

Plano Científico - LBA2

Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia



Autores principais:

Mateus Batistella, Diógenes Alves, Paulo Artaxo, Mercedes Bustamante, Michael Keller, Flávio Luizão, José A. Marengo, Luiz Martinelli, Carlos A. Nobre

Comitê Científico do LBA:

Presidente: Mateus Batistella

Vice-presidente: Rita de C. G. Mesquita

Membros: Diógenes S. Alves, Meinrat O. Andreae, Paulo Artaxo, Gregory P. Asner, Roni Avissar, Bertha K. Becker, Mercedes M. da C. Bustamante, Julia Cohen, Maria A. F. da Silva Dias, Pedro L. da Silva Dias, Ricardo Figueiredo, Remigio H. Galarraga-Sanchez, Michael Keller, Bart Kruijt, Alex V. Krusche, Carlos A. Llerena, Jonathan Lloyd, Flávio J. Luizão, José A. Marengo, Luiz Martinelli, John Melack, Paulo R. de S. Moutinho, Antonio D. Nobre, Carlos A. Nobre, Evlyn M. L. M. Novo, Maria T. F. Piedade, Christopher Potter, Germán Poveda, Eustáquio J Reis, Jeffrey E. Richey, Tatiana D. de A. Sá, Roberto A. de O. Santos Jr., James Shutleworth, Susan Trumbore, Eduardo R. Palenque Vidaurre, Ima C. G. Vieira

Brasil

Agosto, 2007

1. Histórico e Relevância do LBA

O Experimento de Grande-Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) é um programa multidisciplinar que busca entender o funcionamento do ecossistema Amazônico em todas as suas vertentes e estudar o sistema amazônico como uma entidade regional no sistema Terra e as causas e efeitos das mudanças em curso na região. A pesquisa no LBA é orientada pelo reconhecimento de que a Amazônia está sob rápida e intensa transformação, relacionada a seu processo de desenvolvimento e ocupação. Assim, busca-se entender como as mudanças no uso da terra e no clima poderão afetar os processos biológicos, químicos e físicos, e também o desenvolvimento sustentável na região, além de sua interação com o clima regional e global.

O LBA é centrado em duas questões tratadas por meio de pesquisas multi-disciplinares que integram estudos em ciências físicas, químicas, biológicas e sociais:

Como a Amazônia funciona como uma entidade regional?

Como as mudanças no uso da terra e no clima afetam as funções biológicas, químicas e físicas da Amazônia, incluindo a sustentabilidade da região e a influência da Amazônia no clima regional e global?

As atividades do LBA cobriram sete componentes de pesquisa: (1) clima físico; (2) dinâmica do carbono; (3) biogeoquímica; (4) química atmosférica; (5) hidrologia de superfície e química da água; (6) mudanças de uso e cobertura da terra; e (7) as dimensões humanas das mudanças ambientais na Amazônia. Os seis primeiros temas foram desenvolvidos em seu plano científico inicial (LBA, 1996) enquanto o sétimo foi incorporado a partir de uma recomendação do Comitê Científico do LBA em 2002.

As discussões para a criação de um grande programa multi-disciplinar de pesquisas para a Amazônia iniciaram-se em 1993 (Kirchhoff, 1994; Wickland, 1994; Wofsy et al., 1994; Avissar et al., 2002). A concepção do LBA, assim como a seleção de suas regiões de estudo, reflete o histórico de pesquisas brasileiras na região. Essas etapas herdaram muito do *Anglo-Brazilian Climatic Observation Study* (ABRACOS) (Gash et al., 1996) e dos experimentos *Amazon Boundary Layer Experiments* (ABLE) patrocinados pelo INPE e pela NASA (Harriss et al., 1988; Harriss et al., 1990) nos anos 80 e no início da década de 90. O planejamento dos estudos em ecologia foi relatado por Carlos Cerri e Jerry Melillo (Cerri et al., 1995), estabelecendo um delineamento baseado em dois transectos que refletiam a maior variabilidade climática na Amazônia, em especial a precipitação total e a duração da estação seca. Um transecto ao norte passa por mais áreas de solos intemperizados e distróficos do que um segundo transecto mais ao sul. Ambos cobrem vários processos de mudanças de uso da terra, com variações climáticas acentuadas.

A seleção das áreas de estudo foi direcionada a partir da concepção dos transectos, mas contou também com outros fatores relevantes. Prince & Steininger (1999) sugeriram uma classificação biofísica da região amazônica para orientar com mais detalhe as estratégias de observação. Os estudos de longa duração desenvolvidos no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), no entorno de Manaus, fez dessa área um importante centro de estudos.



Condições específicas para estudar mudanças de uso e cobertura da terra também influenciaram a seleção de sítios de pesquisa. As práticas de manejo florestal na Floresta Nacional do Tapajós, por exemplo, motivaram a inclusão desse sítio para o estudo do impacto da exploração seletiva de madeira.

O LBA foi complementado com um grupo de módulos de pesquisa, cada um dos quais com um subconjunto de objetivos específicos. Durante uma primeira fase, uma contribuição fundamental foi implementada pelo módulo LBA-ECO, financiado pela NASA, no âmbito de um termo de Ajuste Complementar ao Tratado de Cooperação Científica Brasil-Estados Unidos. Outros módulos importantes incluíram: *Tropical Rainfall Measuring Mission – LBA* (TRMM-LBA), *Atmospheric Mesoscale Campaign* (AMC), *Cooperative LBA Airborne Regional Experiment* (CLAIRE), *European Studies on Trace Gases and Atmospheric Chemistry* (EUSTACH), *Brazilian-European Study of the Carbon Cycle of Amazônia* (CARBONCYCLE) e LBA-HYDROMET. O LBA executou as pesquisas no âmbito de cada módulo de forma paralela, integrando o conhecimento através de várias medidas: (1) planejamento conjunto dos programas e atividades; (2) compartilhamento de sítios de pesquisa, equipamentos e apoio logístico; (3) intercâmbio de dados através do Sistema de Dados e Informações do LBA (LBA-DIS); (4) desenvolvimento de modelos de simulação acoplando processos-chave da química, da física e da biologia atuando em várias escalas temporais e espaciais; (5) síntese conjunta e integração de resultados. A coordenação científica dessas atividades tem sido realizada pelo Comitê Científico do LBA.

Durante a primeira fase do LBA, os módulos principais de pesquisa deram origem a atividades de campo em 1998 e a maioria dessas atividades foi concluída até 2005. O delineamento dos trabalhos de campo incorporou os dois transectos mencionados, cobrindo gradientes de clima e de uso e cobertura da terra, baseados em regiões da Amazônia onde a conversão da floresta ou a exploração seletiva de madeira afetavam a estrutura da paisagem. Cada um dos megatransectos incluíram vários sítios primários de pesquisa intensiva e sítios secundários distribuídos mais esparsamente. Os sítios intensivos primários apresentavam grupos de 2-4 torres de medidas de fluxos. Os grupos de torres incorporaram gradientes locais de uso e cobertura da terra em situações distintas ao longo dos transectos, de modo a gerar observações e estudos de processos predominantes de mudança ambiental (por exemplo, floresta primária, pastagens ou áreas de cultivo, vegetação secundária, exploração seletiva de madeira). Os sítios secundários apresentavam instrumentação e estudos menos completos, mas acrescentavam pesquisas essenciais complementares sobre outros tipos de uso e cobertura da terra e sobre a variabilidade das condições climáticas e edáficas. Conjuntos importantes de medições contínuas ou intermitentes (por exemplo, fluxos e concentrações de CO₂ e gases traço, condições micrometeorológicas, radiação, aerossóis, propriedades da vegetação e dos solos) foram gerados nos sítios primários de estudo. Observações adicionais e processos de estudo, incluindo experimentos de manipulação e estudos de cronosequências foram conduzidos ao longo dos dois transectos. O delineamento baseado em dois transectos dependeu dos aportes de todos os módulos do LBA. A cooperação, articulação e compartilhamento da infraestrutura permitiu ao Brasil a implementação dessa experiência científica singular em termos mundiais.

No total, são mais de 150 propostas diferentes de pesquisa, já executadas ou em execução, colocadas à disposição das comunidades amazônicas, dos governos locais, estaduais e federais, e da comunidade científica internacional. Essas pesquisas são financiadas pelas mais



destacadas agências de fomento brasileiras (MCT, CNPq, FAPESP, FINEP etc.); pela NASA e a *National Science Foundation*, dos EUA; pela Comissão Européia; pelo IAI – Instituto Interamericano de Pesquisas sobre Mudanças Globais; além de organismos de países da Bacia Amazônica (Venezuela, Peru, Bolívia, Colômbia e Equador) e outras instituições americanas e européias. Cerca de 280 instituições participaram deste esforço, mais de 100 delas brasileiras, e 40 amazônicas, mobilizando algo em torno de 1700 pesquisadores, dos quais mais de 1000 brasileiros, além de 900 estudantes e jovens pesquisadores.

A coordenação geral do LBA, desde seu início oficial em 1998, é feita pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). A coordenação técnico-científica esteve inicialmente a cargo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), passando posteriormente para o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), onde seu escritório central está instalado.

2. Resultados da Primeira Fase do LBA

Durante os últimos 25-30 anos, o mundo todo passou por uma intensiva alteração antropogênica do ciclo hidrológico de rios e lagos, na qualidade da água, nos recursos hídricos e no balanço de água. Os valores dos recursos hídricos, sua dinâmica no tempo e distribuição pelo território são agora determinados não apenas por variáveis climáticas naturais, como eram anteriormente, mas também pelas atividades humanas. Em diversas regiões e países, os recursos hídricos estão quantitativamente esgotados e muito contaminados. A região amazônica pode ser categorizada como uma região de grande risco ambiental e social para a mudança e variabilidade climática. O risco não se deve apenas à mudança climática projetada, mas também pelas interações sinérgicas com o processo desordenado de ocupação da região, tais como o desmatamento e as mudanças de uso da terra. Modelos indicam a possibilidade de que nas próximas décadas ocorra uma substituição abrupta e irreversível das áreas de floresta por formações vegetais mais abertas e com menor biomassa, com perda em grande escala da biodiversidade e diminuição da capacidade de suporte de populações da região.

Com base no que é conhecido sobre a variabilidade climática na Amazônia e sobre o papel do transporte de umidade dentro e fora da bacia, como sugerem estudos observacionais e de modelagem, uma questão surge: quais seriam os possíveis impactos do desmatamento em escala regional ou do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera no clima da Amazônia e nas regiões vizinhas (Freitas et al., 2005; Marengo, 2005)? A recente seca de 2005 que afetou uma grande extensão da Bacia Amazônica ocidental demonstrou a vulnerabilidade da população a eventos climáticos extremos. Esta foi a seca mais severa dos últimos 40 anos e também uma das mais intensas dos últimos 100 anos. O fenômeno perturbou o funcionamento básico da Amazônia, provocando impactos ambientais, sociais e econômicos (Marengo et al., 2007a).

No contexto de mudança climática, cenários gerados pelo CPTEC/INPE até o final do século XXI indicam reduções de chuva de até 40% e aquecimento de até 8° C (Marengo et al., 2007b). O maior impacto sobre a redistribuição de espécies e biomas seria sentido no nordeste da Amazônia e o menor impacto no oeste (Salazar et al., 2007). A distribuição das espécies aquáticas também pode ser alterada, já que existe a possibilidade de que algumas espécies



invadam habitats em altitudes mais elevadas ou desapareçam dos limites altitudinais mais baixos de sua distribuição.

Da mesma forma que avanços significativos foram realizados no conhecimento da física do clima, da química atmosférica e de mecanismos da hidrologia de superfície na Amazônia, o LBA também promoveu estudos sobre os ciclos biogeoquímicos, mas ainda não resolveu definitivamente se a região é uma fonte ou um sumidouro de carbono. Pesquisas sobre essa questão estão em andamento e deveriam, sem a menor dúvida, ocupar vários cientistas durante a segunda fase do LBA. Entretanto, o LBA já produziu muitos resultados sobre os mecanismos que regulam o ciclo do carbono em ecossistemas naturais e em áreas afetadas pelas mudanças de uso da terra. Pesquisas baseadas nas parcelas do projeto RAINFOR em toda a Amazônia mostraram uma forte tendência de crescimento da floresta e de acúmulo de biomassa aérea (Malhi et al., 2004). Essa tendência é especialmente acentuada nas florestas do oeste amazônico, mas sua causa permanece desconhecida (Baker et al., 2004). Medidas de fluxos de CO₂ também mostram uma tendência predominante de seqüestro de carbono pelas florestas, com alguns interessantes exemplos de sítios que parecem ter sofrido perturbações ecológicas, como evidenciado pelas grandes quantidades de madeira morta (Saleska et al., 2003). Esses estudos de fluxos também mudaram nossa concepção sobre a sazonalidade das florestas amazônicas. Vários sítios mostraram maior seqüestro líquido de carbono durante a estação seca, em comparação com a estação chuvosa, possivelmente devido à disponibilidade de água em solos profundos (Silva & Avissar, 2006).

A ciclagem de nutrientes é crítica na recuperação de áreas degradadas na Amazônia. Davidson et al. (2007) ilustraram os complexos mecanismos no balanço entre fósforo e nitrogênio em crono-sequências de regeneração da vegetação e observaram que são necessários pelo menos 70 anos para uma área em pousio restabelecer o ciclo do nitrogênio.

O efeito de aerossóis no funcionamento dos ecossistemas amazônicos também foi amplamente estudado no LBA com várias abordagens e integrações (Davidson & Artaxo, 2005; Artaxo et al., 2006). O impacto das emissões de gases e aerossóis em queimadas na Amazônia também foi quantificado (Artaxo et al., 2002). Observou-se uma forte influência das partículas de aerossóis nos mecanismos de formação e desenvolvimento de nuvens (Andreae et al., 2004), com importantes implicações no ciclo hidrológico. Observou-se a supressão de formação de nuvens em áreas com altas concentrações de aerossóis e também que o tamanho de gotas das nuvens é reduzido em altas cargas de aerossóis, favorecendo a convecção e uma maior altura do topo da nuvem. O tempo de residência das nuvens é aumentado na presença de aerossóis, potencialmente reduzindo a precipitação e alterando o balanço de radiação. Novos mecanismos de formação natural de nuvens foram descobertos, com a produção de núcleos de condensação a partir de compostos orgânicos voláteis emitidos pela própria vegetação (Clayes et al., 2004). O forte efeito dos aerossóis no balanço radiativo da atmosfera foi estudado ao longo de 7 anos em vários locais da Amazônia e observou-se que as partículas de aerossóis absorvem em média 38 watts/m² de radiação, afetando a produtividade primária, convecção e outros mecanismos do sistema climático, sensíveis ao balanço de radiação (Procópio et al., 2004). Esta significativa alteração no balanço de radiação afeta a radiação solar na superfície e altera os fluxos de carbono, como demonstrado por Oliveira et al. (2007). Foi observado um aumento na taxa fotossintética de até 40% pela presença de pequenas quantidades de aerossóis



que aumentam a radiação difusa. Mas, com uma maior carga de aerossóis de queimadas, a assimilação de carbono cai para zero.

Alterações no uso da terra têm importantes efeitos na meteorologia da Amazônia. Foi observada, em Rondônia, uma oscilação intra-sazonal de vento entre leste-oeste, associada com diferentes características de chuvas e de composição dos aerossóis e núcleos de condensação de nuvens (Silva Dias et al., 2002). O extenso sistema hidrológico na Amazônia afeta a circulação atmosférica e o padrão de circulação na interface entre os grandes rios e a floresta adjacente (Silva Dias et al., 2004). Os grandes corpos de água induzem circulações regionais que alteram o padrão da distribuição de nuvens e o perfil diário dos ventos na interface rio-floresta, alterando inclusive o fluxo de carbono em regiões próximas dos grandes rios na Amazônia. O desmatamento e alterações no uso da terra também influenciam a cobertura de nuvens em escalas sazonais e na distribuição diurna (Durieux et al., 2003). Na estação seca foi observada uma maior presença de nuvens baixas em áreas desmatadas no início da tarde e menos convecção durante a noite. Durante a estação chuvosa, nebulosidade convectiva no início da noite foi intensificada. A maior diferença no padrão de distribuição de nuvens foi observada na estação seca. Estas alterações no padrão de distribuição de nebulosidade afetam chuvas e o balanço de radiação em áreas desmatadas, em comparação com áreas preservadas (Durieux et al., 2003, Machado et al., 2004).

Outros estudos demonstraram que as mudanças no uso e cobertura da terra, como a conversão de florestas em pastagens, alteram substancialmente as características físicas e químicas de rios de primeira e segunda ordem, influenciando sua estrutura e funcionamento. A retirada da floresta permite uma maior entrada de luz, aumentando assim a temperatura da água, que influencia uma série de reações químicas, como por exemplo, a solubilidade do oxigênio (Neill et al., 2006). A substituição da vegetação arbórea original por pastagens também acarreta uma maior entrada de partículas de solo e vegetação através de processos erosivos que se intensificam nas pastagens (Thomas et al., 2004; Krusche et al., 2005). O maior aporte de matéria orgânica lábil leva a um aumento no processo de decomposição, dependente de oxigênio que se encontra dissolvido na água (Bernardes et al., 2004). Conseqüentemente, há um decréscimo na concentração deste elemento com impactos na biota. O ciclo do nitrogênio também é afetado, uma vez que a quantidade de nitrogênio disponível decresce nas pastagens, acarretando uma diminuição de seu aporte aos pequenos rios, que passam a ser limitados por este nutriente e não mais por fósforo, como eram originalmente (Carmo et al., 2005). Porém, existem dúvidas se estas transformações se propagam para rios de maior ordem, principalmente aqueles que drenam bacias hidrográficas de meso-escala (Neill et al., 2001).

Foi também demonstrado que as áreas ripárias podem ter uma importância regional desproporcional a sua extensão. Existem indicações preliminares de que parte do CO₂ fixado via fotossíntese nas florestas de terra firme seja decomposto nessas áreas ripárias, sendo transformado novamente em CO₂ ou metano. Os mecanismos de transporte dessa matéria orgânica para as áreas ripárias ainda é incerto, como também é ainda incerta a magnitude dessas transformações.

Na primeira fase do LBA, quatro questões centrais definiam a componente de mudanças de uso e cobertura da terra: (i) quais são as taxas e mecanismos de conversão de florestas em campos de cultivo, e qual é a importância relativa destes usos de terra; (ii) a que taxas áreas



abandonadas são convertidas em florestas secundárias, qual o destino dessas áreas e quais são os padrões dinâmicos de conversão e abandono de terras; (iii) qual a área de floresta afetada anualmente pela exploração madeireira; (iv) quais são os possíveis cenários de futuras mudanças de cobertura de terra na Amazônia.

Avanços importantes foram alcançados para cada uma dessas questões, conforme listados a seguir. Adicionalmente, novas técnicas de detecção de mudanças e de monitoramento, executadas no âmbito do LBA ou diretamente derivadas de seus esforços, permitiram realizar estudos em novas escalas temporais e espaciais, em particular no que diz respeito às áreas de florestas.

Durante todo o período de implementação do LBA, foram realizados levantamentos anuais de desflorestamento pelo INPE, o que, de um lado, propiciou informações importantes para o LBA sobre taxas e padrões de desflorestamento (Alves, 2002). Também permitiu que o LBA apontasse novas questões sobre padrões regionais e locais de uso da terra, em particular a dinâmica de ocupação em zonas pioneiras (Batistella & Moran, 2005), a dinâmica de conversão da floresta para a agricultura intensiva (Morton et al., 2006) e a relação entre a exploração madeireira, a degradação da floresta e as taxas de conversão (Asner et al., 2005; Souza et al., 2005). Outros estudos indicaram uma variedade de processos não apenas de avanço da fronteira agrícola, mas também de intensificação do uso da terra e variações nos sistemas de produção baseados em tecnologias tradicionais e modernas (Morton et al., 2006).

Também foram realizadas estimativas sobre as áreas convertidas e posteriormente abandonadas, dando origem a pastagens degradadas, sucessão secundária, florestas degradadas por exploração madeireira e ocorrência de queimadas (Souza Jr. et al., 2005). Essas pesquisas foram realizadas principalmente em escalas locais, através de estudos de caso em vários sítios e fazendo uso de robustas técnicas de sensoriamento remoto e levantamentos de campo (Roberts et al., 2003; Lu et al., 2004). O destino dessas terras abandonadas tornou-se extremamente relevante frente ao recém criado programa de agroenergia do governo brasileiro assim como ao potencial dos serviços ambientais gerados pelas terras abandonadas, ainda que existam evidências da redução das áreas abandonadas em regiões muito desmatadas (Alves et al., 2003).

Obeve-se um avanço significativo no entendimento da intensidade e extensão da exploração madeireira na Amazônia e nos possíveis danos ambientais causados por essa atividade (Chambers et al., 2001). Estudos inovadores indicaram que a exploração madeireira era mais significativa em termos de área e com impactos sobre áreas remanescentes. Nepstad et al. (1999) encontraram que a área sob exploração é semelhante à área desmatada anualmente, o que é crítico, uma vez que florestas exploradas apresentam menor diversidade em função de mudanças em sua estrutura. Aproximadamente 16% da área explorada converte-se em área desmatada no ano seguinte e cerca de 32% é desmatada em quatro anos. Isto significa que a exploração madeireira não precede imediatamente o desmatamento, mas é sim uma forma de distúrbio em si e aumenta a área sob impacto de atividades humanas (Asner et al., 2005).

Assim, as mudanças no uso da terra podem afetar os serviços ambientais – especialmente os relacionados ao funcionamento de ecossistemas a longo prazo (DeFries et al., 2004). Essas mudanças de longo prazo foram avaliadas por Foley et al. (2007) através da análise de vários



resultados do LBA. Os autores indicaram quatro exemplos de serviços ambientais negativamente afetados pelo desmatamento e degradação: armazenamento de carbono, fluxo hidrológico, influência sobre o clima regional e vetores de doenças.

No âmbito dos cenários plausíveis para as mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia, ferramentas analíticas e teóricas foram desenvolvidas, com o objetivo de alimentar modelos climáticos regionais e considerando alternativas de governança às atuais dinâmicas de uso da terra (Soares Filho et al., 2006).

Mesmo tomando como ponto de partida as duas questões fundamentais do LBA - compreender o funcionamento regional da Amazônia e como mudanças de uso e cobertura da terra e do clima podem afetar esse funcionamento - o LBA não pretendeu ignorar uma terceira questão, a da posição do homem diante das mudanças ambientais regionais e globais (Alves et al., 2004).

Esforços significativos de ação foram desenvolvidos sobre as pesquisas em dimensões humanas das mudanças ambientais na Amazônia no âmbito do LBA. Inicialmente, parcerias *ad-hoc* foram incentivadas a discutir questões científicas identificadas pela comunidade do programa, em particular para um melhor entendimento dos processos de mudança de uso e cobertura da terra. Essa ação catalisou a construção de pontes mais sólidas com cientistas sociais, a partir de sua inserção no Comitê Científico e, posteriormente, através da promoção de iniciativas sistemáticas ou programáticas. Entre essas iniciativas, um levantamento da produção científica em ciências humanas, seminários e cursos dedicados ao tema e várias publicações podem ser considerados como os resultados mais significativos deste componente do LBA (Becker et al., 2007).

As atividades de treinamento e educação são reconhecidas como um dos principais resultados e legados do programa, devido ao sucesso alcançado. Foram mais de 900 estudantes formados, incluindo 380 graduandos, 297 mestrados e 241 doutorandos, em sua maioria brasileiros, ligados a instituições amazônicas. Para aprimorar o treinamento de jovens cientistas, atraídos pelo LBA, o CNPq criou um programa especial de bolsas. Três cursos de graduação, quatro de mestrado e um de doutorado foram originados no âmbito do LBA, todos em estados da Amazônia. Além das motivações científicas, esses recursos humanos, agora disponíveis na região, representam um fator positivo crucial para a implementação da segunda fase do programa.

Desde seu início, o LBA tem produzido inúmeras publicações, incluindo mais de 1.000 artigos em periódicos indexados, 150 capítulos de livro, 12 livros e 9 números especiais de revistas científicas (*Journal of Geographical Research, Remote Sensing of Environment, Ecological Applications, Global Change Biology, Theoretical and Applied Climatology, Acta Amazonica, Earth Interactions, Hydrological Processes* e Revista Brasileira de Meteorologia, *Atmospheric Chemistry and Physics*).

3. Lacunas Identificadas na Ciência Amazônica



Do ponto de vista científico, mesmo com os notáveis avanços nos últimos anos, ainda existem importantes lacunas de conhecimento em relação aos avanços da primeira fase do LBA. Entre estas, destacam-se:

Estocagem e fluxos de carbono na biomassa florestal e ecossistemas amazônicos

Estudos do LBA sugeriram que a floresta amazônica pode não estar em equilíbrio, respondendo ao aumento da concentração de CO₂ atmosférico. Foram observadas taxas muito diferentes de assimilação de carbono em distintas regiões amazônicas. Inclusive, algumas regiões podem estar perdendo carbono para a atmosfera (Saleska et al., 2003; Ometto et al., 2005). Porém, áreas imensas de florestas inundáveis, bem como outras regiões representativas da Amazônia brasileira (por exemplo, Roraima, sul do Amazonas, altos rios Negro e Solimões) e sul-americana não tiveram estudos sistemáticos em relação à contribuição ao balanço de carbono da região. Da mesma forma, estudos que aprofundem a relação dos fluxos de carbono com a topografia local e regional precisam ainda ser efetuados. Medidas e modelos do balanço de carbono em larga escala precisam ser aprimorados.

Os fluxos de energia, gases traço, aerossóis e vapor de água da Amazônia.

Ainda não temos um conhecimento detalhado dos fluxos de energia, gases traço, aerossóis e vapor de água na Amazônia e como estes fluxos serão alterados pelas mudanças de uso das terras. As mudanças ambientais globais agem como uma nova força sobre estes fluxos. Medidas da primeira fase do LBA mostram profundas mudanças nos processos de formação de nuvens e precipitação como resultado das emissões de queimadas (Andreae et al., 2004; Clayes et al., 2004). Possíveis alterações na circulação atmosférica tem o potencial de alterar o transporte de umidade para a Bacia do Prata. Estudos dos processos que influenciam estes fluxos devem ser feitos com a implantação de uma rede de observação ambiental na Amazônia. Esta rede deve monitorar em larga escala a concentração de gases traços, aerossóis e vapor de água..

Relação entre desmatamento e as quantidades e padrões de precipitação

Estudos de tendências de longo prazo sobre precipitação na Amazônia parecem não apresentar uma redução, como consequência de um aumento do desmatamento (Marengo, 2004). Porém, modelos regionais sugerem que o desmatamento pode reduzir as chuvas em determinados locais (Silva-Dias et al., 2002) ou em escala mais ampla, a partir de um patamar de desmatamento (Baidya Roy & Avissar, 2002). Novos experimentos precisam ser realizados, em diferentes áreas da Amazônia, para melhorar os modelos atuais que simulam a relação entre desmatamento e padrão de precipitação. Também é necessária uma melhoria na rede observacional na região, coordenada com um esforço de resgate de medidas meteorológicas, em conjunto com o INMET, que permitam estudos de tendências climáticas regionais na Amazônia.

Ciclos biogeoquímicos e as taxas de deposição seca e úmida de nutrientes na Amazônia

Apesar dos extensos estudos nos últimos anos, ainda não conhecemos todos os aspectos da complexa ciclagem de nutrientes em ecossistemas amazônicos, especialmente aqueles associados às mudanças de uso e cobertura das terras (Davidson et al., 2007). Em particular, poucos estudos quantificaram a deposição úmida e seca de nutrientes. Ainda são necessárias medições mais precisas e extensas sobre estas taxas de deposição. É fundamental o desenvolvimento de estudos integrados sobre a interação dos nutrientes limitantes para a



floresta (fósforo, nitrogênio e outros) e a vegetação secundária. A deposição seca e úmida de nutrientes ciclados internamente nos ecossistemas amazônicos ainda precisa ser quantificada.

Integração das escalas locais, regionais e de meso-escala.

Muitos estudos realizados na primeira fase do LBA utilizaram abordagens locais ou englobando a totalidade da bacia Amazônica. Os modelos globais não capturam toda a complexidade dos processos relevantes em escalas regionais e de meso-escala a partir destas abordagens. Observa-se a necessidade de integração das pesquisas em diferentes escalas espaciais e temporais (Avisar et al., 2002). Em particular, na segunda fase do LBA, estudos em meso-escala devem ser valorizados. É também essencial a manutenção de estudos de longa duração, pois questões relevantes sobre as mudanças ambientais na Amazônia somente poderão ser respondidas com monitoramento de longo prazo.

As mudanças ambientais na Amazônia e seu papel no clima global

Projeções atuais para mudanças climáticas ao longo do século XXI, desenvolvidas em conexão com o LBA, indicam que haveria um colapso da floresta amazônica dentro de algumas décadas (Cox et al., 2004). Os modelos indicam que a floresta poderia ser substituída por tipos de vegetação de menor biomassa, adaptados a um clima com períodos mais secos e longos (Oyama & Nobre, 2003). Baseado em estudos paleo-ecológicos e projeções atuais, o que pode realisticamente ser esperado para as próximas décadas? Além disso, qual seria o impacto de mudanças do clima amazônico em outras regiões da América do Sul?

Identificação e valoração dos serviços ambientais dos ecossistemas amazônicos

Além das conhecidas funções da floresta na estocagem do carbono e no controle do ciclo hidrológico, houve avanços no conhecimento que aumentaram o valor da floresta em pé. Por exemplo, o papel dos compostos orgânicos voláteis da floresta na formação e nucleação de nuvens (Clayes et al., 2004; Artaxo et al., 2005) e o transporte de longa distância do vapor d'água que afeta o regime de chuvas de outras regiões (Marengo et al., 2004). É necessário aprofundar o conhecimento sobre a relação da floresta com a dinâmica das nuvens e chuvas, bem como a relação das mudanças climáticas e ambientais com a manutenção da biodiversidade funcional da floresta.

Definição e avaliação de indicadores de sustentabilidade

O desenvolvimento sustentável da região amazônica requer conhecimentos científicos e sistemas de produção que conciliem a exploração dos recursos naturais com a conservação ecológica e a manutenção dos processos inerentes aos ecossistemas amazônicos. Alternativas de uso sustentável da terra na Amazônia (além de poucos sistemas agroflorestais, de corte seletivo de madeira, de agricultura sem queima, avaliados na fase inicial do LBA) precisam ser incluídas em novos estudos. Os indicadores de sustentabilidade, que devem também incluir aspectos econômicos e sociais, são fundamentais para a elaboração de políticas públicas e para o acompanhamento de seus efeitos.

Aspectos sociais e econômicos ligados às mudanças de uso e cobertura da terra

O componente de pesquisa do LBA sobre as interações sociais do uso e cobertura da terra apresentou resultados importantes sobre o processo de ocupação desordenado da Amazônia. Apesar desses resultados, dinâmicas recentes como o crescimento da pecuária de corte, o avanço da cultura da soja, os programas de agroenergia e as concessões de exploração



madeira em distritos florestais podem influenciar novas tendências na utilização dos recursos naturais pelos agentes humanos, gerando impactos ambientais e conseqüências sociais. A investigação e acompanhamento desses processos no âmbito de um programa integrado e interdisciplinar pode ser uma importante contribuição da segunda fase do LBA.

Ao longo dos anos de pesquisas do LBA, novos desafios foram criados e motivam a próxima fase com questões científicas relevantes adicionais. Estes tópicos requerem atenção pelos possíveis impactos no funcionamento do ecossistema Amazônico.

Estão em curso importantes mudanças nos sistemas de produção na Amazônia. É importante estudarmos até que ponto a dinâmica da conversão dos sistemas atuais de produção na Amazônia para sistemas produtivos mais intensivos – incluindo atividades agrossilvopastoris e exploração florestal – afeta o funcionamento físico, biológico e hidrológico da região.

Um possível novo cenário de implantação de grandes projetos de agroenergia na Amazônia, tais como biodiesel e cana de açúcar em larga escala estão sendo desenvolvidas recentemente. É importante sabermos como a implantação de projetos de agroenergia na Amazônia afetará o funcionamento físico, biológico e hidrológico da região e dos ecossistemas vizinhos. É fundamental minimizar o impacto ambiental da implantação destes sistemas produtivos.

As emissões de queimadas estão tendo importantes impactos sobre a saúde da população amazônica em grandes áreas, pelas altas concentrações de material particulado e de ozônio. O impacto de emissões de queimadas na ocorrência de doenças respiratórias precisa ser investigado. É necessário também ampliar e intensificar os estudos do LBA que relacionem as mudanças ambientais e climáticas com a saúde humana, com ênfase para doenças respiratórias e as doenças tropicais transmissíveis por vetores animais (malária, leishmaniose, oncocercose e outras).

4. Proposta de Estudos Científicos Inter-disciplinares

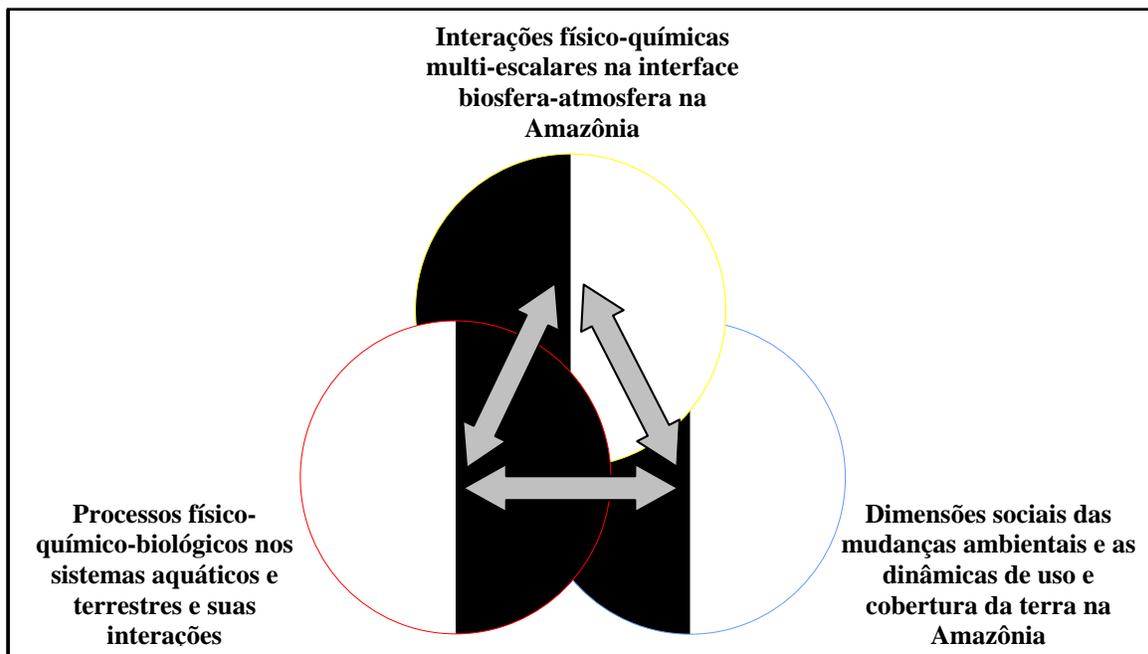
O Comitê Científico do LBA reconheceu diversas vezes em suas deliberações que a primeira fase tendeu a favorecer algumas áreas de pesquisa devido a considerações históricas e de apoio logístico. Dessa forma, grandes áreas e alguns ambientes importantes foram sub-representados. Para a segunda fase, é importante revisar a distribuição geográfica dos esforços do LBA, buscando equilibrar o delineamento de pesquisa, a partir de aspectos ecológicos e biogeográficos. Além disso, é imprescindível evoluir na integração de estudos locais, regionais e globais. Dessa forma, pretende-se ampliar a área de estudos, com a implementação de trabalhos em áreas mais amplas.

Atualmente também há um consenso de que a nova fase do LBA deve trabalhar com domínios disciplinares mais integrados, ampliando o entendimento sobre o funcionamento dos ecossistemas amazônicos e integrando as dimensões sociais de suas transformações. É essencial também uma intensa interação científica com os demais programas do MCT para a Amazônia (particularmente GEOMA, PPG7 e PPBIO), assim como com os Institutos de Pesquisas do MCT (por exemplo, INPA, MPEG e INPE). É também essencial ampliar a cooperação científica com outras instituições governamentais, tais como o SIPAM/SIVAM, a



EMBRAPA, universidades amazônicas e instituições de ensino e pesquisa de todo o país que têm importante papel no desenvolvimento científico e na formação de recursos humanos da região.

Nessa nova fase do LBA, é importante a continuidade das pesquisas ambientais básicas, mas também é imprescindível construir pontes para aplicações ao desenvolvimento sustentável (Batistella & Luizão, 2006). O foco deve continuar sendo a região como um todo, mas com estudos de casos em áreas prioritárias. Para esses estudos integrados, é proposta uma nova conformação para os domínios disciplinares do LBA. O esquema abaixo indica a forte interação entre os três domínios propostos, evidenciando suas áreas de interface.



Um desses domínios está sendo estruturado como “interações físico-químicas multi-escalares na interface biosfera-atmosfera na Amazônia”. Seu objetivo é estudar o transporte e a transformação de água, energia, gases traço e aerossóis no sistema amazônico e identificar os efeitos e os impactos das atividades humanas nessa região. É necessária uma forte conectividade entre geração do conhecimento e suas aplicações para o desenvolvimento sustentável, incluindo inovações tecnológicas em atividades agropecuárias, arranjos e cadeias produtivas, previsões ambientais e impactos sobre a população humana. Um segundo domínio disciplinar trata das “dimensões sociais das mudanças ambientais e as dinâmicas de uso e cobertura da terra na Amazônia”, com estudos sobre as complexas interações entre ambiente e sociedade, que caracterizam a região. O terceiro domínio trata dos “processos físico-químico-biológicos nos sistemas aquáticos e terrestres e suas interações”. Assim, a questão das estratégias de desenvolvimento ambiental associadas a práticas sustentáveis de produção torna-se um dos tópicos importantes.

No âmbito desses domínios disciplinares e após uma ampla discussão com tomadores de decisão e a comunidade científica em seminários realizados em Brasília e Manaus, além das

reuniões regulares do Comitê Científico do LBA, três focos de pesquisa aglutinaram as principais questões a serem abordadas durante a segunda fase do LBA:

1. O ambiente amazônico em mudança;
2. A sustentabilidade dos serviços ambientais e os sistemas de produção terrestres e aquáticos;
3. A variabilidade climática e hidrológica e sua dinâmica: respostas, adaptação e mitigação.

5. Foco I: O ambiente amazônico em mudança

O ambiente amazônico pode ser visto como um sistema sob influência de diversos processos de mudanças em que as características biofísicas e as condições como nele habitam as populações humanas dependem diretamente umas das outras. Processos como a fragmentação da paisagem devida à conversão agrícola, os efeitos das mudanças climáticas sobre a estrutura e a composição dos ecossistemas amazônicos, em combinação com diferentes práticas de uso da terra, como a exploração de madeira, a implantação de áreas extensas de pastagens, o uso do fogo, da mecanização ou do plantio direto, e a implantação de sistemas agroflorestais interagem diretamente com ciclos de retro-alimentação positiva ou negativa. O funcionamento de um processo depende dos outros, e a investigação de um deve acompanhar a investigação dos outros. Por exemplo, mudanças climáticas podem propiciar mudanças da estrutura e da composição da vegetação que acarretem maior ou menor propensão à propagação do fogo.

Essas características indicam que a nova fase do LBA deverá alcançar um novo patamar de articulação entre várias disciplinas. As questões da nova fase deverão exigir tanto um melhor entendimento de processos como os indicados acima, como novas investigações das articulações entre o meio físico e biótico, as práticas de uso da terra, e as condições em que poderão viver futuramente as populações.

O primeiro foco de pesquisas da segunda fase do LBA será dedicado ao estudo desses processos de forma integrada, com o objetivo de investigar suas características e suas interações.

As discussões realizadas sobre a agenda futura do LBA permitiram identificar uma série inicial de questões para esse foco de pesquisas:

- Quais são os fluxos de energia, água, carbono, nutrientes, gases traço e aerossóis entre a biosfera e a atmosfera, nos diversos ecossistemas amazônicos e quais são os efeitos das atividades humanas sobre estes fluxos?
- Quais são as fontes e quais os efeitos dos particulados e aerossóis na região Amazônica? Quais são os efeitos dos aerossóis sobre a microfísica das nuvens e a dinâmica da convecção, a precipitação e os fluxos de energia na Amazônia? Como estes efeitos se propagam em todas as escalas do clima? Quais são os processos que regulam os ciclos fotoquímicos na atmosfera e como as atividades humanas afetam esses processos?



- Quais são os impactos ambientais e sociais das práticas atuais de uso da terra na Amazônia e de práticas alternativas?
- Como se relacionam as práticas de uso da terra e os ecossistemas em diferentes estágios de modificação (e.g., degradação decorrente da exploração seletiva de madeira, modificações de estrutura e composição devidas a mudanças climáticas ou biogeoquímicas)?
- Qual o impacto de emissões produzidas pela queima de biomassa sobre a poluição do ar e, conseqüentemente, sobre a saúde das populações humanas da Amazônia? Quais são as trocas de gases traço e aerossóis entre a Amazônia e as regiões vizinhas e como essas trocas se relacionam com a poluição trans-fronteiriça?
- Quais os impactos das atuais configurações das práticas agrícolas e dos sistemas agrário-fundiários sobre as mudanças de uso da terra e sobre o funcionamento dos sistemas amazônicos? Como mudanças no clima podem afetar a aptidão das terras e as práticas de uso da terra? Como as mudanças no clima podem afetar as condições de vida das populações na Amazônia? Como se coloca a questão de adaptação para as populações face a possíveis mudanças climáticas? Quais são os impactos das florestas manejadas e das florestas degradadas sobre esse funcionamento?
- Como os padrões hidrológicos regionais estão associados com o transporte de carbono e quais as relações entre o movimento da água, a geomorfologia, os solos e a estrutura e composição da vegetação na bacia amazônica? Quais as implicações das mudanças de uso da terra e do clima para esses processos?
- Como os ambientes inundados e ripários modulam a distribuição do oxigênio e dos nutrientes que afetam a química da água, a emissão de gases traço e a ciclagem do carbono?
- Como mudanças da estrutura e composição da vegetação podem afetar esses fluxos?
- Quais são as possíveis conseqüências da variabilidade de longo prazo e das mudanças climáticas no funcionamento do ciclo hidrológico regional e nos extremos climáticos?

6. Foco II: A sustentabilidade dos serviços ambientais e os sistemas de produção terrestres e aquáticos

Mudanças no uso da terra têm sido geralmente consideradas como um tópico ambiental de dimensão local, mas estão tornando-se um fator de importância regional e global. Áreas de cultivos, pastagens e urbanas têm sido expandidas com crescente consumo de água, energia e fertilizantes e considerável perda de diversidade biológica e social. Tais mudanças no uso da terra permitiram que populações humanas apropriem-se de recursos naturais; porém, com o passar do tempo, reduzem potencialmente a capacidade dos ecossistemas de sustentar a



produção de alimentos, manterem recursos hídricos e florestais, regular o clima e a qualidade do ar e controlar doenças infecciosas. O desafio que se impõe é o manejo da relação custo-benefício entre necessidades humanas imediatas e a manutenção da capacidade da biosfera de prover bens e serviços em longo prazo.

As atividades do LBA permitiram, através de novas metodologias de monitoramento, novas conclusões de como a atividade humana, em especial a exploração madeireira, vem alterando os ecossistemas amazônicos e, por conseguinte afetando os serviços ambientais relacionados. Aspectos ecológicos, sociais e econômicos dos serviços ambientais devem ser abordados de forma integrada para permitir a proposição de mecanismos de financiamento para proteção e recuperação de ecossistemas, determinar fatores para valoração e pagamento desses serviços, e analisar a relação custo-benefício de usos alternativos da terra e seus impactos.

Por abrigar ecossistemas e nichos ecológicos únicos, e pelo fato de exercer papel fundamental em processos climáticos e hidrológicos que transcendem seus limites geográficos, a Amazônia apresenta à ciência, de maneira geral, um desafio em desenvolver e validar sistemas de produção sustentáveis que considerem tais questões. No entanto, ainda são utilizados na região sistemas de produção agropecuários que ocasionam um grave e progressivo processo de conversão de ecossistemas naturais em áreas ocupadas, geralmente através do desmatamento. Isto se deve principalmente à transferência de modelos de sistemas produtivos exóticos, desenvolvidos para ambientes sem qualquer relação com as condições edafo-climáticas tropicais e desconectados com os interesses e saberes dos atores locais.

No contexto amazônico, e em especial nas condições de agricultura em larga escala em grande expansão na fronteira agrícola, estudos de avaliação de impactos ambientais são ainda escassos. A mitigação desses impactos também deve fazer parte das alternativas de desenvolvimento para a região. Entre os possíveis sistemas sustentáveis de produção, surgem opções como: sistemas agroflorestais, sistemas agrosilvipastoris, sistema integrado agricultura-pecuária (por exemplo, com sistema rotativo e plantio direto na palha), sistemas agroecológicos, o manejo de capoeiras na fase de pousio, e a adoção da prática do corte-e-trituração de capoeiras, como alternativa ao uso do fogo na agricultura.

Nesse contexto, a interlocução do LBA com outras iniciativas que visam a sustentabilidade da região amazônica, como por exemplo, o Plano Amazônia Sustentável (PAS), a Lei de Gestão de Florestas Públicas, a criação do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e do Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal (FNDF), o Plano Executivo de Desenvolvimento Sustentável do Agronegócio na Amazônia Legal, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal, e o Plano BR-163 Sustentável, apresentam-se como de suma importância. Considerando a peculiaridade da região amazônica, foram definidas pela Embrapa três linhas de atuação em pesquisa agropecuária e florestal na Amazônia Legal, a saber: (1) Ordenamento, Monitoramento e Gestão em Territórios; (2) Manejo, Valorização e Valoração da Floresta; (3) Produção Agropecuária e Florestal Sustentável.

Por sua vez, as áreas alagadas (várzeas e igapós) são ambientes importantes por sua diversidade e produtividade aquática. Estima-se que na bacia amazônica existam 882.000 km² de áreas inundáveis. Bayley & Petrere (1989) avaliam que áreas alagadas da Amazônia Central podem suportar uma produção de pescado de 40-60 kg/ha e uma densidade de 2,5



pescadores/ha. Segundo esses dados, a Área Focal da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá (200.000 ha) poderia alcançar uma produção de pescado entre 8.000 e 12.000 t/ano e permitiria a atividade de 500.000 pescadores.

A produção pesqueira é ainda majoritariamente baseada no extrativismo. Apesar de vários entraves ao desenvolvimento da piscicultura, existem fatores favoráveis como as condições de qualidade e quantidade de água e climáticas. No entanto, é importante destacar que os sistemas florestais amazônicos são conectados por rios e planícies de inundação através de processos hidrológicos e biogeoquímicos. Essas conexões são dinâmicas e afetadas por variações no clima e mudanças no uso da terra. Desmatamento afeta potencialmente os componentes individuais do balanço de águas superficiais através de alterações na interceptação pelo dossel, evaporação, transpiração, escoamento superficial, umidade do solo e recarga de águas subterrâneas. Além disso, mudanças na hidrologia têm influências marcantes em ecossistemas aquáticos, hidroquímica fluvial, ciclo aquático do carbono e fluxos de CO₂ entre rios e atmosfera.

Diante desse quadro, surge um grande desafio para o LBA: realizar pesquisas baseadas em ações permanentes que visem determinar os impactos dos atuais sistemas de produção na função dos ecossistemas amazônicos, e definir como futuras mudanças nesses sistemas podem afetar processos hidrológicos e biogeoquímicos na Amazônia. Em suas pesquisas, o LBA deverá considerar cenários futuros, avaliando e quantificando os impactos e processos citados anteriormente, além dos impactos sobre processos climáticos, não deixando de levar em conta as diferenças ambientais e de direcionamento das políticas públicas na Amazônia Legal e os zoneamentos econômico-ecológicos já definidos.

A complexidade das interações entre atmosfera, biosfera e sociedades humanas implicam que as equipes de pesquisa das mais diferentes áreas de conhecimento deverão desenvolver estudos concomitantes e com caráter interdisciplinar e transdisciplinar. Além das áreas de ciências biológicas e de geociências, com suas abordagens peculiares, aspectos relacionados a dinâmicas sócio-econômicas serão considerados pelas ciências humanas.

Nesse contexto, em relação à sustentabilidade dos serviços ambientais e os sistemas de produção terrestres e aquáticos, exemplos de questões integradas incluem:

- A vegetação amazônica é resiliente sob manejo e fogo? Existe uma configuração para as florestas remanescentes que mantenha a integridade da função regional?
- Qual é o impacto dos atuais sistemas de produção na função dos ecossistemas e paisagens amazônicas? Como futuras mudanças nesses sistemas podem afetar os ciclos hidrológicos e os fluxos de carbono, nutrientes, gases traço e energia na Amazônia?
- Quais são os serviços gerados por ecossistemas amazônicos em termos de biodiversidade, estoque de carbono, qualidade do ar, regulação do clima, controle de inundações, qualidade e fluxo de água, produtos florestais etc.? E como esses serviços serão alterados em cenários de mudanças do clima e do uso e cobertura da terra?



- Como o acelerado processo de urbanização modifica a sustentabilidade dos serviços de ecossistemas amazônicos?
- Como processos locais e meso-regionais de interação terra-água determinam padrões regionais? Como esses padrões serão alterados pelas mudanças de uso e cobertura da terra e pelas mudanças climáticas?
- Como diferentes regimes de posse da terra e políticas de ordenamento territorial afetam o uso sustentável e os serviços ambientais dos recursos naturais?

7. Foco III: Variabilidade e mudanças climáticas e hidrológicas – retroalimentação, adaptação e mitigação.

Temos aprendido sobre os impactos na população, biodiversidade e economia local e regional através de estudos sobre a seca de 2005 na Amazônia. Os impactos na economia local refletiram principalmente no fechamento dos aeroportos devido à grande quantidade de fumaça e o fechamento de portos devido ao baixíssimo nível dos rios que não permitia a navegação dos barcos maiores. A isso devemos adicionar os problemas decorrentes do colapso da agricultura local e outras conseqüências na população, como o número de pessoas atendidas nos hospitais em função de estresse térmico, problemas respiratórios e doenças causadas pela fumaça dos incêndios florestais e pela água contaminada, indicando que as pessoas na Amazônia são vulneráveis à seca e que essa vulnerabilidade pode ser agravada por um clima mais quente e seco no futuro, como sugerem alguns modelos.

Eventos climáticos extremos, como secas induzidas tanto pela variabilidade climática natural quanto pelas atividades humanas podem fragmentar a Floresta Amazônica e transformar grandes áreas em savana. Esses resultados, apresentados por Hutyra et al. (2005), foram obtidos pelo mapeamento de áreas de floresta mais sensíveis à seca utilizando registros de pluviosidade dos últimos 100 anos. A região que se estende do Tocantins à Guiana seria a mais afetada. Essas projeções corroboram resultados de modelos de simulação para o futuro do clima na Amazônia (Betts et al., 2004), que indicam uma maior frequência e intensidade de eventos de seca ao longo da segunda metade do século XXI. Como salientado pelos autores desses trabalhos, as incertezas dos modelos ainda são altas, mas a tendência de uma parte da Amazônia ter clima mais seco é evidenciada.

Relações entre as mudanças climáticas e o ciclo do carbono, particularmente envolvendo alterações na capacidade do ecossistema absorver carbono da atmosfera, têm sido identificadas como uma potencial retroalimentação positiva (Friedlingstein et al., 2006). Também é previsto que o aumento da respiração do solo, devido ao aumento da temperatura, produza outra retroalimentação, que associada ao clima mais seco, pode reduzir a biomassa da floresta em parte de sua área.

O movimento da água pelos sistemas aquáticos e terrestres é importante em qualquer bioma. No entanto, assume uma importância ainda maior na Amazônia, não somente pela magnitude dos fluxos envolvidos, mas também devido à importância ecológica e social que a imensa rede



hidrográfica da região assume. Portanto é fundamental que os processos que controlam esse movimento sejam entendidos, bem como os processos que controlam a composição das águas e, sobretudo, como essas características fundamentais seriam modificadas frente às mudanças no uso da terra e às mudanças climáticas. Diante do dinamismo das mudanças ambientais ora em curso na região, é necessário o aprimoramento de modelos hidrológicos e o acoplamento desses modelos a modelos biogeoquímicos, visando ampliar nossa capacidade de previsão. Esse fato é especialmente importante nas bacias de meso-escala (10.000 a 15.000 km²), onde se agrupam populações que, por sua vez, são beneficiadas pelos serviços ambientais gerados nessas áreas.

Nesse sentido, é necessária a continuidade de estudos iniciados na fase anterior do LBA, quando foram avaliadas as conseqüências das mudanças no uso da terra na hidrologia e na composição química das águas, especialmente aquelas que envolvem a conversão de florestas em pastagens. Esses estudos devem ser multiplicados sob diferentes condições para que a extrapolação para outras escalas seja possível.

Além desses casos, nessa nova fase são necessários estudos que contemplem novas ameaças à integridade dos recursos hídricos. Por exemplo, nas últimas décadas vem ocorrendo um processo intenso de urbanização na região Amazônica. Esse grande fluxo de pessoas em um período relativamente curto vem causando vários problemas sociais e ambientais, especialmente nas periferias das grandes cidades. Populações de baixa renda assentadas nas periferias de Manaus e Belém enfrentam sérios problemas de abastecimento de água, fornecida por mananciais subterrâneos. Para evitar esse problema, uma proporção considerável das populações é assentada ao longo dos rios e igarapés que cortam os centros urbanos da região Amazônica. Na maioria das vezes, o esgoto doméstico gerado por essas populações é lançado aos rios sem nenhum tratamento prévio. Além de um problema grave de saúde pública, o aporte de esgoto *in natura* carrega para os corpos d'água uma quantidade apreciável de matéria orgânica lábil e nutrientes como nitrogênio e fósforo. As conseqüências desses lançamentos nos corpos hídricos são previsíveis, pois têm sido observadas em outras regiões do país, mas não foram ainda investigadas de uma maneira profunda e sistemática na região Amazônica.

As abordagens para o entendimento de processos de retroalimentação ligados à variabilidade e mudanças climáticas e hidrológicas, assim como de mecanismos de adaptação e mitigação incluem vários níveis de estudos climáticos e hidrológicos, variando de análises de extensas séries climáticas e hidrológicas, assim como o monitoramento climático e hidrológico de longo prazo da região. Foi notado no Sumário para Tomadores de Decisão do Grupo de Trabalho II do IPCC (IPCC, 2007) que a maioria da América do Sul tropical não é dotada de informações gerais sobre os possíveis impactos da mudança climática nos sistemas biológicos. Isso se deve, principalmente, à ausência de estudos ou documentação de evidências observacionais. Além disso, vários níveis de modelos ambientais estão sendo considerados, variando de modelos acoplados em escala global com representações interativas bem representadas entre clima-hidrologia-vegetação-química atmosférica a modelos climáticos regionais, ampliando assim a resolução dos cenários de mudança climática. Em algumas regiões, esse detalhamento pode ser ainda maior pelo acoplamento de modelos hidrológicos distribuídos aos modelos climáticos regionais.



Uma melhoria em relação às projeções climáticas do IPCC é que além da forçante radiativa climática devido ao aumento dos gases de efeito estufa, propomos a inclusão das mudanças no uso da terra devido ao desmatamento, e alterações na química e balanço radiativo dos modelos pela inclusão dos efeitos dos aerossóis emitidos pela queima da biomassa após o desmatamento.

Modelagem ambiental adicional será feita usando modelos de impactos, como a modelagem da dispersão de doenças tropicais (por exemplo, malária e dengue) devido a mudanças climáticas e possíveis efeitos dessas mudanças no potencial hidrelétrico em grandes bacias da região, ou impactos da urbanização no clima regional. Aplicações desses resultados podem ser de grande ajuda no desenho e implementação de políticas ambientais voltadas à avaliação da vulnerabilidade e proposição de medidas de adaptação.

Exemplos de questões científicas integradas para esse foco de pesquisa incluem:

- Qual é a relevância das teleconexões regionais e globais nos ciclos de energia, água, gases traço e aerossóis para a sócio-economia amazônica?
- Como a variabilidade do clima e as mudanças de uso e cobertura da terra afetam a distribuição espacial das atividades econômicas, a mobilidade da população e a propagação de doenças?
- Quais são os mecanismos que induziriam à mudança climática e hidrológica na Amazônia, ligados à variabilidade climática natural e às causas antropogênicas?
- Quais seriam os impactos da mudança climática nos sistemas biológicos, físicos e humanos na Amazônia e que impacto isso teria na formulação de políticas públicas para propor medidas de adaptação e mitigação, visando o desenvolvimento sustentável da região?
- Quais seriam as possíveis conseqüências das mudanças climáticas nos extremos climáticos e hidrológicos e como isso afetaria os seres humanos e a biodiversidade natural, assim como subseqüentes planos de conservação?
- Quais são os prospectos de "mudanças climáticas perigosas" na Amazônia e quais seriam suas implicações no clima e hidrologia da Bacia Amazônica?
- Como o clima e a hidrologia da Amazônia podem ser alterados em resposta às mudanças na dinâmica da vegetação, resultantes das transformações na cobertura da terra e das mudanças climáticas globais? E como o sistema amazônico, incluindo a dinâmica da vegetação e o uso da terra retro-alimentariam mecanismos do clima global?
- Que aspectos de adaptação e mitigação social poderiam ser incentivados face às mudanças climáticas?



8. Estratégias de Implementação

Na implementação da próxima fase do LBA, cinco blocos principais de ações serão priorizados, conforme descrito a seguir.

Fortalecimento e Interação entre Programas e Institutos do MCT

Pretende-se promover o fortalecimento e interação entre ações dos programas de pesquisas do Ministério da Ciência e Tecnologia para a Amazônia (LBA - Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, GEOMA - Rede Temática em Modelagem Ambiental da Amazônia e PPBio - Programa de Pesquisa em Biodiversidade). Isso deverá favorecer a formulação de cenários mais completos que permitam ampliar as ações direcionadas ao desenvolvimento regional sustentável. Considerando que a região passa atualmente por um processo de intenso dinamismo, de importância estratégica para o país e para as matrizes nacionais de produção agrícola, energética e biotecnológica, ações de disseminação e compartilhamento dos conhecimentos gerados por esses programas, assim como a formação de recursos humanos qualificados, aumentarão o embasamento técnico-científico e o apoio à tomada de decisões em nível estadual e regional.

Ações complementares e pontos de conexão entre os programas já têm sido identificados. Por exemplo, nos últimos anos, o GEOMA e o LBA têm colaborado em estudos de monitoramento de bacias hidrográficas e de elaboração de cenários de desenvolvimento e conservação para a região. O GEOMA também tem fomentado estudos de biodiversidade, que são de grande importância para o PPBio, e o LBA tem acordado com o PPBio a instalação de sítios experimentais conjuntos e/ou adjacentes. Portanto, o estabelecimento de novos sítios experimentais do LBA deverá, na medida do possível, atender às demandas e necessidades de pesquisa não apenas do LBA, mas também do GEOMA e do PPBio. Outros programas e ações de pesquisa ligada ao MCT e suas instituições na Amazônia, também podem ser parceiros neste esforço, na medida em que contribuam para a consecução dos objetivos científicos elencados neste plano conciso.

O planejamento de eventos científicos conjuntos, assim como de atividades de disseminação e divulgação, também contribuirá para a redução dos custos envolvidos em sua execução.

A componente de treinamento e educação e a formação de recursos humanos

Um forte componente de treinamento e educação deverá ter continuidade através do LBA, para consolidar a formação especializada de recursos humanos oferecida na fase anterior e especialmente direcionada a estudantes e instituições da região. A ênfase na segunda fase do programa será em treinamento e capacitação de alto nível, através de cursos de pós-graduação (mestrado e doutorado), vários dos quais nasceram por iniciativa de grupos de pesquisa do LBA ou foram inspirados na temática do programa. Atividades de pós-doutorado também serão valorizadas, para engajar os recursos humanos formados no âmbito do LBA nas análises



de dados gerados na fase anterior e em novos trabalhos de síntese e integração do LBA, em cooperação com parceiros nacionais e internacionais.

Especial atenção será dedicada aos cursos de pós-graduação em Ciências Ambientais (UFPA/MPEG/Embrapa) e em Clima e Ambiente (INPA/UEA), bem como a novos cursos que venham a ser implementados nas instituições da Amazônia. O componente de treinamento e educação também fornecerá a capacitação necessária para que outras instituições parceiras da região possam participar e contribuir mais efetivamente com o programa LBA. Seguindo recomendação do Comitê Científico, um novo plano de treinamento e educação deverá ser elaborado em consonância com as atividades propostas no presente plano científico, agregando prioridades de diferentes setores relacionados às atividades de C, T & I na Amazônia.

Otimização da Infraestrutura para Pesquisa

Prevê-se a ampliação de pesquisas para incluir tópicos não abordados ou insuficientemente estudados na fase anterior do LBA, preenchendo lacunas importantes no conhecimento atual. Por exemplo, novos sítios experimentais, com potencial interesse para ampliação da rede LBA incluem: Amazônia pré-Andina; estuário do Amazonas; florestas alagadas com ocorrência em grandes áreas do médio e alto Solimões; florestas sobre extensas áreas de solo arenoso, no alto Rio Negro; e fragmentos florestais na Amazônia central. Em vários destes sítios, tópicos de estudo como eco-fisiologia, deposição seca e úmida e fluxos de gases como metano e ozônio deverão ser incluídos ou reforçados.

Por outro lado, torres e equipamentos ora em uso em alguns dos atuais sítios experimentais poderão ser transferidos, temporária ou definitivamente, para novos sítios experimentais que representem prioridades de pesquisa, conforme definidas pelo Comitê Científico do LBA. A otimização da infraestrutura instalada receberá especial atenção durante a segunda fase do LBA, com a finalidade de manter a qualidade da ciência do programa.

Sistema de disponibilização de dados LBA-DIS

Investimentos deverão ser feitos na otimização da capacidade e qualidade do sistema LBA-DIS e no aumento da eficiência nos processos de aquisição e controle de qualidade dos dados, para facilitar sua utilização não apenas pelos projetos de pesquisa, mas também para ações de monitoramento ambiental e ordenamento territorial. Em particular, este repositório de medidas e metadados devem ser prontamente disponibilizados aos programas associados do MCT na Amazônia, mas esforços também devem ser feitos para torná-los acessíveis à comunidade científica como um todo e à sociedade.

A integração e acessibilidade dos bancos de dados sobre a biodiversidade amazônica e parâmetros biofísicos da região, deverá ser obtida através da consolidação do Núcleo de Bioinformática do INPA, beneficiando tanto o LBA quanto os demais programas associados de pesquisa.



Consolidação da rede de parceiros nacionais e internacionais

Novos parceiros nacionais, em especial das instituições da Amazônia, continuarão a ser incluídos como colaboradores nos trabalhos de pesquisa e ensino, ou terão a atual cooperação incrementada, através de atividades conjuntas, melhoria nas facilidades analíticas atuais e apoio para a capacitação necessária. As instituições parceiras devem contribuir efetivamente com pessoal, material e financiamento para a consecução dos objetivos do LBA e programas associados.

Instituições da região amazônica de outros países serão incentivadas a ter uma participação mais efetiva nas pesquisas e redes temáticas do LBA. Contatos com pesquisadores e instituições desses países serão aprofundados e atividades de pesquisa e treinamento deverão ser elaboradas em conjunto. Organizações internacionais, tais como o IAI (Instituto Interamericano para Pesquisas em Mudanças Globais) e a OTCA (Organização do Tratado de Cooperação Amazônica) poderão fomentar a implementação destas cooperações.

A cooperação com parceiros internacionais deve ser mantida e ampliada através de várias ações: projetos conjuntos, com fontes de financiamento nacionais ou internacionais; trocas de informações e análises conjuntas; treinamentos especializados; e intercâmbio de pesquisadores.

9. Referências bibliográficas

- Alves, D. S. (2002) Space time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*. 23, 2903-2908.
- Alves, D. S., Becker, B. K. & Batistella, M. 2004. Land Cover/Land Use Change and Human Dimensions in the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). *LUCC Newsletter*. 10, 4-5.
- Alves, D. S., Escada, M. I. S., Pereira, J. L. G. & Linhares, C. A. (2003) Land use intensification and abandonment in Rondonia. *International Journal of Remote Sensing*. 24, 899-903.
- Andreae, M. O., Rosenfeld, D., Artaxo, P., Costa, A. A., Frank, G. P., Longo, K. M. & Silva-Dias, M. A. F. (2004) Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*. 303, 1337-1340.
- Artaxo, P., Gatti, L. V., Leal, A. M. C., Longo, K. M., Freitas, S. R., Lara, L. L., Pauliquevis, T. M., Procópio, A. S. & Rizzo, L. V. (2005) Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazonica*. 35, 185-196.
- Artaxo, P., Martins, J. V., Yamasoe, M. A., Procópio, A. S., Pauliquevis, T. M., Andreae, M. O., Guyon, P., Gatti, L. V. & Leal, A. M. C. (2002) Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. *Journal of Geophysical Research*. 107(D20), 8081-8095.
- Artaxo, P., Oliveira, P. H., Lara, L. L., Pauliquevis, T. M., Rizzo, L. V., Junior, C. P., Paixão, M. A., Longo, K. M., Freitas, S. de & Correia, A. L. (2006) Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia* 21(3), 1-22.
- Asner, G. P., Knapp, D. E., Broadbent, E. N., Oliveira, P. J. C., Keller, M. & Silva, J. N. (2005) Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*. 310, 480-482.
- Avissar, R., Silva-Dias, P. L., Silva-Dias, M. A. F. & Nobre, C. (2002) The Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA): Insights and future research needs. *Journal of Geophysical Research*. 107, 43-1 a 43-6.
- Baidya Roy, S. & Avissar, R. (2002) Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in Amazonia. *Journal of Geophysical Research*. 107, 8037.
- Batistella, M. & Luizão, F. (2006) LBA and the future of Amazonian research. *Global Change Newsletter*. 67, 4-5.



- Batistella, M. & Moran, E. F. (2005) Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA, *Acta Amazonica*. 35, 239-247.
- Baker, T., et al., (2004) Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B*. 359, 353-365.
- Bayley, P. B. & Petrere Jr. (1989) Amazon fisheries: assessment methods, current status, and management options. In: Dodge, D. P. (ed.) *Proceedings of the International Large River Symposium*. Canadian Special Publications, Fisheries and Aquatic Sciences. 106, 385-398.
- Becker, B. K.; Costa, W. M. & Alves, D. S. (2007) *Dimensões humanas da biosfera-atmosfera na Amazônia*. EDUSP, São Paulo.
- Bernardes, M. C., Martinelli, L. A., Krusche, A. V., Gudeman, J., Moreira, M., Victoria, R. L., Ometto, J. P. H. B., Ballester, M. V. R., Aufdenkampe, A. K., Richey, J. E. & Hedges, J. I. (2004) Riverine organic matter composition as a function of a land use changes, southwest Amazon. *Ecological Applications*. 14, 263-279.
- Betts, R., Cox, P., Collins, M., Harris, P., Huntingford, C., & Jones, P. (2004) The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global change warming. *Theoretical and Applied Climatology*. 78, 157-175.
- Carmo, J. B., Neill, C., Garcia-Montiel, D. C., Piccolo, M. C., Cerri, C. C., Steudler, P. A., Andrade, C. A., Passianoto, C. C., Feigl, B. J. & Melillo, J. M. (2005) Nitrogen dynamics during till and no-till pasture restoration sequences in Rondônia, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 71, 213-225.
- Carpenter, S. R., Fisher, S. G., Grimm, N. B. & Kitchell, J. F. (1992) Global change and freshwater ecosystems. *Annual Reviews in Ecology and Systematics*. 23, 119-139.
- Cerri, C., Higuchi, N. & Melillo, J. (1995) *The Ecological Component of an Integrated Amazon Study: The Effects of Forest Conversion*. NASA. Washington, DC.
- Chambers, J. Q., Santos, J., Ribeiro, R. J. & Higuchi, N. (2001) Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 152, 73-84.
- Claeys, M., Graham, B., Vas, G., Wang, W., Vermeylen, R., Pashynska, V., Cafmeyer, J., Guyon, P., Andreae, M. O., Artaxo, P. & Maenhaut, W. (2004) Formation of secondary organic aerosols through photooxidation of isoprene. *Science*. 303, 1173-1176.
- Cox, P. M., Betts, R. A., Collins, M., Harris, P. P., Huntingford, C. & Jones, C. D. (2004) Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*. 78, 137-156.
- Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A. & Totterdell, I. J. (2000) Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*. 408:184-187.
- Davidson, E. A. & P. Artaxo (2004) Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: Results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment. Invited paper Global Change Biology, 10, 1-11.
- Davidson, E. A., Carvalho, C. J. A. R. de, Figueira, M., Yoko Ishida, F., Ometto, J. P. H. B., Nardoto, G. B., Sabá, R. T., Hayashi, S. N., Leal, E. C., Vieira, I. C. G. & Martinelli, L. A. (2007) Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. *Nature*. 447, 995-998.
- DeFries, R. S., Foley, J. A. & Asner, G. P. (2004) Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2, 249-257.
- Durieux, L., Machado, L. A. T. & Laurent, H. (2003) The Impact of Deforestation on Cloud Cover Over the Amazon Arc of Deforestation. *Remote Sensing of Environment*. 86, 132-140.
- Eva, H. D. & Huber (2004) *A proposal defining the geographical boundaries of Amazonia*. Luxembourg, European Communities, 38p.
- Foley, J. A., Asner, G. P., Costa, M. H., Coe, M. T., DeFries, R., Gibbs, H. K., Howard, E. A., Olson, S., Patz, J., Ramankutty, N. & Snyder, P. (2007) Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5, 25-32.
- Freitas, S. R., Longo, K., Silva-Dias, M. A. F., Silva-Dias, P. L., Chatfield, R., Prins, E., Artaxo, P., Grell, G. & Recuero, F. (2005) Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America, *Environmental Fluid Mechanics*. 5, 135-167.
- Friedlingstein, P., et al., (2006) Climate-carbon cycle feedback analysis, results from the C4MIP model intercomparison. *J. Climate*. 19, 3337-3353.
- Gash, J. C., Nobre, C., Roberts, J., Victoria, R. 1996. An overview of ABRACOS. In: *Amazonian Deforestation and Climate*, Gash, J. C., Nobre, C.,



- Roberts, J. & Victoria, R. (Eds), pp. 1-14, John Wiley, New York.
- Harriss, R. C., et al. (1990) The Amazon Boundary Layer Experiment: Wet Season 1987. *Journal of Geophysical Research*. 95, 16721-16736.
- Harriss, R. C., et al., (1988) The Amazon Boundary Layer Experiment (ABLE-2A): Dry Season 1985. *Journal of Geophysical Research*. 93, 1351-1360.
- Hutyra, L. R., Munger, J. W., Nobre, C. A.; Saleska, S. R. & Wofsy, S. C. (2005) Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazonia. *Geophysical Research Letters*. 32, L24712.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2007) Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers, 23 pp.
- Kirchhoff, V. W. J. H. (1994) THABIS - Um Estudo Integrado da Atmosfera-Hidrosfera-Biosfera Tropical no Amazonas. *Revista Brasileira de Geofísica*. 12, 3-8.
- Krusche, A. V., et al., (2005) Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazonica*. 35, 197-205.
- LBA (1996) Plano Científico Conciso. Disponível em <http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/?p=historico&t=1#>. Acesso em: 10 mai, 2007.
- Lima, A. C., Luizão, F. J. & Higuchi, N. (2000) Effect of the selective logging intensity on two species of the genus *Syntermes* in Central Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 137, 151-154.
- Lu, D. P., Mausel, P., Batistella, M. & Moran, E. F. (2004a) Comparison of land-cover classification methods in the Brazilian Amazon Basin. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 70, 723-731.
- Lu, D. P., Mausel, P., Brondizio, E. & Moran, E. F. (2004b) Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 25, 2365-2407.
- Machado, L. A., Laurent, H., Dessay, N. & Miranda, I. (2004) Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: a comparison of different vegetation types and large scale forcing. *Theor. Appl. Climatol.* 78(1-3), 61-78.
- Malhi, Y., et al., (2004) The above-ground wood productivity and net primary productivity of 104 neotropical forests plots. *Global Change Biology*. 10, 563-591.
- Marengo, J. A. (2004) Interdecadal and long-term rainfall variability in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*. 78, 79-96.
- Marengo, J. A. (2005) Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River basin water budget. *Climate Dynamics*. 24, 11-22.
- Marengo J. A., Nobre, C. A., Salati, E., Ambrizzi, T. (2007b) Sumário Técnico. Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. Subprojeto Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007. Disponível em www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas
- Marengo, J., Nobre, C., Tomasella, J., Sampaio, G., Oliveira, R., Camargo, H., Oyama, M. & Alves, L. (2007a) The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*. Submitted.
- Marengo, J. A., Soares, W., Saulo, C. & Nicolini, M. (2004) Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*. 17, 2261-2280.
- Morton, D., DeFries, R., Shimabukuro, Y. E., Arai, E., Freitas, R., Anderson, L. O., Espírito-Santo, F. B. & Morisette, J. (2006) Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 103, 14637-14641.
- Neeff, T., Lucas, R. M., Santos, J. R., Brondizio, E. S. & Freitas, C. C. (2006) Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: an empirical estimate. *Ecosystems*. 9, 609-623.
- Neill, C., Deegan, L. A., Thomas, S. M. & Cerri, C. C. (2001) Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. *Ecological Applications*. 11, 1817-1828.
- Neill, C., Elsenbeer, H., Krusche, A. V., Lehmann, J., Markewitz, D. & Figueiredo, R. O. (2006) Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: Results from small watershed studies and the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment. *Hydrological Processes*. 20, 2467-2476.
- Nepstad, D., Veríssimo, A., Alencar, A., Nobre, C. A., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Potter, C., Moutinho, P., Lima, E., Cochrane, M. & Brooks, V. (1999) Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*. 398, 505-508.



- Ometto, J. P. H. B., Nobre, A. D., Rocha, H. R., Artaxo, P. & Martinelli, L. A. (2005) Amazonia and the modern carbon cycle: lessons learned. *Oecologia*. 143, 483-500.
- Oyama, M. D. & Nobre, C. A. (2003) A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. *Geophysical Research Letters*. 30, CLM 5-1.
- Oyama, M. D. & Nobre, C. A. (2004) A simple potential vegetation model for coupling with the Simple Biosphere Model (SIB). *Revista Brasileira de Meteorologia*. 19, 203-216.
- Prince, S. D. & Steininger, M. K. (1999) Biophysical stratification of the Amazon basin. *Global Change Biology*. 5, 1-22.
- Procópio, A. S., Artaxo, P., Kaufman, Y. J., Remer, L. A., Schafer, J. S. & Holben, B. N. (2004) Multiyear analysis of Amazonian biomass burning smoke radiative forcing of climate. *Geophysical Research Letters*. 31(3), L03108-L03112.
- Roberts, D. A., Keller, M. & Soares, J. V. (2003) Studies of land cover, land use, and biophysical properties of vegetation in the large scale biosphere atmosphere experiment in Amazonia (LBA). *Remote Sensing of the Environment*. 87, 377-388.
- Roberts, D. A., Numata, I., Holmes, K., Batista, G., Krug, T., Monteiro, A., Powell, B. & Chadwick, O. A. (2002) Large area mapping of land-cover change in Rondônia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers. *Journal of Geophysical Research*. 107, 51-1 a 51-18.
- Salazar, L. F., Nobre, C. A. & Oyama, M. D. (2007) Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*. 34, 1-6.
- Saleska, S. R., Miller, S. D., Matross, D. M., Goulden, M. L., Wofsy, S. C., Rocha, H. R., Camargo, P. B., Crill, P., Daube, B. C., Freitas, H. C., Hutyra, L., Keller, M., Kirchhoff, V., Menton, M., Munger, J. W., Pyle, E. H., Rice, A. H. & Silva, H. (2003) Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. *Science*. 302, 1154-1157.
- Oliveira, P. H. F., Artaxo, P., Pires Jr, C., Lucca, S. de, Procópio, A., Holben, B., Schafer, J., Cardoso, L. F., Wofsy, S. C. & Rocha, H. R. (2007) The effects of biomass burning aerosols and clouds on the CO₂ flux in Amazonia. *Tellus B*. 59B, 338-349.
- Silva, R. R. & Avissar, R. (2006) The hydrometeorology of a deforested region of the Amazon Basin. *Journal of Hydrometeorology*. 7, 1028-1042.
- Silva-Dias, M. A. F., Rutledge, S., Kabat, P., Silva-Dias, P. L., Nobre, C., Fisch, G., Dolman, A. J., Zipser, E., Garstang, M., Manzi, A. O., Fuentes, J. D., Rocha, H. R., Marengo, J., Plana-Fattori, A., Sá, L. D. A., Alvalá, R. C. S., Andreae, M. O., Artaxo, P., Gielow, R. & Gatti, L. (2002) Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region, *Journal of Geophysical Research*. 107, 8072.
- Silva Dias, M.A., Silva Dias, P. L., Longo, M., Fitzjarrald, D. R. & Denning, A. S. (2004) River breeze circulation in eastern Amazonia: observations and modelling results. *Theor. Appl. Climatol.* DOI 10.1007/s00704-004-0047-6.
- Soares, L. de C. (1953) Limites meridionais e orientais da área de ocorrência da floresta amazônica em território brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia*. 15(1), 3-122.
- Soares-Filho, B., Nepstad, D., Curran, L., Cerqueira, G., Garcia, R., Ramos, C., Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P., Schlesinger, P. & McGrath, D. (2006) Amazon conservation scenarios. *Nature*. 440, 1-35.
- Souza-Jr., C. M., Roberts, D. A. & Cochrane, M. (2005) Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment*. 98, 329-343.
- Thomas, S. M., Neill, C., Deegan, L. A., Krusche, A. V., Ballester, V. M. & Victoria, R. L. (2004) Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. *Biogeochemistry*. 68, 135-151.
- Wickland, D. 1994. Interesses da ecologia terrestre em um estado brasileiro. *Revista Brasileira de Geofísica*. 12, 29-32.
- Wofsy, S.; Harriss, R.; Skole, D. & Kirchhoff, V. W. J. H. (1994) Experimentos de Biogeoquímica e Química Atmosférica no Amazonas (Ambiace). *Revista Brasileira de Geofísica*. 12, 9-20.

