a biodiversidade que já foi perdida, ainda há como reduzir as perdas ao mínimo, utilizando a ciência e a tecnologia. A descrição de espécies não conhecidas, como muitos insetos e invertebrados, é crucial para a conservação de espécies maiores, uma vez que todas estão em equilíbrio. Segundo este autor, também é essencial que sejam estudados os ciclos de vida e as relações entre as espécies, tanto conhecidas como as

que ainda não foram catalogadas. Com a ciência evoluindo nestes conceitos, a tecnologia pode ser desenvolvida em busca de inovações para preservar a biodiversidade.

Considerando que a base de todo o problema da perda de biodiversidade sem precedentes, desde que a espécie humana surgiu, é o grande contingente populacional e o intenso estímulo ao capitalismo e à exploração de recursos, um enfoque importante para a mitigação de uma sexta extinção em massa seria a redução do crescimento populacional deliberado. Para um planeta com recursos limitados, Mora (2014) elenca algumas soluções para conter este crescimento: a capacitação da mulher para o mercado de trabalho, a educação sexual, o incentivo ao planejamento familiar, a revisão de subsídios que promovem a natalidade e o destaque para o custo financeiro de todo o investimento necessário que uma criança deve receber para que seja saudável e tenha uma vida digna. Deve-se estudar a situação de cada país e estabelecer qual seria a média de filhos por casal necessária para que se mantivesse um nível de reposição que estabilizaria a população.

A educação é o principal meio de mudar os paradigmas, conscientizar a população e reduzir o crescimento populacional exacerbado e o estímulo ao consumo. Portanto, os órgãos governamentais devem incentivar e subsidiar o ensino e aprendizado, além de criar oportunidades de emprego e crescimento pessoal para, futuramente, formar cidadãos instruídos, capacitados ao mercado de trabalho e conscientes do impacto da vida humana no planeta e na biodiversidade.

Diminuindo a necessidade de exploração de recursos e educando a população, conseqüentemente, a fragmentação de habitat será reduzida, além da superexploração, incluindo o tráfico de animais silvestres e a caça predatória para o comércio ilegal.

O manejo dos recursos naturais considerando sua capacidade de regeneração permite que os países mantenham seus estoques, que são necessários para sua sobrevivência e para sua economia, provendo também segurança contra colapsos financeiros e ambientais futuros (Hails, 2008). A criação de unidades de conservação que contemplem áreas que apresentam grande diversidade biológica também são essenciais para a manutenção dos recursos naturais a longo prazo (MMA, 2015).

Para as mudanças climáticas, se faz necessária a redução da emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2014). Isso pode se dar pela troca da utilização de combustíveis fósseis por energias renováveis e mais limpas, como eólica e solar, além da criação de

tecnologias que promovam a eficiência em processos industriais. Neste ponto, é importante que não ocorram desmatamentos em larga escala, e que sejam feitos reflorestamentos com espécies nativas em áreas já degradadas, em virtude da assimilação do carbono pelos organismos autótrofos.

Para a poluição, o uso da tecnologia também irá propôr inovações em indústrias, com o intuito de reduzir a quantidade de efluentes e de resíduos sólidos, como também emitir subprodutos de menor dano ambiental.

O planejamento urbano, por meio de órgãos governamentais competentes, promove melhorias no tratamento de esgotos, na coleta, tratamento e destino de resíduos, na oferta de água com qualidade, e energia eficiente e a baixo custo.

A fiscalização por parte de órgãos ambientais sérios e imparciais promove o cumprimento de normas ambientais estabelecidas com o propósito de impedir e reduzir a poluição e degradação dos ambientes naturais. Neste ponto é incluída a mitigação de diversas ameaças: a poluição por indústrias; a superexploração, envolvendo o desmatamento, a caça e pesca predatórias; a introdução de espécies exóticas; o tratamento dos resíduos por organizações responsáveis pela limpeza urbana, entre outras.

Apesar das atuais iniciativas de conservação, Pievani (2014) salienta que ainda não é o suficiente para reverter as tendências de extinção por nós provocadas. O autor afirma que a presença humana por si só na biosfera já é insustentável, e as atuais estratégias são somente paliativas. Com o desaparecimento de milhares de espécies a cada ano, o homem deve perceber que os ecossistemas ficarão menos eficientes em oferecer e assegurar seus recursos e serviços (p. ex. solos na agricultura para produção de alimentos) (Eldredge & Pievani, 2010 apud Pievani, 2014).

Ao assumirmos a postura de responsáveis por ocasionar uma sexta extinção em massa, também devemos ter a consciência de que causas geológicas ou extraterrestres podem dizimar as espécies viventes, e sobrepor qualquer influência humana no ambiente (Visconti, 2014). Entretanto, isto não nos dá o direito de abusar de todos os recursos naturais como se fossem ilimitados. A espécie humana deve ser orientada a reduzir os seus impactos na biodiversidade, sem levar em conta as outras influências que podem induzir a sua queda.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho houve uma compilação de diversos dados sobre as extinções em massa que ocorreram ao longo do Fanerozóico, além da sexta extinção em massa que estamos presenciando. Há ainda muitas discussões em cima das causas e efeitos de cada evento, importantes para esclarecer a história da vida na Terra. A visão ampla dos acontecimentos ao longo do tempo geológico revela a importância de estudar os diversos fatores que podem causar extinções em massa.

Apesar do grande esforço e dedicação de cientistas em várias esferas da área biológica, como taxonomia, paleontologia, ecologia e zoologia, ainda são necessárias novas pesquisas de fósseis e espécies viventes, descrição e avaliação do status de conservação das mesmas, estudos de estimativas de taxas de extinção, desenvolvimento de métodos estatísticos que sejam mais fiéis aos dados reais de extinção, entre outros tópicos. Conhecendo melhor a fauna e a flora de hoje, é possível avaliar com mais precisão a situação da crise da biodiversidade atual e encontrar artifícios para reduzir o impacto das ações antrópicas na biota.

Os números apresentados por Barnosky *et al.* (2011) apontam que, nas condições atuais, o planeta Terra pode chegar em poucos séculos a um status de extinção em massa que só ocorreu cinco vezes ao longo de 540 milhões de anos. Apesar de eventos de extinção em massa terem ocorrido de forma natural, com causas diversas, como impactos de asteróides e vulcanismo, a crise atual é decorrente substancialmente de atividades humanas e há consciência da destruição em larga escala (Navas & Cruz Neto, 2008). Além do aspecto biológico, também é importante salientar que se desconhece os efeitos que as concentrações de gases de efeito estufa emitidos por atividades antrópicas, assim como a liberação do Carbono estocado há milhões de anos durante a queima de hidrocarbonetos, ou a mudança da dinâmica dos carbonatos no oceano, podem causar no futuro tempo geológico, considerando-se os diferentes ciclos que coordenam os mecanismos terrestres. O homem pode estar acelerando processos naturais, e não se conhece os efeitos destas ações no futuro.

Tem se utilizado o termo Antropoceno para indicar esta época, em que o homem tem agido sobre o meio e causado alterações sobre o mesmo. Apesar de não ser considerada uma nova camada estratigráfica, ou seja, não serem levados em conta aspectos geológicos, a época Antropoceno pode ser aplicada considerando aspectos da história humana sobre o planeta.

Há uma diferença mínima entre a situação que nos encontramos agora e onde podemos chegar em poucas gerações, e essa vulnerabilidade a qual estamos sujeitos mostra a urgência de reaver comportamentos e atividades que levarão as espécies atuais à extinção, assim como o desaparecimento de habitats e comunidades inteiras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGEO, T.J.; SCHCKLER, S.E. Terrestrial marine teleconnection in the Devonian: links between the evolution of land plants, weathering process, and marine anoxic events. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 353, p. 113-128, 1998.

AUTIN, W.J.; HOLBROOK, J. Is the Anthropocene an issue of stratigraphy or pop culture? **GSA Today**, v. 22, p. 60–61, 2012.

BAMBACH, R. K. Phanerozoic biodiversity mass extinctions. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, v. 34, p. 127–155, 2006.

BARNOSKY, A. D.; MATZKE, N.; TOMIYA, S.; WOGAN, G. O. U.; SWARTZ, B.; QUENTAL, T. B.; MARSHALL, C.; MCGUIRE, J. L.; LINDSEY, E. L.; MAGUIRE, K. C.; MERSEY, B.; FERRER, R. A. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? **Nature**, v. 471, p. 51-57, 2011.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

BENTON, M.J. **Vertebrate Paleontology**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publication, 2005.

BLACKBURN, T. J.; OLSEN, P. E.; BOWRING, S. A.; MCLEAN, N. M.; KENT, A. V.; PUFFER, J.; MCHONE, G.; RASBURY, E. T.; TOUHAMI, M. E. Zircon U-Pb Geochronology Links the End-Triassic Extinction with the Central Atlantic Magmatic Province. **Science**, v. 340, p. 941-945, 2013.

BROWN, B. E. Coral bleaching: causes and consequences. **Coral Reefs**, v. 16, Suppl. p. S129-S138, 1997.

CÂMARA, I. G. Extinção e o Registro Fóssil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 30, p. 123-134, 2007.

CERTINI, G.; SCALENGHE, R. Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. **The Holocene**, v. 21, p. 1269–1274, 2011.

CETESB, 2015. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/#>> Acesso em 24/06/2015.

CINCOTTA, R. P.; GORENFLO, L. J. **Human Population: Its Influences on Biological Diversity**. New York: Springer, 2011.

COUTINHO, R. Bentos de Costões Rochosos. In: Pereira, R. C.; Gomes, A. S. **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002, p. 147-157.

CRUTZEN, P.J. Geology of Mankind: The Anthropocene. **Nature**, v. 415, p. 23, 2002.

DELARIVA, R. L.; AGOSTINHO, A. A. Introdução de espécies: uma síntese comentada. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 2, p. 255-262, 1999.

DONEY, S. C. Perigos da Acidificação do Oceano. **Scientific American Brasil**, v. 47, p. 58-65, 2006.

ELDREDGE, N. The Sixth Extinction. **ActionBioscience**, 2009. Disponível em <http://endangeredink.com/programs/population_and_sustainability/extinction/pdfs/Eldridge-6th-extinction.pdf>. Acesso em 25/07/2014.

ERWIN, D.H. **Extinction: how life on Earth nearly ended 250 million years ago**. New Jersey: Princeton University Press, 2006.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos da Limnologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, n. 34, p. 487–515, 2003.

FREEMAN, S.; HERRON, J. C. **Análise Evolutiva**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GALE, S. J.; HOARE, P. G. The stratigraphic status of the Anthropocene. **The Holocene**, v. 22, n.12, p. 1491–1494, 2012.

GIBBARD, P. L.; WALKER, M. J. C.. The term ‘Anthropocene’ in the context of formal geological classification. In: WATERS, C. N.; ZALASIEWICZ, J. A.; WILLIAMS, M.; ELLIS, M.A.; SNELLING, A. M. **A Stratigraphical Basis for the Anthropocene**. London: Geological Society, Special Publications, v. 395, p. 29–37, 2014.

GISLASON, H. Ecosystem effects of marine fishing activities in the North Sea. **Mar. Pollution Bull.**, v. 29, p. 520 – 527, 1994.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HAILS, C. **Living planet report 2008**. Gland, Switzerland: World Wildlife Fund International, 2008.

HANCOCK, G. J.; TIMS, S. G.; FIFIELD, K.; WEBSTER, I. T. The release and persistence of radioactive anthropogenic nuclides. In: WATERS, C. N.; ZALASIEWICZ, J. A.; WILLIAMS, M.; ELLIS, M.A.; SNELLING, A. M. **A Stratigraphical Basis for the Anthropocene**. London: Geological Society, Special Publications, v. 395, p. 265-281, 2014.

HOUSE, M. R. Orbital forcing timescales: an introduction. In: HOUSE, M. R.; GALE, A. S. **Orbital forcing timescales and cyclostratigraphy**. London: The Geological Society, 1995.

ICS, 2015. International Commission on Stratigraphy International Stratigraphic Guide. Disponível em: <<http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-stratigraphicguide>> Acesso em 01/06/2015. IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team: Pachauri, R. K; Reisinger, A.). Geneva, Switzerland, 2007.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team: Pachauri, R. K; Meyer, L. A.). Geneva, Switzerland, 2014.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Versão 2014.2. Disponível em <<http://www.iucnredlist.org>> Acesso em 25/05/2015.

JABLONSKI, D. Extinction in the fossil record. In: MAY, R. M.; LAWTON, J. H. **Extinction rates**. Oxford: Oxford University Press, p. 25–44, 1995.

KELLER, G.; SAHNI, A.; BAJPAI, S. Deccan volcanism, the KT mass extinction and dinosaurs. **J. Biosci.**, v. 34, p. 709-728, 2009.

KIRCHNER, J.W.; WELL, A. Delayed biological recovery from extinctions throughout the fossil record. **Nature**, v. 404, p. 177-180, 2000.

KNOLL, A. H.; BAMBACH, R. K.; PAYNE, J. L.; PRUSS, S.; FISCHER, W. W. Paleophysiology and end-Permian mass extinction. **Earth Planet. Sci. Lett.**, v. 256, 295–313, 2007.

KNUTZEN, J. Effects on marine organisms from polycyclic aromatic hydrocarbons and other constituents of waste water from aluminium smelters with examples from Norway. **Science Of The Total Environment**, v. 163, 107-122, 1995.

KOVEN, C. D.; RINGEVAL, B.; FRIEDLINGSTEIN, P.; CIAIS, P.; CADULE, P.; KHVOROSTYANOV, D.; KRINNER, G.; TARNOCAI, C. Permafrost carbon-climate feedbacks accelerate global warming. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 36 p. 14769-14774, 2011.

LENTON, T.M. The coupled evolution of life and atmospheric oxygen. In: ROTHSCCHILD, L.J.; LISTER, A.M. **Evolution on Planet Earth – the impact of the physical environment**. London: Academic Press, 2003.

MACHADO, M.; CADEMARTORI, C. V.; BARROS, C. R. Extinções em massa e a crise atual da biodiversidade: lições do tempo profundo. **Diálogo Canoas**, v. 9, p. 37-68, 2006.

MAGALHÃES, J. F. **Tráfico de Animais Silvestres no Brasil**. 56f. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas). Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Brasília, 2002.

MCLELLAN, R. **Living planet report 2014**. Gland, Switzerland: World Wildlife Fund International, 2014.

MENDES, F. L. S. Comércio de Animais Silvestres na Amazônia: um problema histórico ainda sem solução. **Ver-a-Ciência**, v. 5, p. 40-43, 2014.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis**. Washington, World Resources Institute, 2005.

MMA. Sistema Nacional de Unidades de Conservação - Ministério do Meio Ambiente, 2015. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc>> Acesso em 28/06/2015.

MORA, C. Revisiting the Environmental and Socioeconomic Effects of Population Growth: a Fundamental but Fading Issue in Modern Scientific, Public, and Political Circles. **Ecology and Society**, v. 19, n. 1, p. 38, 2014.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Tree**, v. 10, p. 58-62, 1995.

NAVAS, C. A.; CRUZ-NETO, A. Se extinções associadas a mudanças climáticas são eventos naturais, por que devemos nos preocupar com o cenário atual? **Revista da Biologia**, v. 1, p. 9-11, 2008.

NEUBAUER FILHO, A. **Valoração do impacto de derramamento de produtos químicos na baía de Paranaguá**. 126f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2009.

O Globo. **Leito dos oceanos é devastado pelas redes de pesca de arrasto**. 2012. Disponível em <<http://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/leito-dos-oceanos-devastado-pelas-redes-da-pesca-de-arrasto-5990321>>. Acesso em 20/06/2015.

OLIVEIRA, L.R.; ARIAS-SCHREIBER, M.; MEYER, D.; MORGANTE, J.S. Effective population size in a bottlenecked fur seal population. **Biological Conservation**, v. 131, p. 505-509, 2006.

PALUMBI, S.R. Humans as the world's greatest evolutionary force. **Science**, v. 293, p. 1786–1790, 2001.

PIEVANI, T. The sixth mass extinction: Anthropocene and the human impact on biodiversity. **Rend. Fis. Acc. Lincei**, v. 25, p. 85–93, 2014.

PONTE, J. M. N. Magnetic mineralogy of Cretaceous-Tertiary sections (Tethys, Iran and India): links with the Deccan Phase-2. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geofísicas) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

POPE, K. O.; BAINES, K. H.; OCAMPO, A. C.; IVANOV, B. A. Impact winter and the Cretaceous/Tertiary extinctions: Results of a Chicxulub asteroid impact model. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 128, p. 719-725, 1994.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RAUP, D. M. Periodicity of Extinction: a Review. In: MULLER, D. W.; MCKENZIE, J. A.; WEISSERT, H. **Controversis in modern geology: evolution of geological theories in sedimentology, Earth history and tectonics**. London: Academic Press, 1991.

RAUP, D. M., SEPKOSKI, J. J. J. Mass extinctions in the marine fossil record. **Science**, v. 215, p. 1501-1503, 1982.

RAUP, D. M., SEPKOSKI, J. J. J. Periodicity of extinctions in the geologic past. **PNAS**, v. 81, p. 801-805, 1984.

REES, P M. Land-plant diversity and the end-Permian mass extinction. **Geology**, v. 30, p. 827–830, 2002.

SAHA, M.; TOGO, A.; MIZUKAWA, K.; MURAKAMI, M.; TAKADA, H.; ZAKARIA, M.P.; CHIEM, N.H.; TUYEN, B.C.; PRUDENTE, M.; BOONYATUMANOND, R.; SARKAR, S.K.; BHATTACHARYA, B.; MISHRA, P.; TANA, T.S. Sources of sedimentary PAHs in tropical Asian waters: differentiation between pyrogenic and petrogenic sources by alkyl homolog abundance. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 58, p. 189–200, 2009.

SAINO, N.; AMBROSINI, R.; RUBOLINI, D.; VON HARDENBERG, J.; PROVENZALE, A.; HÜPPOP, K.; HÜPPOP, O.; LEHIKONEN, A.; LEHIKONEN, E.; RAINIO, K.; ROMANO, M.; SOKOLOV, L. Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. **Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences**, v. 278, p. 835-842, 2011.

SCHOOTBRUGGE, B. V.; TREMOLADA, F.; ROSENTHAL, Y.; BAILEY, T.R.; FEIST-BURKHARDT, S.; BRINKHUIS, H.; PROSS, J.; KENT, D.V.; FALKOWSKI, P.G. End-Triassic calcification crisis and blooms of organic-walled "disaster species". **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 244, p. 126-141, 2007.

SCHULTE, P.; ALEGRET, L.; ARENILLAS, I.; ARZ, J.A., BARTON, P.J.; BOWN, P.R. BRALOWER, T.J., CHRISTESON, G.L., CLAEYS, P. COCKELL, C.S., COLLINS, G.S., DEUTSCH, A., GOLDIN, T.J., GOTO, K., GRAJALES-NISHIMURA, J.M., GRIEVE, R.A.F., GULICK, S.P.S., JOHNSON, K.R., KIESSLING, W., KOEBERL, C., KRING, D.A., MACLEOD, K.G., MATSUI, T., MELOSH, J., MONTANARI, A., MORGAN, J.V., NEAL, C.R., NICHOLS, D.J., NORRIS, R.D., PIERAZZO, E., RAVIZZA, G., REBOLLEDO-VIEYRA, M., REIMOLD, W.U., ROBIN, E., SALGE, T., SPEIJER, R.P., SWEET, A.R., URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., VAJDA, V., WHALEN, M.T., WILLUMSEN, P.S. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. **Science**, v. 327, p. 1214-1218, 2010.

SCHULTZ, C. L. Extinções. IN: CARVALHO, I. S. **Paleontologia: conceitos e métodos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SCHUUR, E. A. G.; ABBOTT, B. High risk of permafrost thaw. **Nature**, v. 480, p. 32-33, 2011.

SGARBI, G. N. C. Geologia Introdutória: Base para o novo conhecimento. **R. Ci. Humanas**, v. 1, p. 153-162, 2001.

SHEEHAN, P. M. The Late Ordovician Mass Extinction. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.**, v. 29, p. 331-64, 2001.

SORIANO, P. J., OCHOA, G. J. The Consequences of Timber Exploitation for Bat Communities in Tropical America. In: FIMBEL, R.; GRAJAL, A.; ROBINSON, J. **The cutting edge: conserving wildlife in logged tropical forests**. New York: Columbia University Press, 2001.

SOUZA, A. G. C. **Educação Ambiental como política social**: estratégia de reação social a pesca predatória no município de Pracuúba-AP. 103f. Dissertação

(Mestrado em Direito Ambiental e Políticas Públicas) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2012.

SOUZA, R. C. C. L.; CALAZANS, S. H.; SILVA, E. P. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. **Cienc. Cult.**, v.61, n.1, p. 35-41, 2009.

STREEL, M.; CAPUTO, M.V.; LOBOZIAK, S.; MELO, J.H.G. Late Frasnian--Famennian climates based on palynomorph analyses and the question of the Late Devonian glaciations. **Earth Science Reviews**, v.52, n. 1–3, p. 121–173, 2000.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1 ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2003.

SUTCLIFFE, O. E.; DOWDESWELL, J. A.; WHITTINGTON, R. J.; THERON, J. N.; CRAIG, J. Calibrating the Late Ordovician glaciation and mass extinction by the eccentricity cycles of Earth's orbit. **Geology**, v. 28, p. 967–970, 2000.

TORRES, R.; CESAR, A.; PEREIRA, C.D.S.; CHOUERI, R. B.; ABESSA, D.M.S.; NASCIMENTO, M.R.L.; FADINI, P.S.; MOZETO, A.A. Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and mercury in oysters (*Crassostrea rhizophorae*) from two Brazilian estuarine zones. **International Journal of Oceanography**, ID 838320-8. 2012.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2010.

VISCONTI, G. Anthropocene: another academic invention? **Rend. Fis. Acc. Lincei**, v. 25, p. 381–392, 2014.

WAKE, D. B.; VREDENBURG, V. T. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. **PNAS**, v. 105, p. 11466-11473, 2008.

WESLAWSKI, J. M.; WIKTOR JR., J.; KOTWICKI, L. Increase in biodiversity in the arctic rocky littoral, Sorkapland, Svalbard, after 20 years of climate warming. **Mar. Biodiv.**, v. 40, p. 123–130, 2010.

WILKINSON, I. P.; POIRIER, C.; HEAD, M. J.; SAYER, C. D.; TIBBY, J. Microbiotic signatures of the Anthropocene in marginal marine and freshwater palaeoenvironments. In: WATERS, C. N.; ZALASIEWICZ, J. A.; WILLIAMS, M.; ELLIS, M.A.; SNELLING, A. M. **A Stratigraphical Basis for the Anthropocene**. London Geological Society, Special Publications, v. 395, p. 185–219, 2014.

WILSON, E. O. **The diversity of life**. Cambridge: Harvard University Press, 2010a.

WILSON, E. O. **The loss of biodiversity is a tragedy** (Entrevista à UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2010b. Disponível em

<http://www.unesco.org/new/en/media-services/single-view/news/edward_o_wilson_the_loss_of_biodiversity_is_a_tragedy/#.VXT38UZK0-1> Acesso em 25/04/2015.

YARED, J. A. G.; SOUZA, A. L. **Análise dos impactos ambientais no manejo de florestas tropicais**. Viçosa: UFV: Sociedade de Investigações Florestais, 1993.