

Temas ambientais relevantes

ENEAS SALATI,
ÂNGELO AUGUSTO DOS SANTOS
e ISRAEL KLABIN

Introdução

ESTE TRABALHO, apresentado originalmente no seminário “Brasil: O País no Futuro – 2022”, é uma contribuição específica para que a modelagem proposta de uma previsão do Brasil nos próximos dezessete anos possa ser pensada e enriquecida com os temas da agenda ambiental, cujo impacto, a nosso ver, é crucial e determinante para o futuro. Em nossa análise, o projeto prospectivo deve levar em conta as conseqüências políticas, econômicas e sociais das transformações globais e dos biomas brasileiros, as quais fatalmente modificarão os vetores de uma análise simplesmente geopolítica.

Quais seriam os temas ambientais mais relevantes para o Brasil? A rigor, todo ser humano (para não generalizar, todo “ser vivo”) relaciona-se inexoravelmente com o ambiente, alterando-o de alguma forma. Demonstrar as interações coevolutivas entre o ser humano e o ambiente seria uma abordagem interessante para traçar as rupturas num cenário futuro, mas se afastaria do objetivo deste trabalho. Os temas ambientais mais relevantes para o Brasil foram escolhidos de acordo com o ponto de vista e a experiência dos autores e analisados, segundo seus impactos para a natureza. Para os próximos 20-30 anos, alguns dos temas relevantes, sem ordem de prioridade, são:

O crescimento populacional e a demanda de bens e serviços

O aumento populacional mundial pressiona os serviços ambientais que são gratuitamente fornecidos pela natureza – por exemplo, a maior emissão de CO₂ tem efeitos sobre a atmosfera. O fornecimento de alimento para o descomunal contingente populacional do século XXI não apresenta mais uma limitação malthusiana, já que produz-se mais alimento do que as necessidades calóricas mundiais, mas o acesso ao alimento é desigual. Por outro lado, a demanda internacional por produtos agrícolas afeta a biodiversidade brasileira pelo aumento na fragmentação de áreas prístinas. Os impactos ambientais derivados da produção nacional de soja, carnes, ferro, alumínio etc. atuam em sinergia com as pressões sociais ou populacionais do atual mercado globalizado.

Impactos das Mudanças Climáticas Globais (MCG) sobre os biomas

Numa grande generalização, podemos aceitar que as regiões tropicais possuem maior riqueza em ecossistemas e espécies em razão das características climáticas. A biodiversidade não está distribuída homogeneamente no planeta, mas se concentra em algumas regiões tropicais

A elaboração, por modelagem, de vários cenários de emissões de gases de efeito estufa (GEE) indica um aumento na temperatura das regiões Sudeste e Centro-Oeste da ordem de 0,4 a 1,1°C em 2025, podendo chegar a 5° em 2080, e um aumento de precipitação entre 10% e 15% durante o século XXI. A atual diversidade e distribuição dos pequenos peixes *Carachidium lauroi* mostram relação estrita com as águas frias de montanhas na Região Sudeste. Mudanças na temperatura da água inibem a presença da espécie e levaram ao seu desaparecimento em outras áreas.

Na região amazônica também é previsto um aumento da temperatura, porém as conclusões sobre as variações da precipitação ainda são incertas. Em parcelas no interior da Amazônia, observou-se o favorecimento de espécies de ciclo curto, ou com melhor desempenho fotossintético, em detrimento de espécies de ciclo longo, por causa da maior presença de CO₂ na atmosfera (Laurence & Vasconcelos, 2004).

Perda e fragmentação dos habitats pelo desmatamento

É o primeiro fator global de destruição da biodiversidade. A Mata Atlântica ocupava uma área de 1,3 milhão de km² e hoje encontra-se fragmentada, restando apenas cerca de 5% de sua extensão original. Na Amazônia, estamos repetindo o mesmo ciclo predatório. O desmatamento tem efeito direto na redução dos habitats das espécies de plantas e animais (a eliminação de vertebrados dispersores de sementes compromete a germinação) e indireto como: 1. a produção de grandes quantidades de detrito orgânico, material combustível que, combinado ao lixo e à biomassa morta (da fragmentação), deixa essas regiões ainda mais suscetíveis à indução de queimadas; 2. ou através do efeito de borda, que provoca a queda das árvores adultas que, por sua vez, abafam as árvores jovens, causando sua mortalidade e aumento do número de cipós, de espécies parasitas e espécies adaptadas a solos pobres (Tabarelli et al., 2004).

Introdução de espécies e doenças exóticas as plantas invasoras

A invasão por espécies exóticas é a segunda maior ameaça mundial à biodiversidade. Desde o ano de 1600, as espécies exóticas invasoras já contribuíram com 39% de todos os animais extintos. Mais de 120 mil espécies exóticas de plantas, animais e microrganismos já invadiram os Estados Unidos, o Reino Unido, a Austrália, a Índia, a África do Sul e o Brasil (Ziller, 2000). Nem todas as espécies exóticas tornam-se pragas ou doenças. Mas o mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), o caramujo africano (*Achatina fulica*), o *Aedes aegypti* (mosquito-da-dengue), o *Rattus rattus* (rato, ratazana) são os melhores exemplos de espécies exóticas que se tornaram um problema ambiental no Brasil.

Exploração excessiva de espécies de plantas e animais

A superexploração de recursos naturais tem causado ameaça a muitas espécies. Os exemplos mais corriqueiros são o mico-leão, o pau-brasil, a palmeira juçara (*Euterpe edulis*), para consumo de palmito, o pau-rosa (*Aniba rosaeodora Ducke*), para óleo essencial em perfumaria, a manjuba e a sardinha verdadeira. Segundo o índice *Ecological Footprint*, usado para medir o uso dos recursos naturais pela humanidade, em 2000 a população global usou toda a capacidade de produtividade biológica do planeta. Em 2001, a humanidade excedeu em 20% a capacidade da produtividade biológica. Essa superexploração do capital natural do planeta só será possível por um limitado período de tempo. Até quando?

Desmatamento da Amazônia brasileira

O desmatamento altera os ciclos de água e de energia, induzindo um aumento na temperatura do ar e diminuição nas precipitações, podendo reduzir a quantidade de vapor d'água exportada para outras regiões. A fragmentação das áreas florestais diminui o número de habitats disponíveis para as espécies biológicas.

Degradação dos recursos hídricos de água doce em quantidade e qualidade

As águas superficiais nas proximidades dos centros urbanos encontram-se quase sempre poluídas por fontes pontuais de efluentes domésticos ou industriais, ou pela poluição difusa, oriunda de atividades agropecuárias. A escassez de água em algumas regiões poderá tornar-se crítica pelo crescimento do consumo de água para atividades industriais e irrigação.

Degradação dos recursos hídricos do mar junto à costa brasileira

Vários estudos indicam a degradação dos recursos hídricos da costa do Brasil. As informações estão mais detalhadas para as regiões costeiras dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Os dados indicam que muitas áreas estão comprometidas para o lazer, em grande parte do ano ou no ano todo. Em geral, a poluição vem dos efluentes urbanos e industriais, mas não se devem desprezar as atividades portuárias e o derramamento de petróleo.

Relação entre a pobreza e degradação ambiental urbana

O aumento da natalidade das populações de baixa renda e o deslocamento de parte da população da zona rural para as cidades levam à favelização de grandes áreas urbanas. Sem as condições educacionais e culturais adequadas à sobrevivência urbana, tornam-se agentes da degradação ambiental. Dessa forma, a pobreza vem a ser ao mesmo tempo causa e consequência desse ciclo pernicioso.

Impactos diretos e indiretos da produção e transporte de energia (hidrelétricas, termelétricas e usinas nucleares)

Os impactos ambientais diretos de hidrelétricas são bem conhecidos. No entanto, muitas vezes os impactos indiretos são muitos maiores, especialmente na região amazônica, onde empreendimentos como a hidrelétrica de Tucuruvi aceleraram o desmatamento no seu entorno.

Impactos diretos e indiretos na produção e transporte de petróleo e seus derivados

Os impactos ambientais mais críticos têm decorrido do derramamento de petróleo durante o seu transporte. Os exemplos clássicos são o derrame de petróleo na Baía de Guanabara e no Litoral de São Sebastião (SP).

Pressão antrópica sobre os remanescentes florestais da Mata Atlântica

Os 5% restantes da Mata Atlântica estão sob constante ameaça pelas atividades no seu entorno. O seu destino dependerá fortemente da capacidade de gerenciamento dos órgãos de controle ambiental.

Impactos das atividades humanas no Pantanal

Os rios do Pantanal vêm lentamente sofrendo impactos ambientais diretos pelo aumento das atividades de pecuária, da mineração e também das atividades agrícolas nas regiões do planalto, que acabam por produzir assoreamento e mudança da qualidade danágua. Existe ainda uma ameaça constante, que é o aumento da navegação com grandes barcas. Um projeto recente previa construções de canais em várias regiões, cortando os meandros naturais.

Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais

Os resíduos sólidos (lixo e lodo de esgoto) no Brasil vêm aumentando, e já há problemas sérios em regiões metropolitanas para a construção de aterros como destino final. A solução desse problema é um desafio para as próximas décadas. A incineração tem sido solução em diversos países (Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, França e Áustria).

Escassez e manejo dos recursos hídricos no semi-árido brasileiro

Esse é um problema secular. A agricultura intensiva pode se desenvolver ao longo do ano no Nordeste semi-árido, por causa da oferta de energia solar e temperatura. O fator limitante é a oferta de água; o problema é onde ir buscá-la. Técnicas existem tanto para o transporte da água como para seu uso adequado. A limitação é um problema econômico, uma vez que as bacias dos rios Tocantins e Amazonas representam a maior reserva de água doce líquida do planeta, com a vazão média de 220.000 m³/segundo lançadas no oceano.

A transposição de água do Rio São Francisco pode ser o primeiro passo, porém cabe lembrar que existem vastas áreas próximas daquele manancial que também necessitam de irrigação. Nestes estudos, é importante levar em conta o manejo dos recursos hídricos e os riscos de aumento da salinização das águas da região, o que poderá ocorrer se não forem deixados exutórios adequados para o escoamento das águas mais salinizadas.

Perda de fertilidade do solo e erosão

As atividades agrícolas desenvolvidas sem consideração por técnicas adequadas para o tipo de solo e a declividade do terreno poderão resultar na perda da fertilidade e assoreamento dos rios. Um exemplo é a expansão da cultura do

café nos estados de São Paulo e Paraná. Devem ser lembradas as experiências de plantio intensivo de seringueira na Amazônia, impedidas por um fungo, e mais recentemente os desastres econômicos e ambientais do projeto Jari, no Pará.

Utilização inadequada de agrotóxicos

É um problema constante no que diz respeito ao uso de quantidades além das necessárias. Há uma tendência mundial para diminuição do uso de agrotóxicos, concomitantemente com o aumento do mercado de produtos orgânicos livres de controladores químicos.

Perda das matas ciliares

Esse é um problema extensivo a todo o território nacional. As matas ciliares são importantes agentes de proteção ambiental para a flora e a fauna associada, bem como uma proteção direta aos recursos hídricos em relação à poluição difusa nas bacias hidrográficas.

Introdução de Organismos Geneticamente Modificados (OGM) e a biossegurança

Em 2002 cultivaram-se 60 milhões de hectares de culturas transgênicas, em 16 países, por cerca de seis milhões de agricultores. No Brasil, os transgênicos são plantados sem a devida atenção ao Princípio da Precaução, conforme apontado na Convenção da Diversidade Biológica. É o caso das plantações ilegais da soja *RoundUp* no Rio Grande do Sul.

Impactos das MCG nos ecossistemas brasileiros

Pela natureza e extensão deste documento, serão abordados aqui apenas dois temas relacionando o desmatamento com as Mudanças Climáticas Globais (MCG) e a perda da biodiversidade na Amazônia.

Considerações gerais

As concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera terrestre vêm aumentando nos últimos 150 anos, e acentuadamente nas últimas cinco décadas (IPCC, 2001). Considerando as forçantes climáticas mais relevantes, os aumentos foram de $31 \pm 4\%$ para o CO_2 ; $150 \pm 25\%$ para o CH_4 ; $17 \pm 5\%$ para o N_2O . O O_3 troposférico cresceu em $35 \pm 1\%$ de 1750 a 2000, dependendo da região considerada, e decresceu na estratosfera no período de 1970 a 2000, variando com a altitude e latitude. As concentrações atmosféricas das HFCs, PFCs e SF_6 mostraram um aumento global nos últimos 50 anos (ibidem).

As previsões globais para o século XXI são de um aumento de temperatura de 1,4 a 5,8°C. Simulações de modelos globais, com diferentes cenários, concordam com um aumento na média das concentrações de vapor d'água na atmosfera, e também com um aumento nas precipitações no século XXI. Prevê-se, ainda, um aumento de nove a 88 cm do nível médio do mar no período de 1990 a 2100.

Algumas tendências climáticas na região de Piracicaba, SP

Estudo realizado com dados do posto meteorológico da Esalq/USP, bus-

quando as variações entre as médias mensais das temperaturas médias, máximas e mínimas e das precipitações entre os períodos de 1989 a 2003 e 1917 a 1988 (Villa Nova et al., 2004), mostra que:

Temperatura média: os dados representados na Figura 1 mostram um aumento médio da ordem de $0,78^{\circ}\text{C}$, estando em consonância com observações em outras regiões do mundo, que indicam um aumento da ordem de $0,6^{\circ}\text{C}$ para o século XX.

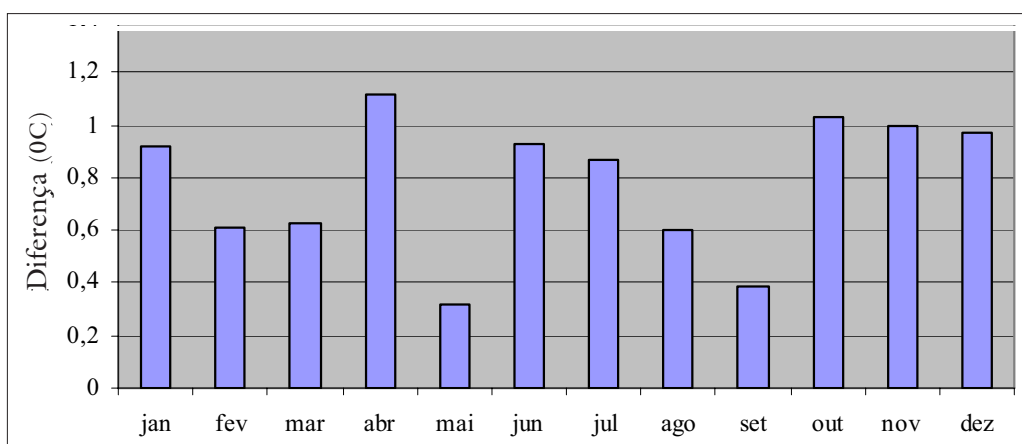


Figura 1
Temperatura média: diferença entre as médias mensais do período 1989 a 2003 e 1917 a 1988.

Temperatura máxima: os dados representados na Figura 2 indicam que as variações observadas são muito pequenas, com uma tendência para valores positivos.

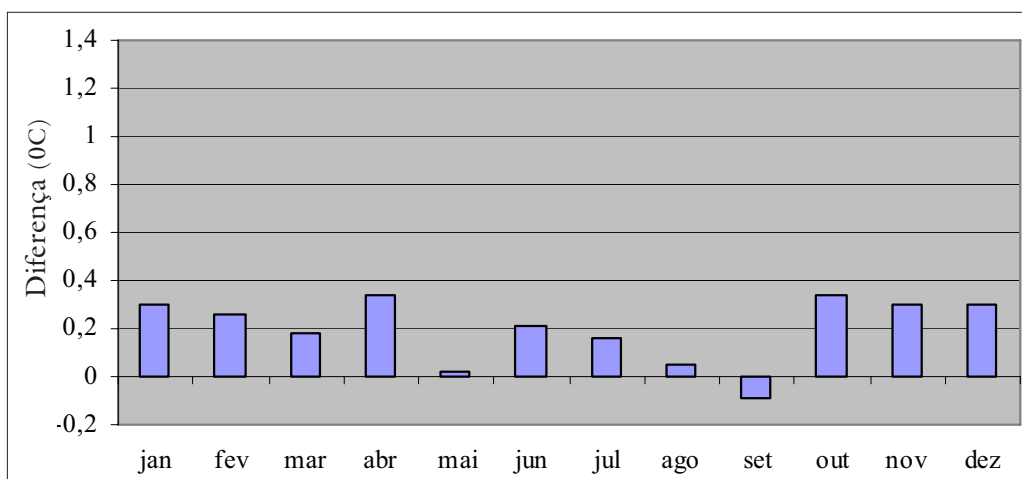


Figura 2
Temperatura máxima: diferença entre as médias mensais do período 1989 a 2003 e 1917 a 1988.

Temperatura mínima: os dados representados na Figura 3 indicam um aumento da temperatura mínima no mesmo sentido previsto pelo efeito estufa, que diminui a energia para o espaço sideral através da radiação infravermelha.

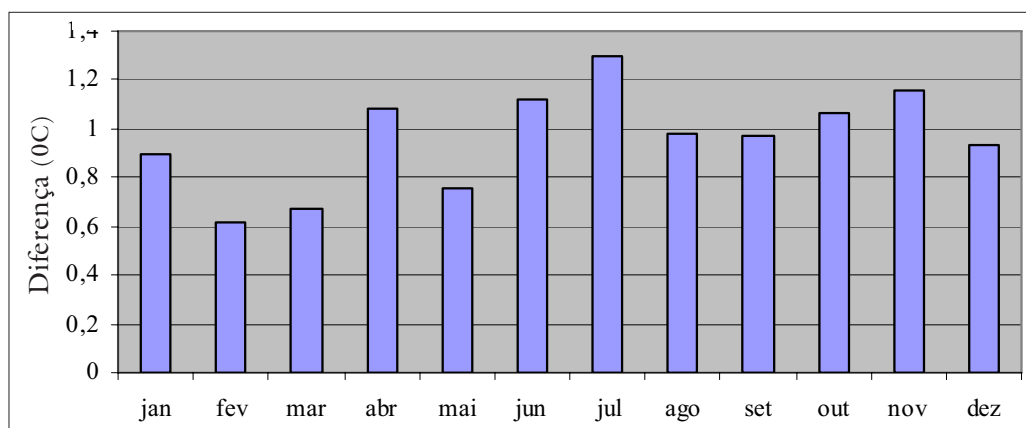


Figura 3
Temperatura mínima: diferença entre as médias mensais do período 1989 a 2003 e 1917 a 1988.

Precipitação: os dados representados na Figura 4 indicam um aumento das precipitações, especialmente nos meses do verão e da primavera. O total anual foi da ordem de 144,00 mm, ou seja, um aumento de 11,4%.

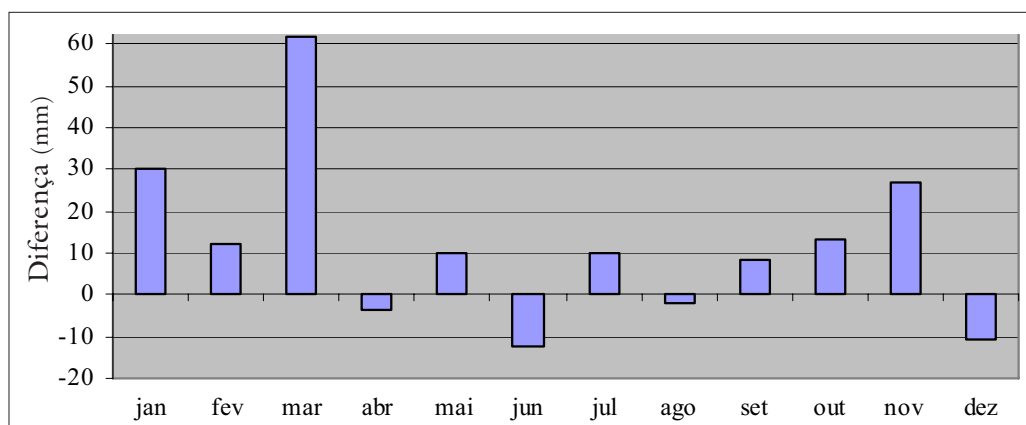


Figura 4
Precipitação: diferença entre as médias mensais do período 1989 a 2003 e 1917 a 1988.

Cenários de possíveis impactos das MCG sobre o balanço hídrico

Para o Brasil, o IPCC-2001 prevê para o século XXI um aumento de 4 a 4,5°C na temperatura média do ar nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e um

possível aumento de 10% a 15% nas precipitações de outono. Existe ainda indicação de possibilidade de secas durante o verão.

Com base nessas informações, foi feito um estudo com cinco cenários com um aumento de 15% na precipitação anual, distribuído igualmente durante um ano e com um aumento de temperatura de 1°C, 2°C, 3°C, 4°C e 6°C. Os valores 2°C, 4°C e 6°C correspondem, aproximadamente, aos valores previstos para as décadas de 2020, 2050 e 2080. Os dados tomados com a base nesses estudos são médias do período de 1961 a 1990. A partir desses cenários, foi realizado o balanço hídrico,¹ pelo método de Thornthwaite-Mather (1955), com capacidade de água disponível de 100 mm para diversas cidades, entre elas: Arco Verde, Bagé, Brasília, Cuiabá, Curitiba, Londrina, Manaus, Piracicaba, São Joaquim e Uberaba (Salati, 2004).

Na Figura 5, estão representados os balanços hídricos para a cidade de Piracicaba. O “excesso” representa a água que sofre percolação profunda ou escoamento superficial no mês considerado (mm/mês), e “déficit %” indica a porcentagem da falta de água em termos da demanda pelas plantas ETP (Evapotranspiração Potencial) ou $(DEF/ETP) * 100$. O déficit é a diferença entre ETP e a necessidade pela planta ETR (Evapotranspiração Real).

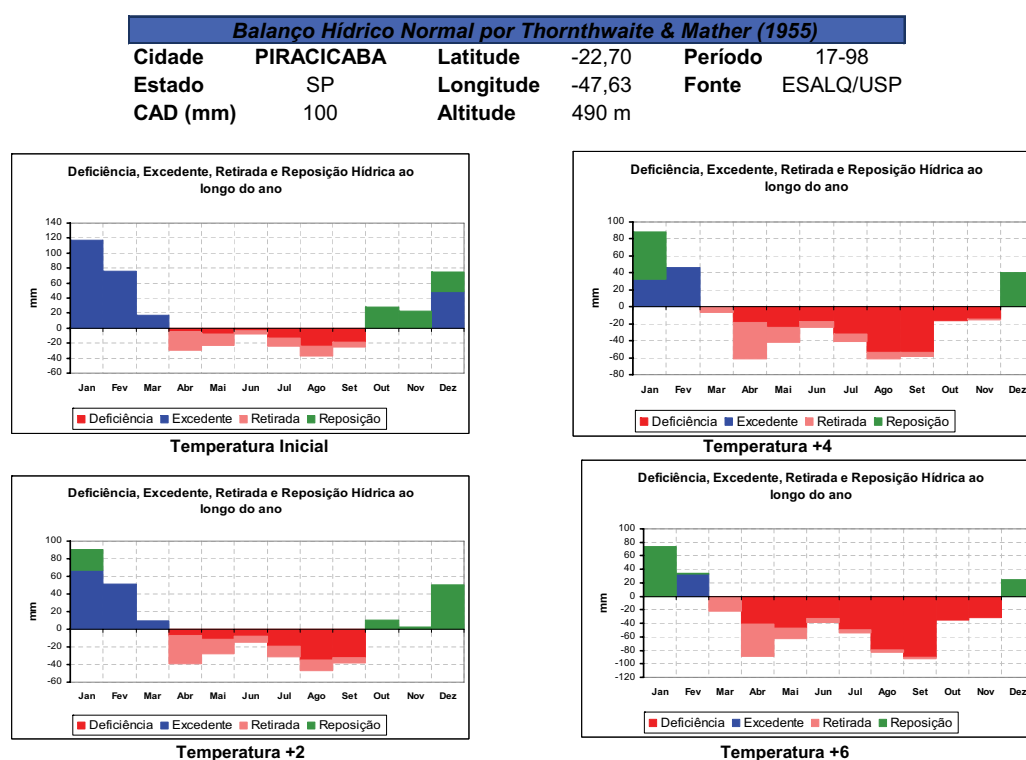


Figura 5 – Balanços hídricos para a cidade de Piracicaba (SP).

O estudo evidenciou uma redução na disponibilidade de recursos hídricos que poderá ter conseqüências negativas para a produção agrícola e para a vazão

dos rios, afetando os biomas naturais (Tabela 1). Os impactos mais severos são esperados para as regiões de Piracicaba, Cuiabá e Campo Grande. Nessas regiões, um aumento de 2°C, sobre a média de 1961-1990, poderia reduzir em aproximadamente 50% o excedente dos recursos hídricos, ou seja, a água que escorre pelos rios ou sofre percolação profunda no solo. Em outras regiões, o balanço hídrico é menos sensível ao aumento da temperatura, especialmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. O balanço hídrico mostrou ser bastante sensível para a região semi-árida do Nordeste brasileiro, com severa diminuição do excedente hídrico. Esse aumento de 2°C na temperatura média poderia ocorrer na década de 2020.

Tabela 1 – Variações dos percentuais da quantidade de recursos hídricos para escoamento superficial e recarga dos aquíferos (os valores referem-se à relação excesso/precipitação x 100)

	T + 0	T + 2	T + 4	T + 6
Manaus	35	28	24	21
Belém	48	39	35	32
Cuiabá	11	5	0	0
Brasília	46	40	27	20
Campo Grande	26	15	9	4
Uberaba	40	31	24	18
Piracicaba	21	10	6	3
Curitiba	45	41	33	22
São Joaquim	60	58	54	48
Bagé	42	36	31	25
Londrina	39	30	21	10

Conseqüências do desmatamento na Amazônia

Atualmente, a região amazônica, especialmente a Amazônia brasileira, está sob pressão de duas forçantes climáticas: uma, de natureza regional, decorrente do desmatamento; a outra, ocasionada pelas MCGs. Tudo indica que as duas atuam propiciando o aumento de temperatura regional/global. O desmatamento, em particular, atua na diminuição da precipitação local. Os dados provenientes dos modelos climáticos globais ainda não são consistentes no que diz respeito às variações das precipitações pluviométricas para o século XXI.

A dimensão do desmatamento na Amazônia brasileira

Esse bioma, até 35 anos atrás, estava recoberto por distintas formações florestais nativas. Hoje, a dinâmica da colonização da Amazônia passa por uma expansão incomparável em sua história. Os incentivos fiscais, mola propulsora do desmatamento anterior aos anos 1980, foram suplantados pelas forças do mercado, que substituíram o governo como indutor do desenvolvimento regio-

nal. Os negócios privados tornaram-se lucrativos por si sós (como a extração de madeira de lei, a mineração, a pecuária e, sobretudo, o agronegócio da soja). Esse deslocamento do público em direção ao privado é o principal vetor por trás da expansão da atual fronteira agrícola na região amazônica (Magulis, 2003; Alencar et al., 2004).

Nos primeiros anos da década de 1990, as taxas de desmatamento ficaram num nível médio de 17.000 km²/ano (Prodes-Inpe). A partir daí, a cada novo inventário anual de desmatamento, o governo tem anunciado uma tendência de aumento desse patamar. Em 2001-2002, a taxa de desmatamento foi de 23.260 km², bem acima dos 15.000 km² estimados para o ano anterior. Em 2002-2003, a taxa alcançou 23.750.000 km². Mas no período de 2003-2004 a área desmatada atinge 26.130 km², considerado o maior desmatamento já ocorrido. Esse pulo está associado ao aumento da área de plantio da soja no Estado do Mato Grosso, confirmando o papel o agronegócio como a grande força de transformação regional. Dados do Prodes nos permitem calcular que, até 2003, o desmatamento acumulado em toda região da Amazônia Legal some 652.908 km², uma tão área vasta quanto o Estado de Minas Gerais. Além disso, existe um desmatamento “não visível”, relativo à remoção de árvores de madeira de lei e a pequenos incêndios florestais, fato que leva alguns autores a supor que o desmatamento vai muito além dos números oficiais.

Aspectos climatológicos/fluxos de água e energia

Trabalhos realizados quantificam, preliminarmente, os fluxos de água na Bacia Amazônica (Villa Nova et al., 1976; Molion, 1975; Salati et al., 1979; Salati et al., 1978; Salati & Nobre, 1991; Dall'Olio et al., 1979; Marques et al., 1979; Salati & Vose, 1984; Salati & Marques, 1984). Os dados para esses estudos são dos anos 1970, quando o desmatamento da região era desprezível e os efeitos das MCGs ainda não eram considerados. O esquema da Figura 6 indica os fluxos para os diferentes componentes do ciclo hidrológico.

Em resumo, os vapores de água primários provêm do Oceano Atlântico e penetram na região através dos ventos Alísios que sopram do Quadrante Leste, com variações, dependendo da época do ano, decorrentes do deslocamento na Zona de Convergência Intertropical. As chuvas provenientes da condensação desse vapor d'água voltam em parte (aproximadamente 60%) à atmosfera por evapotranspiração dos sistemas florestais, e uma parte se escoia pela calha do Rio Amazonas. Existe uma forte recirculação do vapor d'água na região, decorrente da cobertura vegetal e da geomorfologia. A água da precipitação é uma mistura do vapor d'água primário, proveniente do oceano, com o vapor d'água produzido pela evapotranspiração dos sistemas florestais e também pela evaporação direta das superfícies livres de água.

Em grandes números, 50% da precipitação da região seria decorrente dessa recirculação do vapor d'água, e o vapor originado por evapotranspiração é da mesma ordem de grandeza daquela proveniente do oceano. Com base no estudo

do balanço de 10^{18} do vapor d'água que entra na região (Figura 6) e nas águas do Rio Amazonas (Salati et al., 1979), foi estimado que uma grande parte (0,44 F_i) do vapor que entra na região pelos ventos Alísios deixa a bacia hidrográfica. Esse fluxo é da ordem de 3 a 5×10^{12} m^3 por ano. Parte desse vapor d'água dirige-se para a Região Centro-Sul do continente sul-americano

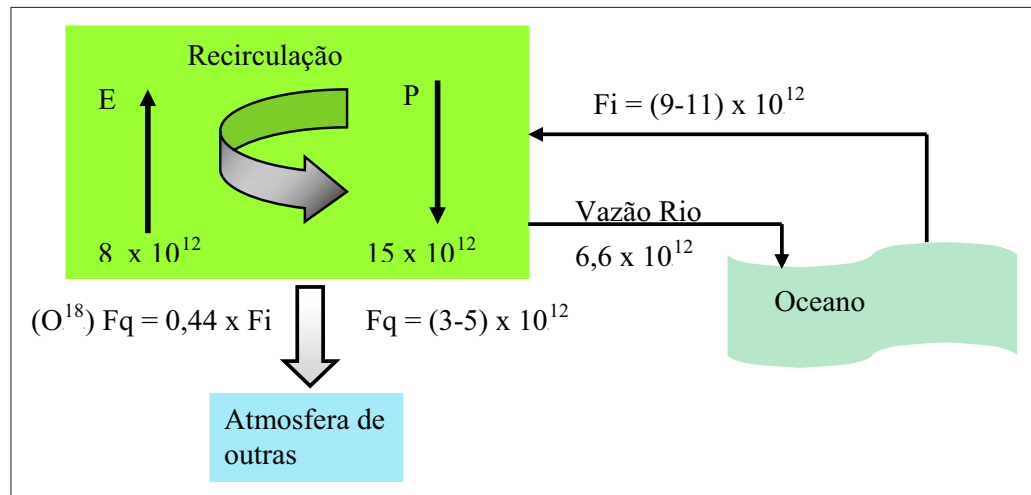


Figura 6 – Bacia Amazônica. Balanço hídrico – fluxos em m^3/ano .

As quantificações desses fluxos vêm sendo realizadas por trabalhos recentes. Entre eles, destacam-se os estudos sobre “jatos de baixos níveis da América do Sul”, que evidenciam sua importância no balanço hídrico de várias regiões (Herdies et al., 2001). Silva Dias & Marengo (1999) avançaram no conhecimento sobre os processos dinâmicos que definem os níveis de precipitação e sua variabilidade no Brasil.

Em decorrência da forte interação entre a atmosfera e os sistemas florestais na Amazônia, fica evidente que o desmatamento acabará por alterar os componentes do balanço hídrico diminuindo a produção do vapor d'água por evapotranspiração e aumentando, numa primeira fase, a vazão dos rios, pelo aumento do escoamento superficial nas áreas desmatadas. Isso implica uma diminuição dos recursos hídricos disponíveis no sistema solo-planta na região, reduzindo o tempo de residência da água nos ecossistemas considerados, bem como diminuindo a oferta de vapor d'água para outras regiões.

Estudos de balanço de radiação da região de Manaus concluíram que o valor médio da radiação solar incidente na região é da ordem de $425 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}$. Na distribuição do balanço de radiação, foram utilizados 50% no processo de produção de vapor d'água, através da evapotranspiração das florestas e da evaporação das superfícies livres de água (calor latente), 50% foram utilizados no aquecimento do ar (calor sensível). Com o desmatamento, deverá ser maior a quantidade de energia utilizada para o aquecimento do ar.

Existem evidências de que essas modificações já estão ocorrendo, à medida que o desmatamento avança. Costa et al. (2003) encontraram em uma sub-bacia do Rio Tocantins, com área de 176 mil km², um aumento na vazão em decorrência do desmatamento sem mudanças sensíveis nos totais de precipitação. Isso implica uma redução da evapotranspiração, alterando o ciclo hidrológico local e regional. Os valores encontrados indicam um aumento de vazão em 25% no período 1980-1990, quando comparados com os valores de 1950-1960. Essa variação foi observada tanto para os períodos chuvosos como para os de estiagem. O aumento do desmatamento na região considerada foi de 20% no período de 1960 a 1995.

O fogo associado ao desmatamento também pode alterar o balanço hídrico por meio dos Núcleos de Condensação de Nuvens (NCN), que têm origem biológica e provêm da conversão de gases biogênicos em partículas (Artaxo, 2005). Essas partículas microscópicas de aerossol têm a propriedade de condensar água em sua superfície, contribuindo para formar, juntamente com o vapor de água, as gotículas de nuvens (Silva Dias et al., 2004; Andreae et al., 2004). A diferença na concentração de NCN da estação chuvosa para a estação seca (de cerca de 200 para 20.000 p.p cm⁻³), decorrente das queimadas em grandes áreas da Amazônia, altera as propriedades microfísicas das nuvens, modificando as condições de seu desenvolvimento e, posteriormente, as precipitações pluviométricas decorrentes (Artaxo et al., 2003; Andreae et al., 2004).

Experimentos intensivos para estudar as interações solo-planta-atmosfera, do ponto de vista microclimático em florestas e áreas de pastagens na região amazônica (Abraços, 1990-4), concluíram que poderá ocorrer uma redução de 6% a 20% na precipitação regional, num cenário de substituição da floresta por pastagens. Estudos comparativos sobre medidas de temperatura do ar entre áreas de pastagens e florestas nativas demonstraram um aumento de 2,4°C nas áreas desmatadas (Gash et al., 1996). Na última década, o *Large Scale Biosphere – Atmosphere Experiment in Amazônia* (LBA) vem trazendo um grande número de informações detalhadas e integradas, permitindo que se tenha um cenário regional no que diz respeito aos mecanismos que mantêm o equilíbrio ecológico da região. Espera-se assim haver em breve um conhecimento mais profundo dos processos dinâmicos que envolvem as interações solo-planta-atmosfera.

Amazônia no contexto das Mudanças Climáticas Globais (MCG)

As conseqüências das MCG sobre os ecossistemas da Amazônia, obtidos através de modelos (Global Climate Models – GCM's), variam para diferentes cenários de emissões dos GEE e para diferentes GCMs utilizados. As variações de temperatura para os anos de 2020, 2050 e 2080 vão desde + 1°C para cenário B-2 (2020) até quase + 8°C em 2080, para cenário A-2 (Marengo, 2005).

Na Figura 7, estão representadas as projeções de anomalias de temperatura para os meses de setembro, outubro e novembro em relação ao período-base de 1961-1990 para a América do Sul. As previsões são do modelo HadCM3 para os *time slices* em 2020, 2050 e 2080 para dois cenários de emissões B2 e A2. Para

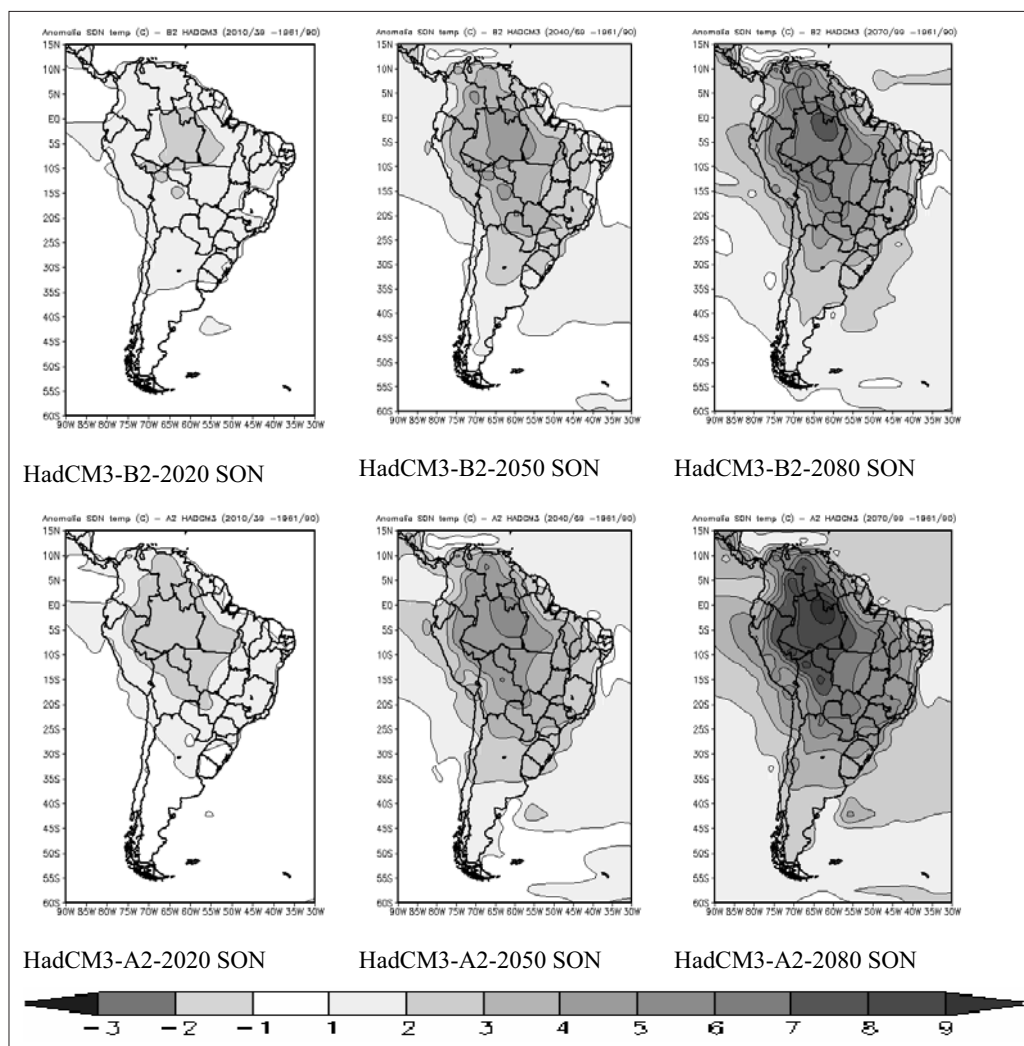


Figura 7
 Projeções de anomalias de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para SON em relação ao período 1961-1990, para a América do Sul. As previsões são do modelo HadCM3. Os *timeslices* em 2020, 2050 e 2080 dos cenários são A2 e B2 (Marengo, 2005).

outros modelos, como CCCMA (Canadá), CSIRO (Austrália), GFDL (Estados Unidos) e CCRS-NIES (Japão), os valores obtidos também são no sentido de um aumento na temperatura, porém não tão acentuados como o HadC3, (Marengo, 2005).

Com respeito às precipitações pluviométricas, existe alto grau de incerteza quanto a aumentos ou diminuições, conforme o modelo (IPCC, 2001; Marengo 2005).

Tendo em vista que o aumento de temperatura do ar perto da superfície aumenta a capacidade do ar em reter maior quantidade de vapor d'água, pode-se

esperar um ciclo hidrológico mais dinâmico, com possíveis aumentos do número e intensidade de eventos extremos, como tempestades severas. No momento, a incerteza com respeito à direção das mudanças nas precipitações torna difícil prever os impactos das MCG sobre os ecossistemas da Amazônia.

Quanto às variações de temperatura, as tendências decorrentes das MCG caminham na mesma direção das previsões decorrentes do desmatamento. As observações de um aumento de temperatura de 0,56°C durante o século XX indicaram uma alteração séria no clima da região (Victoria et al., 1998). É uma questão ainda a ser resolvida se esse aumento é decorrente do desmatamento ou das MCGs.

O aumento da temperatura por si só provoca vários impactos, dentre eles, a mudança do balanço hídrico com maior probabilidade da ocorrência de incêndios florestais (Alencar et al., 2004).

Em resumo, na Amazônia, os estudos e as observações indicam para as próximas décadas um aumento da temperatura decorrente do desmatamento e das MCGs. As precipitações deverão também diminuir com o desmatamento, porém existe incerteza com respeito aos efeitos das MCGs (Figura 8). Para as regiões Sudeste e Centro-Oeste, está previsto um aumento da temperatura. Espera-se ainda um aumento da precipitação da ordem de 10% a 15% no outono e uma diminuição no verão.

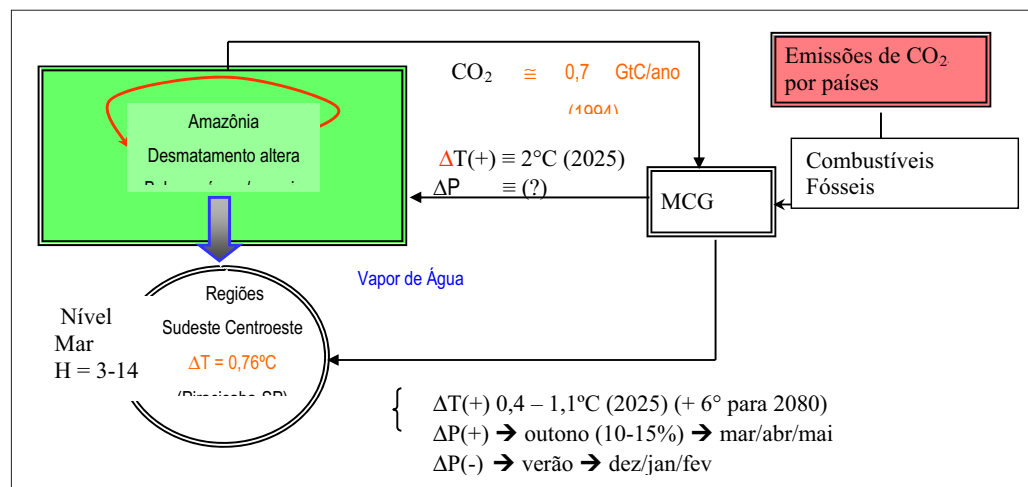


Figura 8

Possíveis variações climáticas para o Brasil. Variações observadas (em vermelho) e estimadas (preto) sobre tendências da precipitação e temperatura no Brasil.

Impactos sobre a biodiversidade

O segundo tema importante para o futuro próximo do Brasil está relacionado com a perda da biodiversidade, que é a propriedade fundamental da natureza, responsável pelo equilíbrio e estabilidade dos ecossistemas e fonte de imen-

so potencial de uso econômico. Seus diferentes níveis são pouco conhecidos ou mensurados. Quando considerada somente a variedade de seres vivos, estima-se que existam de 10 a 100 milhões de espécies, das quais os cientistas descreveram até hoje somente 1,7 milhão, todas registradas em coleções científicas ao redor do globo (Wilson, 2000). O desafio lançado aos pesquisadores que tratam de mapear a biodiversidade global é imenso. A maior parte do que ainda está por descobrir localiza-se nos trópicos americanos, metade dos quais em território brasileiro. A Amazônia representa a maior fronteira e um dos mais instigantes desafios científicos para o inventário da biodiversidade global.

A quantificação da biodiversidade brasileira é inexata, e os números das espécies, por grandes grupos, variam segundo os autores e devem ser lidos com cautela. Uma primeira avaliação das espécies da fauna existentes nas coleções biológicas registrou cerca de 200.000 espécies (num intervalo de 180 a 225 mil), a maior parte organizada em grandes táxons cuja catalogação em espécies conhecidas é ainda muito incompleta. A diversidade da fauna nacional representaria cerca de 14% da biota mundial, estimando-se que haja no Brasil cerca de 2 milhões de espécies de animais, exceto insetos (Dias, 2001; Lewinsohn & Prado, 2000). De acordo com dados da organização Conservation International, estima-se que existam no país cerca de 55 mil espécies vegetais (22% do total mundial), 524 de mamíferos (131 endêmicas), 571 de anfíbios (294 endêmicas), 1.622 de aves (191 endêmicas) e 468 de répteis (172 endêmicas), além de três mil espécies de peixes de água doce e entre 10 e 15 milhões de espécies de insetos.

Tabela 2 – A avaliação da biodiversidade brasileira

Reino	Núm.espécies coleções científicas – Brasil	Núm. espécies estimadas – Brasil	Núm.espécies. estimadas – planeta
Vírus	400	55.000	400.000
Bactéria	1.400	136.000	1.000.000
Anfíbios	150	600	4.220.
Protozoários	3.200	27.000	200.000
Fungos	13.000	205.000	1.500.000
Algas	4.900	55.000	400.000
Plantas	47.000	52.000	320.000
Artrópodes	116.000	1.214.999	8.900.000
Outros invertebrados	9.700	116.000	850.000
Vertebrados	6.200	8.000	50.000

Fonte: Lewinshon & Prado (2000).

Estado atual do conhecimento sobre a biodiversidade amazônica

Apesar de ser um dos biomas brasileiros mais intensamente estudados nes-

nas últimas décadas, em termos de seu funcionamento ecológico os diferentes níveis da biodiversidade amazônica são muito pouco conhecidos. Estima-se que mais de 70% das espécies amazônicas ainda não possuam nomes científicos, e, considerando-se o ritmo atual de trabalhos de inventário, tal situação permanecerá por muito tempo.

Segundo estudo do Museu Goeldi, a riqueza da flora compreende aproximadamente 30.000 espécies, cerca de 10% das plantas de todo o planeta e por volta de 2/3 da flora de todos os outros biomas nacionais. Nos diferentes ecossistemas amazônicos, temos cerca de 5.000 espécies de árvores com tamanho maiores que 15 cm de diâmetro, e na mata de terra firme a diversidade de árvores, por hectare, varia entre 40 e 300 espécies diferentes.

As coleções científicas apontam que são conhecidas 7.500 espécies de borboletas no mundo, sendo 1.800 na Amazônia. Para as formigas, que contribuem com quase um terço da biomassa animal das copas de árvores na floresta amazônica, a estimativa é de mais de 3.000 espécies. Com relação às abelhas, há no mundo mais de 30.000 espécies descritas, sendo de 2.500 a 3.000 na Amazônia. Estima-se que a ictiofauna seja superior a 1.300 espécies. Apenas no Rio Negro já foram registradas 450 espécies. Um total de 163 registros de espécies de anfíbios foi encontrado na Amazônia brasileira. Essa cifra equivale a aproximadamente 4% das 4.000 espécies que se pressupõe existirem no mundo e 27% das 600 estimadas para o Brasil. O número total de espécies de répteis no mundo é estimado em 6.000, sendo próximo de 240 espécies o número de espécies identificadas para a Amazônia brasileira, muitas das quais restritas à Amazônia ou à parte dela. As aves constituem um dos grupos mais bem estudados dentre os vertebrados, com número de espécies estimado em 9.700 no mundo. Na Amazônia, há mais de 1.000 espécies, das quais 283 possuem distribuição restrita, ou são muito raras. O total de mamíferos existentes no mundo é de 4.650; na Amazônia, foram registradas até hoje 311 espécies. Mesmo sendo o grupo de mamíferos mais conhecido da Amazônia, nos últimos anos várias espécies de primatas têm sido descobertas, inclusive o sagüi-anão-da-coroa-preta e o sauíim-de-cara-branca (*Callithrix saterei*).

Espécies ameaçadas de extinção no Brasil

Do total de 633 táxons apontados na Lista da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (Biodiversitas, 2005), 624 estão classificados em uma das três categorias: Criticamente em perigo, Em perigo e Vulnerável. Os vertebrados somam 67% do total de espécies indicadas, e, entre estes, estão aproximadamente 13% das espécies brasileiras de mamíferos. O bioma Mata Atlântica é o que apresenta maior número de espécies ameaçadas ou extintas, com 383 táxons, seguido pelo Cerrado (112), Marinho (92), Campos Sulinos (60, Amazônia – 58), Caatinga (43) e Pantanal (30). Isso significa que, em conjunto, Mata Atlântica e Cerrado respondem por mais de 78% das espécies da lista, ou seja, 495 táxons.

O desmatamento da Amazônia e a perda de biodiversidade

A perda da biodiversidade é um dos temas ambientais fundamentais para o Brasil ao longo de século XXI, mas não existem cálculos confiáveis para avaliar a magnitude dessa extinção. Pouca dúvida existe de que a extinção está aumentando e que uma significativa perda da biodiversidade tropical irá ocorrer nas próximas décadas, considerando o presente aumento do desmatamento da Amazônia e da Indonésia.

Mais espécies são extintas atualmente do que novas espécies aparecem. A taxa atual de extinção é de uma extinção a cada 100 ou 1.000 anos, enquanto nos registros fósseis a média de vida de uma espécie era de 10 milhões de anos. Sabemos que 724 espécies foram reconhecidamente extintas desde 1.600. Também é conhecido que, para todo o globo terrestre, 60 pássaros e mamíferos foram extintos entre 1900 e 1950. Saber exatamente qual é a taxa de extinção é muito importante para estabelecer uma política de conservação da biodiversidade.

Quantificar a taxa de extinção de espécies na Amazônia, em termos absolutos ou em relação à área desmatada, é uma tarefa difícil. Quantas espécies endêmicas existem? Em que áreas? E quantas espécies endêmicas existem por hectare de floresta? São números necessários para calcular a taxa de extinção em relação ao desmatamento. Existe uma avaliação do número de indivíduos por km² afetados pelo desmatamento (Tabela 3). Considerando-se que o endemismo é muito alto (nas plantas chega a 90%), infere-se que a perda de espécies é significativa.

Tabela 3 – Indivíduos afetados pelo desmatamento

Grupo	Indivíduos/km ²	Indivíduos afetados/ desmatamento 2003-2004 (26.130 km ²)	Fonte original
Árvores ≥ 10 cm dap	45 – 55 mil	1.175.850.000	Ter Steege, 2003
Aves	1.658 – Gu. Fran.	43.000.000	Thiollay, 1994
	1.910 - Peru	50.000.000	Terborgh et. al. 1990
Primatas	35-81	914.550 a 2.116.530	Peres e Dolman, 2000

Estudos sobre a taxa de extinção de pássaros, residentes ou não, em fragmentos florestais na Amazônia mostram que o tempo que leva à extinção está correlacionado com a área do fragmento. Para se diminuir por um fator de 10 a taxa de extinção de um determinado fragmento, é necessário aumentar sua área por um fator de 1.000, ou seja, fragmentos florestais com uma área de 100 hectares perdem metade de suas espécies em ≤ 15 anos, tempo curto demais para implementar sérias medidas de conservação (Ferraz et. al., 2003).

A Tabela 4 mostra uma avaliação dos autores da taxa de extinção na Amazônia, baseada em três avaliações prévias da porcentagem de espécies extintas ao longo da década de 2000 para as florestais tropicais globais. Admitimos que: a área da bacia amazônica é de 6,5 milhões de km², a área original do planeta coberta por florestas tropicais era de 15,5 milhões de km² e o número das espécies presentes nas diversas florestas tropicais é comparável.

Tabela 4 – Taxa de extinção na Amazônia

Método Utilizado	% Perda global para a década	Biodiversidade global 10 milhões de SPS
		Perda anual
0,2%-0,3% de taxa de extinção considerando que o desmatamento aumenta de 1% ao ano (Wilson, 1989, 1993).	2-3%	GLOBAL 20.000-30.000
		AMAZÔNIA LEGAL 8.000-12.600
2%-13% de extinção entre 1990-2015 através da curva área espécie considerando que o desmatamento aumenta de 1% por ano Reid (1992).	0.8-5.2%	GLOBAL 8.000-52.000
		AMAZÔNIA LEGAL 3.360-21.840
Extinção de metade das espécies na área que será desmatada até 2015 Raven (1998).	8.3%	GLOBAL 83.000
		AMAZÔNIA LEGAL 34.000
<p>A porcentagem de perda foi obtida, por cada um dos autores, através da equação $(S=K.A^2)$, relativa à curva/área sps. A taxa de extinção para Amazônia foi calculada a partir do coeficiente 0,42 (Área da Bacia Amazônica Km² ÷ Área Total Floresta Tropical Km²) multiplicado pelo número global de espécies.</p>		

Nota

1 O trabalho original incluindo o cálculo dos balanços hídricos em doze cidades do Brasil com quatro diferentes cenários de mudanças climáticas globais e representações gráficas foi realizado a pedido do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), em maio de 2004.

Referências bibliográficas

- ALENCAR, A. et al. *Desmatamento na Amazônia: indo além da "Emergência Crônica"*. Belém: IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2004.
- ANDREAE, M. O. et al. Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science*, v.303, p.1342-45, 2004.
- ARTAXO, P. O papel das partículas de aerossóis no ciclo hidrológico da Amazônia, 2005 (no prelo).

- ARTAXO, P. et al. O mecanismo da floresta para fazer chover. *Scientific American Brasil*, v.1, n.11, p.38-45, 2003.
- BIODIVERSITAS. Lista da fauna brasileira ameaçada de extinção. Organização de Ângelo B. Machado. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.
- COSTA, M. H. et al. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, southeastern Amazonia. *J. Hydrol.*, p.283, 206-17, doi-10.1016/S0022-1694(03)00267-1, 2003
- DALL'OLIO, A. et al. Modelo de fracionamento isotópico da água na Bacia Amazônica. *Acta Amazônica*, v.9, n.4, p.675-87, 1979.
- DIAS, B. F. S. Balanço da biodiversidade na Amazônia: uma introdução ao desconhecido. Seminário Especial: "A Biodiversidade como Estratégia Moderna de Desenvolvimento da Amazônia". *Estudos e Pesquisas*, INAE - Instituto Nacional de Altos Estudos, Rio de Janeiro, n.17, set. 2001.
- GASH, J. H. C. et al. *Amazon Reforestation and Climate*. New York: John Wiley and Sons, 1996.
- FERRAZ, G. et al. Rates of species loss from Amazonian forest fragments. *PNAS*, v.100, n.24, p.14069-73, 2003.
- HERDIES, D. L. et al. The Bi-Modal Pattern of the Summer Circulation Over South America. *Journal of Geophysical Research*, 2001 (no prelo).
- IPCC. *Climate Change*. The Scientific Basis. Executive Summary. Cambridge University Press, 2001.
- KOREN, I. et al. Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation. *Science*, v.303, p.1337-42, 2004.
- LAURENCE, W.; VASCONCELOS, H. A década da decisão para a Amazônia. *Opiniões*. PDBFF. Inpa, 2004
- LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento. Relatório final. Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais e Instituto de Biologia. Unicamp, Campinas, SP, 2000. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/sbf/chm/relpub.html>.
- MARENGO, J. A. Cenários climáticos para a América do Sul: projeções dos AOGM Globais do IPCC. 2005 (não publicado).
- MARGULIS, S. Causas do desmatamento da Amazônia brasileira. Brasília: Séries Banco Mundial, 2003. 100p.
- MARQUES, J. et al. O campo do fluxo de vapor d'água atmosférico sobre a Região Amazônica. *Acta Amazônica*, v.9, n.4, p.701-13, 1979.
- MMA. GEOBRASIL – Environmental Outlooks in Brazil. Organização de Tereza C. de Carvalho e João B. D. Câmara. Brasília: Ibama, 2002.
- MOLION, L. *A Climatologic Study of the Energy and Moisture Fluxes of the Amazon Basin with Consideration on Deforestation*. Madison, 1975. Dissertation (Ph.D.) – University of Wisconsin.
- PERES, C.; DOLMAN, P. M. Density Compensation in Neotropical Primate Communities: Evidence from 56 Hunted and Nonhunted Amazonian Forests of Varying Productivity. *Oecologia*, n.122, p.175-85, 2000.

- REID, W. R. *How many species will there be?* Ed. T. C. Whitmore and J. A. Sayer. New York: Chapman and Hall. 1992. Chapter 3 “Tropical deforestation and species extinction”.
- SALATI, E. Impactos das mudanças climáticas globais em algumas regiões do Brasil através do estudo da variação do balanço hídrico. In: “Cenários Climáticos do Semi-árido em Implicações para o Desenvolvimento do Nordeste”. Workshop realizado em Fortaleza, em 24.11.2004. Disponível em: <www.fbds.org.br>
- SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of Amazon Region. In: SIOLI, H. (Ed.) *The Limnology and landscape-ecology of a mighty river and its Basin*. Dordrecht, Junk Publishers, 1984. p.85-126.
- SALATI, E.; NOBRE, C. A. Possible Climatic Impacts of Tropical Deforestation. *Climatic Change*, v.19, p.177-96, 1991.
- SALATI, E.; VOSE P. B. Amazon Basin: a system in equilibrium. *Science*, v.225, p.129-38, 1984.
- SALATI, E. et al. Origem e distribuição das chuvas na Amazônia. *Interciência*, v.3, n.4, p.200-6, 1978.
- _____. Recycling of Water in the Amazon, Brazil: an isotopic study. Geophysical Research. *Water Resources Research*, v.15, n.5, p.1250-8, 1979.
- SILVA DIAS, M. A. F. et al. Aerosols impact clouds in the Amazon Basin. *GEWEX Newsletter*, v.14, n.4, p.4-6, 2004.
- SILVA DIAS, P. L.; MARENGO, J. A. Águas atmosféricas. In: *Águas doces do Brasil – Capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Instituto de Assuntos Avançados – USP, Escrituras, 1999
- TABARELLI, M. et al. Forest Fragmentation, synergisms and the Impoverishment of Neotropical Forest. *Biodiversity and Conservation*, v.13, p.1419-1425, 2004.
- TER STEEGE, H. (Ed.) Long-term changes in tropical tree diversity: Studies from the Guiana Shield, Africa, Borneo and Melanesia. The Netherlands: Tropenbos International, Wageningen, 2003. 215p. (Tropenbos Series 22)
- TERBORGH, J. et al. Structure and Organization of an Amazonian Forest Bird Community. *Ecological Monographs*, n.60, p.213-38, 1990.
- THIOLLAY, J. M. Structure, Density and Rarity in an Amazonian Rainforest Bird Community. *Journal of Tropical Ecology*, n.10, p.449-81, 1994.
- VICTORIA, R. L. et al. Surface Air Temperature Variations in the Amazon Region and Its Borders during This Century. *American Meteorological Society*, v.11, n.5, p.1105-10, 1998.
- VILLA NOVA, N. A. et al. Estimativa de evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazônica*, v.6, n.2, p.215-28, 1976.
- VILLA NOVA, N. A. et al. *Variações climáticas em Piracicaba de 1917 a 2003*. 2004 (relatório interno FBDS).
- WILSON, O. E. Global Biodiversity Map. *Science*, v.29, p.289, 2000.
- ZILLER, S. R. Espécies exóticas invasoras e restauração de áreas degradadas. Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. 2000. Disponível em: <www.institutohorus.org.br>.

RESUMO – NESTE trabalho, são indicados os principais temas ambientais para o Brasil, num futuro próximo (2022). Impactos do aumento da temperatura são estudados através de cenários, que podem modificar o balanço hídrico em algumas regiões, tendo sido observado um aumento da ordem de 0,78°C no período de 1917 a 2003, na região de Piracicaba. Para a região amazônica, foi observado um aumento de 0,56°C durante o século XX. Tanto o desmatamento quanto as Mudanças Climáticas Globais atuam na direção de um aumento da temperatura, enquanto o desmatamento influi na direção de uma diminuição das precipitações. O desmatamento provoca, ainda, uma grande perda de biodiversidade, sendo estimadas em uma perda entre 8.000 até 34.000 espécies, considerando-se que o desmatamento aumenta em 1% ao ano.

PALAVRAS-CHAVE: Aumento da temperatura, Precipitação, Desmatamento, Amazônia, Mudanças Climáticas Globais, Biodiversidade, Biodiversidade na Amazônia, Taxa de extinção.

ABSTRACT – THIS PAPER indicates the environmental issues that must necessarily be approached, in Brazil, in a near future (2022). A study was made on some aspects of the effects of deforestation and Global Climate Change. A temperature rise around 0,78% has been observed during period of 1917 and 2003 in the Piracicaba region. For the Amazon region a rise of 0,56% was observed the 20th Century. The existing information indicates that not only deforestation but also Global Climate Changes act upon temperature rise. Deforestation has direct influence in precipitation decrease. The consequences of Global Climate Change are still unknown, being that some models indicate a precipitation rise and others a decrease. Deforestation also provokes great biodiversity loss, estimated between 8.000 to 34.000 species, considering that deforestation raises 1% per year.

KEYWORDS: Temperature rise, Precipitation, Deforestation, Amazonian, Global Climate Change, Biodiversity, Biodiversity on Amazonian, Extinction rate.

Eneas Salati é diretor técnico da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). @ – salati@fbds.org.br

Ángelo Augusto dos Santos é coordenador de Biodiversidade da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). @ – aas@fbds.org.br

Israel Klabin é presidente da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). @ – ikla@fbds.org.br

Recebido em 27.1.2006 e aceito em 2.2.2006.