

O Antropoceno: desafios da Mudança Global

João M. F. Morais
Vice-Director, International Geosphere-Biosphere Programme,
Royal Swedish Academy of Sciences, Box 50005, SE- 104 05
Stockholm, Sweden < morais@igbp.kva.se; www.igbp.net;
Professor da ULHT, Lisboa;

Resumo

Para salvaguardar o futuro, numa era dominada pela espécie humana ("o Antropoceno") conhecimento e acção são sinónimos de sobrevivência.

A pesquisa sobre a mudança ambiental e o Sistema Terra oferece o nexó multi-disciplinar ideal para descobrir os novos paradigmas da globalização e da sustentabilidade:

- A dinâmica planetária caracteriza-se por "patamares" de mudanças, algumas delas abruptas e inesperadas e que não têm analogia com situações do passado (p.ex. variabilidade climática, v. fig. 3).
- «Mudança climática» e «mudança global» não são sinónimos: a primeira refere fenómenos de acelerada alteração climática (como, por exemplo, o aquecimento global); mudança global e a Ciência do Sistema Terra refere o estudo da complexa totalidade das inter-relações homem-ambiente; esta é assim mais do que mudança climática: os efeitos não climáticos ou antropogénicos parecem superar a curto prazo a importância das mudanças climáticas, que no entanto são agravadas por acção do homem. Pode, assim, dizer-se que, numa escala temporal de anos a décadas, as influências antropogénicas são imediatas;
- As actividades humanas suscitam efeitos múltiplos e interactivos que se reflectem de uma forma repercutida e complexa através de todo o Sistema Terra. Mudança global não pode ser percebida em termos de um simples paradigma causa-efeito. Actividades humanas repercutem-se de uma forma multidimensional na diversidade das escalas espaciais e temporais.
- As zonas costeiras e bacias fluviais, como domínio complexo do "sistema terrestre", oferecem uma excelente oportunidade para o desenvolvimento de projectos científicos integrando as dimensões humanas, físicas e naturais da mudança global;
- Embora a maior parte dos impactos ambientais costeiros tenham essencialmente um cariz local (como por exemplo os fenómenos de poluição, sobrepesca e crise socio-económica), os seus efeitos cumulativos acabam, geralmente, por ter consequências aos níveis regional e global. Os processos sistémicos inerentes à mudança global devem ser estudados globalmente, mas com uma ênfase local;

- «Princípios de precaução» devem ser exercidos de molde a garantir uma relativa integridade e a capacidade auto-regeneradora de sistemas complexos e de comportamento não linear.

(1) As actividades do IGBP em Portugal estão disponíveis em <http://igbp-portugal.org/>

The Anthropocene: the Challenges of Global Change

João M.F. Morais, Deputy-Director, International Geosphere-Biosphere Programme, The Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm. www.igbp.net

Abstract

The use of land, water, minerals and other natural resources has increased almost ten-fold over the last two hundred years and approximately 50% of the ice-free land surface has now been significantly modified by mankind. This phenomenon, recently coined as the "Anthropocene" (Finnigan 2003, Steffen et al. 2004), stands for the new 'geological era' now affecting the whole Earth System impacted by human action at all levels in order to fulfil their need for food, energy, shelter and employment. A 'sustainability transition' to curb down environmental degradation is therefore one of the major societal challenges we face particularly in a world with regions unequally affected - and should bring together all citizens, from consumers to science, policy and resource management.

- Recent research implemented by the global change scientists (IGBP, IHDP and WCRP) involved in the IPPC process, highlight a few principles that may help societies to better understand and meet those challenges:

- The Earth is a system within which the biosphere is an essential component
Global change is much more than climate change; it is happening now and it is accelerating

- Human action drives multiple, interacting effects that cascade through the Earth System in complex ways: land (and particularly coastal) systems, offer ideal research potentials;

- The Earth's dynamics are characterised by critical thresholds and abrupt changes with unknown consequences – if inadvertently triggered- for the Earth System, including Mankind.

- The Earth is currently operating in a state with no analogue in the past. Application of the precautionary

principle seems therefore a most sensible way to safeguard a relative integrity and self-regulatory capacity of complex and nonlinear systems.

Introdução: Que significa «mudança global»?

1. Globalização e desenvolvimento sustentável
2. O papel da Ciência do Sistema Terra
3. Um exemplo de mudança sistémica: dinâmicas terrestres e impactos hidrológicos.
4. A dimensão "Glocal": como pensar globalmente e agir localmente

Conclusão: Principais pontos a reter

Bibliografia

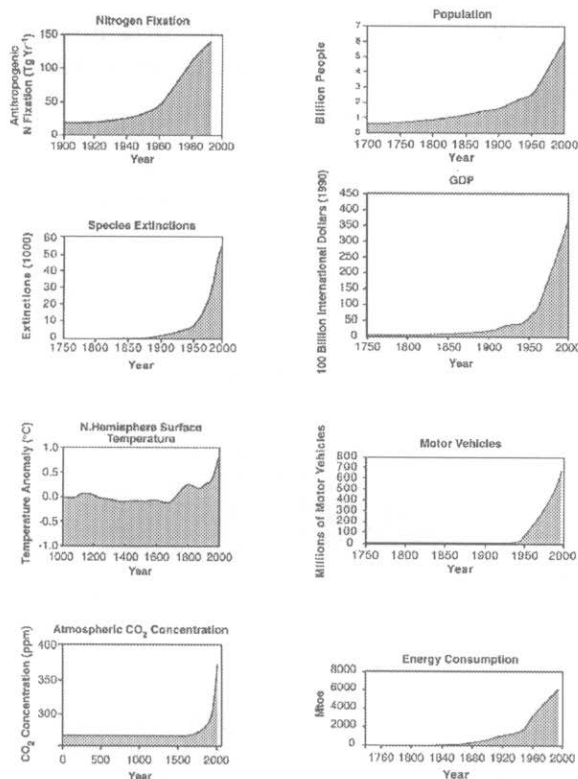
Introdução: Que significa «mudança global»?

Território, alimento, ar e água são necessidades humanas essenciais. Componentes do subsistema ambiental de bens e serviços de que a humanidade depende mas igualmente determina numa era de avançada tecnologia. A utilização dos recursos naturais tem assim, sobretudo com o exponencial grau de exploração que caracteriza o "Antropoceno"¹, largos impactos nos processos ambientais, com consequências significativas na capacidade regenerativa dos sistemas biogeofísicos e na sua sustentabilidade a longo prazo.

A designação «mudança global» foi primeiramente utilizada em ciência política desde os anos 70 no âmbito da definição de mecanismos de segurança e de legislação internacional, antecipando o termo «desenvolvimento sustentado». A partir dos anos 80, os termos "Mudança Global" e "Mudança Climática" transferiu a ênfase do plano antropocêntrico para o do geocêntrico, sobretudo sublinhando os processos de rápida alteração do Clima e camada de Ozono, tendência que prevaleceu no decurso da década de 90 (Price, 1994, p.2).

Existe contudo um certo equívoco no uso indiferenciado das designações «mudança climática» e «mudança global»: enquanto a primeira estuda os preocupantes fenómenos da acelerada alteração climática – como o aquecimento global –, o estudo da segunda abarca a complexidade das relações entre as actividades humanas e o ambiente (incluindo, nomeadamente, os impactos socioeconómicos na composição atmosférica, a variabilidade climática, a cobertura vegetal e o uso da terra (v. fig 1).

2 Termo surgido entre a comunidade de cientistas do IGBP, para indicar uma nova era geológica em que a influência humana é comparável à do subsistema biogeoquímico (J.Finnigan 2003, W. Steffen et al. 2004).



Fonte: Steffen et al. 2004, pp. 5-6.

Figura 1: Indicadores (tempo / grau) de algumas atividades humanas com impacto global, nomeadamente no ciclo de nitrogénio, extinção de espécies, temperatura de superfície, concentração de CO₂, demografia, PNB, Veículos a motor, e consumo de energia.

1. Globalização e desenvolvimento sustentável

O fenómeno da *globalização*, emergindo com o mercantilismo do século XVI e acelerando sobretudo a partir da revolução industrial, é agora reconhecido como tendo um impacto universal. Com a globalização reforçam-se os nexos de interdependência entre países, gerado pelo fluxo de bens, serviços, informação e ideias. Estados, organismos nacionais e internacionais, bem como indivíduos, confrontam-se agora com as dinâmicas globais de mercados, fluxos de energia, mercadorias e informação, que desafiam fronteiras impostas por governos na sua tentativa de controlar ou regular as forças económicas a uma escala planetária.

Reflectindo o grau da mudança em curso, particularmente para os últimos dois séculos, o uso da terra, da água, dos minerais e de outros recursos naturais aumentou cerca de 10 vezes (ICSU, 1996, p. 19 e Figura 2). Este fenómeno, com notáveis impactos ambientais, determina assim a urgente necessidade de estudar as interações que ocorrem em diver-

sas escalas temporais e espaciais, afectando a totalidade do Sistema Terra, incluindo a biosfera, agora especialmente influenciado por uma única espécie. Os estudos em curso têm ainda em vista a possibilidade de produzir resultados práticos de descrição e de previsão da natureza das mudanças ambientais. Legislação internacional tem procurado regulamentar a crescente degradação ambiental e a necessidade de implementação do conceito de «desenvolvimento sustentado». Esses Protocolos (Ozono, desertificação, etc) têm em vista normalizar as relações entre estados e a racionalizar bens e serviços a uma escala planetária, tentando assim reduzir alguns dos impactos negativos da globalização.

Indicador	1972	1992	1999/2000
População Mundial	3.84 bilhões	5.47 bilhões	5.98 bilhões
Crescimento anual da população	67 milhões	95 milhões	80 milhões
População nos Países em Desenvolvimento	72%	77%	85%
População urbana (% da população total mundial)	38 %	46%	46.4%
Megacidades (> 10 milhões)	3	13	19
Megacidades no Mundo em Desenvolvimento	3	9	15
Concentração atmosférica de CO ₂	325 ppm.	356 ppm.	367 ppm
Numero de veículos a motor (Mundial)	250 milhões	600 milhões?	Sem dados
Destruição Anual de Florestas Tropicais	100.000km ²	170.000km ²	123.000km ²
Volume de Pescas Anuais	56 milhões t	90 milhões t?	126 milhões t

Figura 2. Indicadores de mudança em 3 decénios: 1972 (Estocolmo), 1992 (Rio de Janeiro) e 2002 (Johannesburg) (in UN 2000 e ICSU 2002).

Duas comunidades científicas, muitas vezes de costas voltadas, têm-se dedicado a procurar soluções para a aparente dicotomia “globalização *versus* desenvolvimento sustentado”. No entanto ambas complementam-se, já que qualquer cenário ou percurso sustentável implica um melhor conhecimento de sistemas complexos, nomeadamente o das relações biogeoquímicas e socio-económicas que os determinam. Onde a pesquisa sobre mudança global é mais frágil – a aplicação de soluções integradas de gestão política e de recurso – a ciência do desenvolvimento sustentado é mais robusta; e onde acções de desenvolvimento sustentado é menos capaz compreender as dinâmicas fundamentais de sistemas ambientais complexos, não-lineares – a comunidade de cientistas da mudança global está mais bem informada.

Um pre-requisito importante é o da existência de dados empíricamente obtidos. *Observações e monitorização* permanentes de processos e condições sociais, económicas e

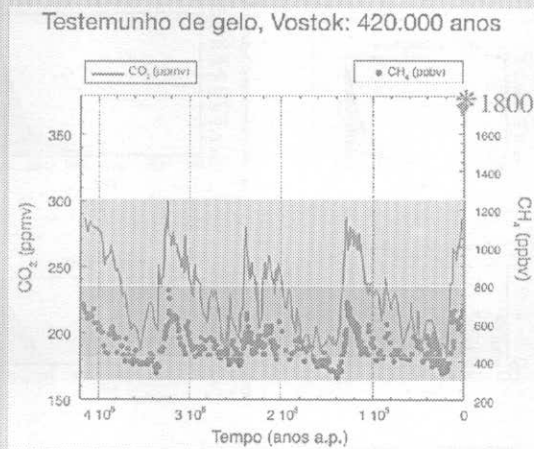
ambientais — os três pilares do desenvolvimento — são instrumentos essenciais para determinar o grau e a natureza das mudanças. Com *indicadores* credíveis, simples e úteis, melhor se poderá observar e analisar o estado e evolução dos sistema Terra nos seus componentes fundamentais. Estes deverão ser cientificamente validados, cobrir a diversidade de escalas temporais e espaciais, e traduzidos claramente para compreensão do público não especializado. Para melhor compreensão de sistemas altamente complexos e dinâmicos, torna-se também essencial a elaboração de *modelos* e outros instrumentos de previsão, que possibilitem *análise probabilística* e os estudos de avaliação de risco em projectos integrados e vocacionados para acções de desenvolvimento sustentado.

Investigação integrada não só requer a existência de equipas multi-disciplinares, mas também escalas temporais e espaciais, particularmente desenvolvendo *perspectivas de longo-prazo* que possam melhor informar as presentes condições. Acções de *educação, divulgação e comunicação* alargadas e participatórias não só são valiosos instrumentos de envolvimento e tomada de consciência social como facilita o diálogo entre a ciência e o poder político. Finalmente, a *excelência científica* e as actividades de *formação e capacitação técnico-científicas*, entre todas as regiões e entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, são o único garante que desenvolvimento sustentável, ultrapassando o nível da retórica, se materialize como valor universal.

2. O papel da Ciência do Sistema Terra

A Ciência do Sistema Terra estuda de uma forma integrada a diversidade do ambiente humano e natural nas escalas do local ao global. O estudo abrangendo a diversidade de escalas e as suas respectivas interações tem uma relevância de aplicação directa em muitos dos aspectos identificados como “desenvolvimento sustentado”. A aplicação destes princípios exige uma competente capacidade de governação, gestão e capacidade de decisão aos níveis locais e globais. Ademais, a sustentabilidade como imperativo ético, deve ser alicerçada no conhecimento profundo da “condição humana” bem como dos mecanismos biogeofísicos ao nível do Sistema Terra que condicionam o desenvolvimento humano como parte desse sistema. Foi de facto a comunidade científica internacional que primeiramente alertou, à escala planetária, a existência do “buraco do ozono” e o aquecimento global. Este último fenómeno foi internacional e cientificamente demonstrado desde há uma década com uma publicação documentando claros indícios de que «a correlação das evidências sugere uma clara influência humana no clima global» (IPCC, 1995, p. 10). Também concretizando aqueles dados, a comunidade de

paleoclimatologistas contribuiu com uma das mais importantes demonstrações do progresso da ciência das últimas década (v. Fig.2)



Fonte: Petit et al. (1999), *Nature* 399:429-436

Figura 3: Os registos paleoclimáticos de Vostok (fig.1 acima) indicam que estamos presentemente muito fora do quadro de variabilidade natural das concentrações atmosféricas de CO₂ e CH₄, gases traçadores com consideráveis impactos no “efeito de estufa”. Os dados referentes a temperatura média (não indicados neste gráfico) são igualmente consistentes com um anormal aumento de temperatura global média.

A ressaltar do testemunho de Vostok: a variabilidade natural de CO₂ nos últimos 400.000 anos (4 ciclos glaciais e interglaciais) têm-se mantido em parâmetros regulares (180-300 ppmv para o CO₂ e 300-800 ppbv para o CH₄; agora respectivamente a 370 ppmv e 1800 ppbv).

Contudo, a «mudança global» é mais complexa do que o efeito de estufa, o «buraco do ozono», e a subida do nível do mar; o papel da ciência é tentar entender as alterações em curso, e particularmente o papel da humanidade nas flutuações climáticas à dinâmica dos sub-sistemas físicos, bioquímicos e socioculturais que tornam possível a vida no nosso planeta. *Neste respeito, o presente não encontra analogias no passado.*

É ainda a comunidade científica que tem vindo a refinar cenários e mecanismos de previsão da variabilidade climática, nomeadamente para fenómenos de largo impacto planetário como o “El Niño”. Ao *nível local* a Ciência do Sistema Terra tem grande relevância para a compreensão de mecanismos de sustentabilidade dos sistemas alimentares, recursos aquáticos, previsão e adaptação a fenómenos climáticos extremos e desastres naturais, manutenção de recursos naturais e biodiversidade, saúde pública e combate à desertificação, para apontar alguns exemplos.

O reconhecimento da necessidade de integração dessa capacidade científica aos níveis biogeoquímicos, físicos, tecnológicos e sociais das mudanças globais tem vindo a ser sancionada através de diversas iniciativas internacionais, como a Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento (UNCED, 1992), donde surgiu a «Declaração do Rio» e a «Agenda 21» (UN, 1993; Kasperson *et.al*, 1995, pp. 6-7; Redclift e Benton, 1994, p. 12), e mais recentemente o Fórum Mundial para o Desenvolvimento Sustentado (WSSD) em Johannesburg (WSSD 2002).

A integração das esferas científica e política emerge assim de claros «avisos» de uma acelerada mudança ambiental : à escala planetária as nossas acções são materialmente insustentáveis, tendo em conta os limitados recursos e «serviços» prestados pelos ecossistemas. Pode-se, pois, dizer que o futuro da espécie humana torna hoje o *conhecimento* e a *acção* complementos sinónimos da própria sobrevivência. O conceito de desenvolvimento sustentado tenta responder à necessidade de assegurar o progresso material sem destruir a capacidade de renovação dos recursos naturais.

De molde a apoiar critérios de gestão ambiental, são necessários novos instrumentos de informação, para além dos fornecidos pelas ciências naturais e pela investigação tecnológica. Essencial é agora aprofundar o conhecimento sobre a natureza das mudanças sociais e económicas que condicionam as sociedades, de forma a melhor prever e adaptar respostas a uma crescente complexificação de agentes e processos, desde padrões de comportamento, impactos demográficos e instrumentos legais, às escalas local, regional e global. Os desafios do século XXI serão tanto melhor enfrentados quanto forem capazes de combinar abordagens científicas interdisciplinares de integração e síntese, que evoluam de uma visão parcial, para uma visão sistémica (v. figura 4).

3. Um exemplo de mudança sistémica: dinâmicas terrestres e impactos hidrológicos.

As sociedades dependem dos sistemas ecológicos e físicos para serviços múltiplos e fundamentais. São, em última instância, esses sistemas que sustentam actividades económicas e sociais, incluindo a própria vida.

Tentando ilustrar estes princípios: mais de 50% da humanidade reside dentro de uma faixa costeira de 100 Km (Crossland *et. al*, 2005), o que explica o facto de cerca de 600 000 km de zonas costeiras estarem particularmente sujeitas aos impactos humanos (GESAMP, 1990 e 2001). Globalmente, cerca de 50% de sistema de mangais foram convertidos para outros usos

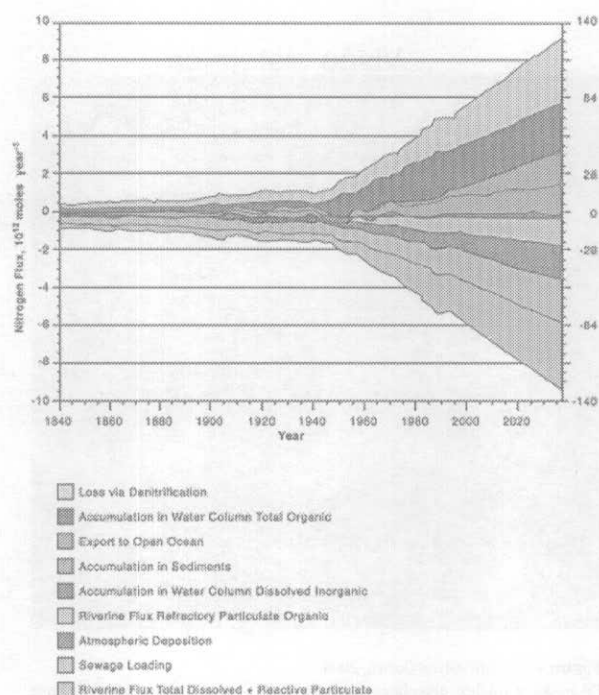


Figura 4 (© IGBP-Glynn Gorick, 2004):

De molde a melhor perceber o Sistema Terra, é necessário evoluir de uma abordagem parcial (seja ela disciplinar, sectorial, teórica, política, etc) para uma síntese e integração de conhecimentos e práticas sociais.

(p.ex. Aquacultura de marisco), e 29% de território costeiro (excluindo a Antártica) tem ecossistemas profundamente alterados. Além disso, a vulnerabilidade económica e ecológica dos sistemas costeiros é ampliada pelas transformações climáticas em curso, quer pela subida do nível do mar, quer por efeitos de erosão da costa e perdas do seu *habitat* natural: nomeadamente o aumento da frequência de tempestades e inundações, o aumento da salinidade de estuários e aquíferos costeiros, as alterações no regime de marés nos rios, estuários e baías, as mudanças no transporte de sedimentos e nutrientes e

a contaminação química e microbiológica costeira (IPPC, 1996b, pp.8, 289-318 e 401-420). Contudo, os efeitos não climáticos ou antropogénicos (isto é, aqueles que afectam localmente o uso da terra, o abastecimento e a qualidade da água, as pescas, os serviços financeiros e a saúde pública) parecem superar a curto prazo a importância das mudanças climáticas, que, no entanto, são agravadas por acção do homem. Pode, pois, dizer-se que, numa escala temporal de anos a décadas, as influências antropogénicas são imediatas, enquanto outros impactos ambientais (como os climáticos e do nível eustático do mar) se irão reflectindo numa escala de décadas a séculos (v. Fig. 5).



Fonte: Mackenzie et al. (2002), Chem. Geol. 190, 13-32

Figura 5. Impactos globais de diversos fluxos (v. os 9 indicadores acima) no ciclo do nitrogénio nas zonas costeiras, calculadas para o período 1850-2000, e projectadas até 2035 para um cenário passivo ("business as usual").

Os ecossistemas costeiros estão especialmente ameaçados pela conversão da zona costeira em centros urbanos, num domínio onde o crescimento demográfico não tem precedentes onde agora se concentra cerca de um bilião da população mundial (World Resources Institute, 1996, p. 60). Os fenómenos acelerados de urbanização em zonas costeiras são ainda particularmente significativos (mas não exclusivos) nos países em vias de desenvolvimento, e os indícios são no sentido de essa tendência se ampliar no futuro. Uma recente síntese científica

internacional depois de uma década de investigação sobre Dinâmicas do Uso da Terra aponta o facto de que a urbanização e associadas mudanças no estilo de vida deverão torna-se o mais determinante factor influindo naquelas dinâmicas (IGBP *News-Letter* n.º 63, p. 13). No caso específico do continente africano, a confirmar-se uma tendência de crescimento demográfico progressivo e desplanificado, verificar-se-á um aumento anual de mais de 3 % até ao ano 2025 em zonas rurais costeiras e de 4 % a 6 % em zonas urbanas. Se a estes números acrescentarmos a relação percentual entre a costa e a área total do país, que vai, nomeadamente, de 100 % (Cabo Verde) até 67,5 % (Guiné-Bissau) e 20,6 % (Moçambique), torna-se evidente a gravidade dos impactos socioambientais (Turner e Adger, 1996, p. 13). Em termos globais, cerca de dois terços das cidades com mais de 1,6 milhões de habitantes encontram-se localizadas na costa. Igualmente, a grande maioria das 19 megacidades (metrópoles com mais de 10 milhões de habitantes) estão localizadas em zonas costeiras (World Resources Institute, 1996, p. 61 e ICSU 2002). Considerando que em cada decénio a população mundial aumenta cerca de um bilião, o que implica um aumento anual em cerca de 2 % da quantidade de produção alimentar (IGBP, 1997, p. 2), as consequências ambientais, nomeadamente impactos negativos para a biodiversidade, deverão ser particularmente significativas para as periferias das metrópoles onde parte dos alimentos são produzidos. Isto para não mencionar consequências ao nível da necessidade de obtenção de recursos essenciais, como água, energia, transporte, materiais de construção, etc.

Entre outros incentivos de mercado, o valor das propriedades costeiras é particularmente significativo e estimula formas desordenadas de expansão num contexto já de si geralmente fragilizado. Em regiões tão diversas como Singapura, São Francisco e Hong-Kong, é prática comum a expansão territorial sob forma de aterros costeiros, reduzindo ou afectando negativamente a dimensão das respectivas bacias hidrográficas, lagoas e areais. Entre algumas das consequências negativas, contam-se ainda a intensificação da erosão costeira e a alteração da hidrologia dos estuários, bem como a perda ou ruptura do *habitat* de ecossistemas naturais. Exemplos destes impactos é a redução em 2/3 das florestas de mangal no Sudeste Asiático desde 1900, com índices de cerca de 1% a 4% de perdas ao ano, e 86% dos corais em risco devido a sobre-pesca, desenvolvimento costeiro e sedimentação (Crossland et al. 2005, p. 5).

3.1 O caso do Mediterrâneo

A influência humana tem contribuído muito nos últimos séculos para a degradação ambiental do Mediterrâneo, tendência que parece não ter sido invertida desde que há vinte e cinco anos foram assinados os primeiros acordos entre todos os

estados com projecção mediterrânica, com excepção da Albânia, que aderiu em 1990 (Pearce, 1995, pp. 28-29). Os impactos demográficos nas regiões costeiras mediterrânicas, que representam cerca de 66% do turismo mundial, são significativos: em cada época balnear a população aumenta de 130 para 265 milhões, números que eventualmente chegarão aos 353 milhões em 2025 (Crossland et al. 2005, p.15 e 180). Os problemas ambientais são enormes: nomeadamente cerca de 500 milhões de toneladas de esgotos (80 % do total) são anualmente descarregados para o mar sem qualquer tipo de tratamento. Matérias poluentes como nitratos e fosfatos (provenientes do uso de detergentes e fertilizantes, entre outros) provocam a eutrofização, ou «fertilização», das águas. Com a alteração da sua qualidade e, particularmente, durante o Verão, enormes quantidades de algas reproduzem-se, causando «marés vermelhas» tóxicas, bem como extensas formações de espuma (derivadas da secreção de diatomáceas, microalgas marinhas) que retiram o oxigénio da água e eliminam outras espécies. A introdução acidental de espécies estranhas ao meio, como a da infestante marinha *Caulerpa taxifolia*, originária dos trópicos mas agora também presente em extensas áreas costeiras das ilhas Baleares ao Sul da Itália, tem igualmente sido apontada como causadora de enormes impactos na biodiversidade mediterrânica (Pearce, 1995, p. 27).

As implicações no âmbito da saúde pública vão desde praias impróprias até alimentação poluída (nomeadamente, cerca de 93 % do marisco pescado contém mais matéria fecal e elevada concentração de mercúrio do que a recomendada pela Organização Mundial de Saúde).

No entanto, os modelos de previsão das mudanças climáticas e ambientais no Mediterrâneo indicam variações significativas aos níveis local e regional (Jeftić et al., 1996, p. 13-25). As variações referem-se, nomeadamente, às temperaturas médias anuais e aos valores de precipitação (as primeiras mais acentuadas para latitudes mais elevadas, sendo os dados de precipitação mais incertos), aumento da evapotranspiração, impactos na agricultura e pescas, variação nos regimes fluviais, efeitos da subida do nível eustático do mar, intensificação da intrusão de água salgada nos aquíferos costeiros, etc. Contudo, mais do que as incertezas das mudanças em curso, é crucial a necessidade de melhorar as capacidades de modelação dos sistemas naturais e sociais, quer isoladamente, quer conjuntamente, bem como a de abordar o planeamento e a gestão integrados — particularmente os de maior impacto ambiental como transporte, turismo e comércio — que superem uma visão a curto-prazo de desenvolvimento sectorial e divorciada da opinião pública. Por exemplo o sector de transportes favorece claramente a rede de estradas ao ferroviário: de 1992 a 2000 o Banco de Investimento Europeu concedeu 50% dos seus empréstimos a projectos de rede viária,

a comparar com 14% atribuído a projectos ferroviários (Crossland et al., p.181).

Nas próximas décadas os impactos de factores não climáticos, como os que afectam a dinâmica populacional e os impactos do planeamento físico sobre o meio natural, social e económico do Mediterrâneo, irão suplantam de longe os impactos directos das mudanças climáticas. No entanto, é provável que o aumento gradual do *stress* dos factores climáticos possa vir a afectar o desenvolvimento sustentado de zonas costeiras (sobretudo no Mediterrâneo sul), especialmente nos sectores do turismo e da agricultura. Em geral, todas as regiões costeiras entre os 0 e os 5 m serão provavelmente afectadas por alterações climáticas, com impactos na agricultura, nas pescas (cuja ruptura do sistema foi já, de resto, atingida sem a intervenção dos efeitos climáticos), na indústria, no turismo e na qualidade ambiental. A aquacultura poderá, contudo, vir a beneficiar das previstas mudanças ambientais.

É assim evidente a necessidade de aprofundar o conhecimento da evolução dos sistemas costeiros sob influência de diferentes cenários passíveis de mudança global, os efeitos das mudanças nas actividades socioeconómicas e as estratégias para a gestão apropriada dos recursos costeiros.

No entanto, porque a identificação das soluções possíveis exige um melhor conhecimento das causas, parece ser consensual a necessidade de, pelo momento, aplicar «princípios de precaução» que salvaguardem a conservação da integridade de sistemas complexos e de comportamento não linear. Estas medidas de precaução não advogam a conservação de todas as espécies a qualquer custo, mas tão-somente a estabilização ao nível da «resiliência» do sistema, ou seja, a sua capacidade de sustentar a capacidade de auto-organização em face de situações de *stress* ou de choque.

3.2. Dinâmicas socio-ecológica em regiões costeiras: síntese teórica.

Em síntese pode-se identificar alguns dos problemas básicos da mudança global e as consequências para a sustentabilidade do uso dos sistemas costeiros, que incluem:

- aumento populacional e incremento dos índices de urbanização;
- aumento da industrialização e intensificação de componentes externos, geralmente poluentes, usados na agricultura;
- aumento do crescimento económico mundial;
- aumento da interdependência económica, contribuindo, nomeadamente, para o rápido crescimento dos transportes internacionais de bens e serviços, bem

como do turismo concentrado nas regiões costeiras;

- globalização da transferência da informação e comunicação;
- mudança de atitudes sociais e estilos de vida, incluindo o aumento da procura e o acesso alargado às actividades de tempos livres e turismo.

Os factores acima indicados, cumulativa ou sistematicamente, sugerem 4 princípios fundamentais específicos ao domínio costeiro como um dos principais componentes do Sistema Terra, incorporados como síntese de 10 anos de pesquisa de um dos mais sistemáticos projectos de mudança global na zona costeira (Crossland et al. 2005, p. 203):

1. O domínio costeiro é o mais dinâmico dos ecossistemas globais e onde mais se fazem sentir as mudanças globais, quer naturais, quer antropogénicas.
2. Numa escala global, sistemas costeiros têm um papel fundamental como elemento regulador da mudança global. Esses mesmos factores requerem uma planificação e gestão cuidada, a nível regional e local, que tenha em conta o bem-estar e productividade da totalidade dos sistemas costeiros.
3. Mudanças nas zonas costeiras não podem ser compreendidas ou geridas independentemente dos sistemas fluviais. Impactos antropogénicos nos sistemas hidrológicos e bacias fluviais, nomeadamente sedimentos, fluxos ou transferência de matéria e energia, têm muito maior implicações nos domínios costeiros do que geralmente é entendido. As duas dimensões – bacias fluviais e zonas costeiras – têm que ser devidamente integradas quer ao nível científico, quer ao nível de gestão.
4. Embora os maiores sistemas fluviais tenham grande proeminência como geradores matéria e energia nos domínios costeiros e marinhos, são de facto as pequenas e médias bacias fluviais que demonstram maior sensibilidade aos impactos antropogénicos e climáticos nos fluxos hidrológicos. Particularmente, as escalas temporais e espaciais são tanto mais sensíveis à mudança quanto menores forem os sistemas fluviais. Ademais, os mecanismos de mudança de sistemas fluviais de menor escala são na generalidade menos conhecidos do que os daqueles respeitantes aos maiores sistemas.

4. A dimensão “Glocal”: como pensar globalmente e agir localmente

A natureza das interacções entre as sociedades e o respectivo meio ambiente tornou-se mais conspícua com o advento da agricultura e pecuária há cerca de 8000 anos, (Ruddiman 2005). Contudo, as escalas espaciais e temporais dos impactos que agora vivemos não têm precedentes, intensificando-se particularmente nos últimos 3 séculos e acelerando ainda mais no decurso das últimas 3 décadas com o advento da “revolução verde”.

Desde tempos imemoriais, as comunidades humanas têm sido capazes de descobrir soluções criativas para os problemas de subsistência. Esse processo de adaptação ultrapassa diferenças biológicas, espaciais e culturais e reflecte-se na produção do conhecimento – que assenta em princípios de «tentativa e erro» –, na qual algumas respostas inovadoras resultam de um muito maior número de experimentações. Desta forma se cristalizou a própria ciência: novos conhecimentos se obtêm a partir da confrontação de diferentes pontos de vista, numa atitude crítica que recusa abordagens monolíticas ou mecânicas. O objectivo último da ciência não é a ciência em si, mas a compreensão de um mundo, como sistema integrado, que não conhece fronteiras.

Paralelamente, a produção científica será mais bem sucedida sempre que apoiada em redes sistémicas e diversificadas, associando ciências naturais e sociais, desenvolvendo a investigação básica e aplicada e conciliando análises quantitativas e qualitativas. O usual síndrome de especialização disciplinar frequentemente leva a que cientistas naturais ignorem que os processos sociais não se reproduzem num contexto de “causa-e-efeito”, e aos seus contrapartes sociais que não reconheçam que sistemas sociais e económicos são inter-dependentes do mundo biofísico. Igualmente valiosas podem ser abordagens que associem escalas regionais, potencialmente agregáveis a escalas mais vastas, bem como a desagregação de componentes globais ao nível regional de estudo de casos.

Em grande medida, o sucesso do empreendimento estará também dependente de uma mudança de atitude que promova o conhecimento articulado entre os cientistas, as instituições civis e o cidadão, com vista à definição de melhores políticas e de decisões mais integradas. Isto requer uma visão estratégica que promova o uso adequado de meios de comunicação social e o investimento crescente em recursos educativos inovadores, particularmente voltados para actividades de pesquisa e desenvolvimento.

É actualmente consensual que os processos à escala da mudança global devem ser avaliados globalmente, mas orientados tanto quanto possível para as necessidades regionais. Organizações locais, regionais e internacionais devem, assim,

articular-se, tendo em vista a concretização de projectos concebidos para dar resposta a problemas socioeconómicos e culturais de cariz global, mas com sérios efeitos regionais.

As expectativas criam enormes desafios à ciência: por um lado, a opinião pública exige que ela prove a sua utilidade através da demonstração de benefícios concretos; as comunidades exigem-lhe facilitar níveis de vida mais elevados e os governantes pedem-lhe soluções imediatas para os problemas do seu eleitorado como pré-condição para futuros apoios.

Em geral, os cientistas, embora salvaguardando a natureza provisória do conhecimento científico, têm feito consideráveis esforços no sentido de tornar os resultados do seu trabalho mais transparentes e aplicáveis, muitas vezes em parceria com o poder político. Mas muito maior sinergia é necessária de molde a explorar inesgotáveis benefícios e soluções “win-win” (de mútuo benefício).

Torna-se assim clara a necessidade de duas acções complementares: as agendas científicas sobre mudança global devem incluir quer os requisitos operacionais, quer as considerações metodológico-científicas. Enquanto a primeira acção deverá tentar ultrapassar eventuais barreiras geopolíticas e culturais por forma a atingir no foro internacional consensos sociais e políticos, a agenda científica deverá procurar desen-

volver melhor teorias e apoiar a sua execução (v. caixa 3).

Organismos de Financiamento inter-governamental à pesquisa em Mudança Global estão implementados desde há cerca de uma década para as Américas e Asia-Pacífico: o Inter-American Institute (IAI) para a mudança global nas Américas, e a rede Ásia-Pacífico (APN) para a mudança global). Entretanto, malgrado acções concertadas em África, a União Europeia não tem sido capaz de promover, como se esperava, o mesmo mecanismo de apoio naquele continente (ICSU 2005). Numerosos cientistas afiliados no IGBP fazem também parte do mecanismo de avaliação internacional para aspectos da mudança climática global (o IPCC «Intergovernmental Panel on Climate Change» criado em 1988 pela Organização Meteorológica Internacional e o Programa para o Ambiente das Nações Unidas, IPCC 2001). Outra importante colaboração (ESSP- “Parceria para a o Sistema Terra”) existe desde 2001, incluindo o IGBP, o IHDP (Programa Internacional Dimensões Humanas), o WCRP (Programa Mundial para a Pesquisa do Clima) e DIVERSITAS. Este grupo implementa agora uma agenda de pesquisa em programas cobrindo temas relacionados com água, alimento, Energia e Ciclo de Carbono, e Saúde, bem como promoção de redes de pesquisa regional, treino e capacitação técnica (START) (ESSP 2005).



Visão sistémica...

Um exemplo de abordagem sistémica: Programa Internacional Geosfera-Biosfera: um estudo da mudança global (IGBP)

O IGBP tem como objectivos centrais descrever e compreender a interacção dos processos físicos, químicos e biológicos que regulam a dinâmica do sistema Terra, o ambiente único que providencia a vida, as mudanças que ocorrem nessas dinâmicas e o papel da acção humana nessas mudanças. O domínio científico do IGBP, embora de âmbito científico alargado, tem um enfoque temático dirigido para os processos cumulativos ou sistémicos que influenciam ou determinam sérios impactos ambientais à escala global:

mudanças cumulativas – quando se trata de mudanças aparentemente distintas e geograficamente dispersas, mas que, uma vez

combinadas, ganham uma relevância global. Exemplos destes processos são os fenómenos de desertificação e da perda da biodiversidade; *mudanças sistémicas* – quando, ocorrendo numa dimensão global do «sistema Terra», como, por exemplo, a acumulação de dióxido de carbono na atmosfera e o efeito de estufa, ou ainda a diminuição da camada de ozono.

A prioridade dos estudos do IGBP incide sobre as interacções ambientais:

- com impactos em escalas temporais entre décadas e séculos;
- que mais afectam a biosfera;
- que são mais susceptíveis a perturbações humanas;
- que apresentem resultados necessários ao aumento da capacidade prática de previsão dos fenómenos ambientais à escala global.

O programa está organizado através de um conjunto de oito projectos centrais, cada um voltado para o estudo de uma questão científica crucial para a compreensão dos ciclos biogeoquímicos no âmbito da mudança global. Estes projectos estão de momento em diferentes fases de implementação e são complementariamente assistidos por duas actividades de integração e síntese no espaço (modelação) e tempo (paleociências) (v. figura anexa).

O Secretariado do IGBP, sediado na Academia de Ciências da Suécia, em Estocolmo, tem funções de facilitação dos projectos científicos e o apoio a cerca de 12 000 cientistas (directamente ou através das suas academias), cerca de 75 comités nacionais do IGBP (1) e outras instituições de pesquisa. Estes organismos contribuem como agentes ou «recipientes» de investigação científica fundamental e interdisciplinar nos domínios das ciências naturais e sociais das mudanças ambientais à escala global.

(1) V. Comité Nacional do IGBP para Portugal em <http://igbp-portugal.org>

Conclusão: Principais pontos a reter

Essencialmente, a agenda científica da Ciência do Sistema Terra investiga os impactos antropogénicos da mudança ambiental nos sistemas que viabilizam a vida no nosso planeta, e vice-versa. É assim urgente melhor perceber as interações entre processos regionais e globais, bem como todo o nexo multi-disciplinar que transcende as ciências naturais, sociais e humanas. A temática da mudança ambiental, tão pertinente à escala global, é um meio privilegiado para descobrir novos paradigmas científicos de compreensão do mundo, desde os processos dos ciclos biogeoquímicos e climáticos aos de comportamento socioeconómico e cultural.

Sintetizando alguns princípios fundamentais:

- O futuro da espécie humana torna agora conhecimento e acção sinónimos de sobrevivência. A dinâmica planetária caracteriza-se por "patamares" de mudanças, algumas delas abruptas e inesperadas. Actividades humanas podem assim suscitar, mesmo que inadvertidamente, mudanças de consequências catastróficas do Sistema Terra, agora sujeito a pressões que não têm analogia com situações do passado (p.ex. variabilidade climática, v. fig. 3).
- Os equívocos existentes no uso indiferenciado de «mudança climática» e de «mudança global» devem ser clarificados: enquanto a primeira estuda os preocupantes fenómenos de acelerada alteração climática — como, por exemplo, o aquecimento global —, a mudança global e a Ciência do Sistema Terra abarca o estudo da complexidade das inter-relações homem-ambiente;
- Mudança global é mais do que mudança climática: os efeitos não climáticos ou antropogénicos parecem superar a curto prazo a importância das mudanças climáticas, que no entanto são agravadas por acção do homem. Pode, assim, dizer-se que, numa escala temporal de anos a décadas, as influências antropogénicas são imediatas, enquanto outros impactos ambientais (como os climáticos e do nível eustático do mar) se irão reflectindo numa escala variando de décadas a séculos;
- As actividades humanas suscitam efeitos múltiplos e interactivos que se reflectem de uma forma repercutida e complexa através de todo o Sistema Terra. Mudança global não pode ser percebida em termos de um simples paradigma causa-efeito. Actividades humanas repercutem-se de uma forma multidimen-

sional, na diversidade de escalas espaciais (local-regional), temporal, ou sectorial.

- As zonas costeiras e bacias fluviais, como domínio complexo, interactivo e em acelerada transformação, oferecem uma excelente oportunidade para o desenvolvimento de projectos científicos integrando as dimensões humanas, físicas e naturais da mudança global;
- Embora a maior parte dos impactos ambientais costeiros tenham essencialmente um cariz local (como por exemplo os fenómenos de poluição e sobrepesca), os seus efeitos cumulativos acabam, geralmente, por ter consequências aos níveis regional e global. Por outro lado, as zonas costeiras estão também sujeitas a perturbações ambientais e sistémicas à escala global. Os processos inerentes à mudança global devem ser estudados globalmente, mas com uma ênfase local;
- Parece ser assim de bom-senso advogar a necessidade de aplicar «princípios de precaução» para assegurar a relativa integridade e a capacidade auto-regeneradora de sistemas complexos e de comportamento não linear.

Bibliografia

- Crossland C.J, H.Kremer, HJ Lindeboom et al. "Coastal Fluxes in the Anthropocene: the Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme". (Global Change: The IGBP Series), Springer Verlag, Berlin and N.Y., 2005.
- ESSP, Earth System Science Partnership, www.essp.org/, 2005
- Finnigan, J. "Earth System science in the Early Anthropocene", *IGBP NewsLetter* n.º 55, pp.8-11, Stockholm, 2003.
- GESAMP, *The State of the Marine Environment*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1990, 146 pp.
- GESAMP, A sea of Troubles. GESAMP (IMO,FAO,UNESCO, IOC, WMO, IAEA, UN, UNESP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), *Reports and Studies*, FAO, Rome, N.ºs.70 e 71, 2001.
- ICSU 2002. "Science as a Foundation for Sustainable Development", A report by the Global Environmental Change Programmes, International Council for Science (ICSU) Feb. 2002, Paris.
- ICSU 2005, ICSU Regional Office for Africa, www.icsu-africa.org/ ; www.scidev.net/content/news/eng/african-scientists-to-create-climate-change-network.cfm
- IPPC, *Climate Change 1995. The Science of Climate Change, Summary for Policymakers. Working Group I Contribution to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change (IPCC)*, WMO and UNEP, 1996a, s.l., 55 pp.
- IPPC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2001.
- Jeftic, L., Keckes, S., e Pernetta, J., «Implications of future climatic changes for the Mediterranean coastal region», in L. Jeftic, S. Keckes and J. C. Pernetta (eds.), *Climatic Change and the Mediterranean*, Londres, Arnold, 1996, 564 pp.
- Kasperson, J., Kasperson, R., e Turner II, B. L. (eds.), *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*, United Nations University Press, Tóquio, 1995.
- Mackenzie, F.T., Ver L.M., Lerman A., 2002, Century-scale nitrogen and phosphorus controls of the carbon cycle. *Chem. Geol.* 190, pp. 13-32.
- Morais, J.M.F. and W. Steffen, 1999. Global Change and Earth (Sub)-System Science, *Regional Environmental Change* 1 (1): 2-3.
- Morais, J.M.F. 1998. Global Change and the Coastal Zone/ A Mudança Geral e a Zona Costeira". Monografias, *Comissariat of the Lisbon World Exposition*, 1998. 50 p.p.
- Morais, J.M.F. 1997. An Overview of Global Environmental Change Research in M.H. Glantz and I.S. Zonn (eds.) *Scientific, Environmental, and Political Issues in the Circum-Caspian Region*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 165-183.
- Pearce, F., «Dead in the water», in *New Scientist*, 4 de Fevereiro de 1995, pp. 26-31.
- Petit JR, Jouzel J., Raynaud D. et al. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica. *Nature* 399, pp.429-436.
- Price, M. F., *Options for EC-level Research Activities on the Human Dimensions of Global Change*. DG XII/D, Comissão Europeia, Bruxelas, 1994, 69 pp.
- Redclift, M., e Benton, T., *Social Theory and the Global Environment*, Londres, Routledge, 1994.
- Ruddiman, William F. "How did Humans first alter global Climate?". *Scientific American*, March 2005, pp. 46-53.
- Steffen, W., A.Sanderson, P.D.Tyson, P.A. Matson, B.Moore III, F.Oldfield, K.Richardson, H.J.Schellnhuber, B.L.Turner II, R.J.Wasson, *Global Change and the Earth System: a planet under pressure*. (Global Change, the IGBP Series), Springer-Verlag Berlin, 2004.
- Turner, R. K, e Adger, W. N., *Coastal Zone Resources Assessment Guidelines. LOICZ/R & S/96, I., LOICZ*, Texel, Holanda, 1996, v + 101 pp.
- UN, *Earth Summit, Agenda 21, The United Nations Programme of Action from Rio*, Nova Iorque, United Nations Publications, 1993, 294 pp.
- UN, *We the Peoples: The Role of the United Nations in the 21st Century*. www.un.org/millennium/sg/report/, 2000.
- UN, *The Millennium Development Goals Report 2005*, New York, www.un.org/millenniumgoals/, 2005.
- World Resources Institute, *World Resources 1996-97*, Oxford, Oxford University Press, 1996, 365 pp.
- WSSD 2002, www.johannesburgsummit.org/