

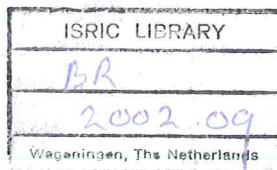


Paisagens, Biodiversidade, Solos e Pluviosidade na Amazônia



**Cadernos de
Cooperação Técnica
02/2002**

Cooperação da GTZ no
Subprograma de Política de Recursos Naturais do
Programa Piloto para Proteção de Florestas Tropicais do Brasil - PPG7



PAISAGENS, BIODIVERSIDADE, SOLOS E PLUVIOSIDADE NA AMAZÔNIA

As Macropaisagens da Amazônia

Wim Sombroek

Scanned from original by ISRIC – World Soil Information, as ICSU World Data Centre for Soils. The purpose is to make a safe depository for endangered documents and to make the accrued information available for consultation, following Fair Use Guidelines. Every effort is taken to respect Copyright of the materials within the archives where the identification of the Copyright holder is clear and, where feasible, to contact the originators. For questions please contact soil.isric@wur.nl indicating the item reference number concerned.

Manaus – Amazonas
2002

15N 28689 db

CADERNOS DE COOPERAÇÃO TÉCNICA

Nº 02/2002

Elaborado por:
Wim Sombroek

Apoio:

Ana Rosa Mesquita de Figueiredo
Isolde Maria Stephan
Heliandro Maia
Antônia de Oliveira Souza
Carla Simone Godinho

Editoração: And-Rey

GTZ - Manaus

Endereço: Rua Recife, 3280 (IPAAM),
Parque Dez de Novembro
CEP: 69.057-002 - Manaus - Amazonas
Telefone: (092) 642.7646 / Fax: (092) 642.8395
e-mail: gtz@ipaam.com.br

Sombroek, Wim

As Macropaisagens da Amazônia / Elaborado por Wim
Sombroek. Manaus: Agência de Cooperação Técnica, 2002.

il. (Cadernos de Cooperação Técnica; n. 02/2002)

1. Macropaisagem – Amazônia. 2. Solo – Cobertura
Florestal. 3. Biodiversidade I. Título. II. Série.

CDD – 634.909811

S U M Á R I O

APRESENTAÇÃO

MACROPAISAGENS DA AMAZÔNIA E SEUS SOLOS EM RELAÇÃO COM A BIODIVERSIDADE	1
--	---

RESUMO	9
--------------	---

INTRODUÇÃO	11
------------------	----

CAPÍTULO 1:

MACROPAISAGENS, SOLOS E COBERTURA VEGETAL	17
---	----

1.1 Paisagens Montanhosas	17
1.1.1 Chapadões de Areniscos	17
1.1.2 Complexos de Inselberg	18
1.1.3 Selva Alta	18
1.2 Terras Firmes Colinosas	19
1.2.1 Terras Firmes Colinosas dos Escudos Cristalinos	19
1.2.2 Planalto Amazônico	21
1.2.3 Vales Relictos	22
1.2.4 Terras Firmes Colinosas Sedimentares Orientais	24
1.2.5 Terras Firmes Colinosas Sedimentares Ocidentais	25
1.3 Planícies	28
1.3.1 Planícies Arenosas	28
1.3.2 Planícies Siltosas	29
1.4 Terras Baixas	31
1.4.1 Complexos de Áreas Alagadas	31
1.4.2 Complexos de Baixadas	32
1.4.3 Áreas Alagadas Costeiras	32

CAPÍTULO 2:	
DIVERSIDADE DE ESPÉCIES, ENDEMISMO E REFUGIAS	33
2.1 Definições	33
2.2 Diversidade de Espécies	35
2.3 Endemismo de Espécies	37
2.4 Especiação e Refugia	40
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	43
MODALIDADES ESPACIAIS E TEMPORAIS DA PLUVIOSIDADE NA AMAZÔNIA: CONSEQÜÊNCIAS PARA O PLANEJAMENTO DA AGRICULTURA E DA PROTEÇÃO DAS FLORESTAS PRIMÁRIAS	49
RESUMO	51
INTRODUÇÃO	53
CAPÍTULO 1. MATERIAIS E MÉTODOS	55
CAPÍTULO 2. RESULTADOS	65
CAPÍTULO 3. CONSEQÜÊNCIAS PARA O ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO	69
3.1 Assentamentos Agrícolas	70
3.2 Volume de Madeira, Produtividade de Biomassa e Estoque de Carbono	73
3.3 Incêndios em Florestas e a Recuperação Florestal	74
3.4 Potencial de Seqüestro de Carbono	76
3.5 O Estoque de Água no Solo	78
3.6 El Niño e Biodiversidade Ecotonal	81
CAPÍTULO 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	83
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	85

A P R E S E N T A Ç Ã O

Nos Cadernos de Cooperação Técnica, a equipe da GTZ coloca a disposição dos executores dos projetos do PPG7 e do público interessado em geral, textos e matérias utilizados durante o exercício dessa missão. Trata-se de “working papers”, sem pretensões de oferecer soluções definitivas, porém de importância para a execução dos projetos, especialmente os de Gestão Ambiental Integrada.

Este caderno reúne duas traduções de artigos científicos escritos pelo Dr. Wim. G. Sombroek: “As Macropaisagens da Amazônia e seus Solos em Relação com a Biodiversidade” e “modalidades Espaciais e Temporais da Pluviosidade na Amazônia: Consequência para o Planejamento da Agricultura e da Proteção das Florestas Primárias”, publicados originalmente em inglês. A temática Paisagens, Solos, Biodiversidade e Pluviosidade, foi uma das principais atividades do Dr. Wim G. Sombroek durante o seu trabalho como perito da GTZ, entre 1996 e 2000, no Subprograma de Políticas de Recursos Naturais do Programa Piloto para Proteção de Florestas Tropicais no Brasil.

A GTZ já havia publicado os mapas e uma versão em inglês em forma digital (CD) por ocasião do seminários sobre “Zoneamento Ecológico-Econômico: A busca de estratégias de desenvolvimento sustentável e questões ambientais emergentes”, realizado em dezembro de 1999, em Manaus. As conclusões desse seminário e especialmente os mapas de pluviosidade já foram citados várias vezes em outros trabalhos,

especialmente em relação a aptidão de terras da Amazônia para uma agricultura mecanizada de produção de grãos. A questão crítica é, se existem limites naturais de clima e solos que possam impedir o avanço indiscriminado da fronteira agrícola, pelo menos nos padrões econômicos e agrotécnicos atuais, para o Zoneamento Ecológico-Econômico essas questões são de extrema importância.

Hans Krüger

Coordenador da Equipe da GTZ no SPRN

AS MACROPAISAGENS DA
AMAZÔNIA E SEUS SOLOS EM
RELAÇÃO COM A BIODIVERSIDADE

R E S U M O

Foram distinguidas 13 (treze) unidades de macropaisagens, em toda a Região Amazônica florestada, cada unidade com padrões de solos e estrutura de cobertura florestal específicos. Estas unidades de paisagem-solo-vegetação estão delineadas num mapa geral da região e ilustradas por um corte transversal esquemático. A diversidade florística, do tipo gama, deve ser a mais alta no complexo paisagístico da selva alta, bordeando a Cordilheira Andina; nas terras firmes colinosas dos escudos cristalinos; nos complexos de inselberg, e no variante eutrício das terras firmes sedimentares ocidentais. Estima-se que o endemismo seja mais alto nas planícies arenosas, e em partes dos complexos de chapadões e dos inselbergs. Especiação, ligada com o conceito de refúgios florestais, é provavelmente mais alta nos chapadões de areniscos antigos, nas extensões do Planalto Amazônico e nas áreas de vales relictos, considerando a prolongada estabilidade geomorfológica destas unidades.

I N T R O D U Ç Ã O

Em janeiro de 1990 e setembro de 1999 foram realizados em Manaus e Macapá, respectivamente, seminários internacionais com o objetivo de definir áreas prioritárias de conservação na Amazônia. Ambos os eventos reconheceram a necessidade de mais informação agregada sobre flora e fauna, com estudos geográficos sobre o clima, a geomorfologia, as paisagens, os solos, a hidrologia/limnologia e as modalidades de ocupação humana na Amazônia. Há três razões para tanto:

- As características e a história dos recursos físicos e humanos podem explicar as diferenças espaciais observadas referentes aos vários aspectos da diversidade das espécies de flora e fauna;
- A geografia desses recursos pode ajudar na tarefa de delinear unidades biogeográficas em áreas, onde a quantidade de observações sobre flora e fauna é escassa ou indeterminada;
- A fragilidade dos próprios recursos físicos pode constituir uma razão para incluir certas áreas no mapa de áreas prioritárias de conservação.

O presente texto trata de aspectos de paisagens e solos, acompanhado por um esboço colorido de um mapa sobre paisagens (Figura 1), um corte transversal esquemático da região que mostra as relações entre as paisagens, vegetação e solos (Figura 2a), e um desenho dos principais perfis de solo envolvidos (Figura 2b).

Devido ao difícil acesso a esta maior área de floresta tropical do mundo, os conhecimentos sobre paisagens, condições do solo e cobertura

biótica da Região Amazônica foram durante muito tempo bastante escassos (Sombroek, 1966 & Ab'Saber, 1967). Nos últimos anos, entretanto, esta situação mudou consideravelmente. Isso não se deve somente a construção de redes de estradas, mas especialmente a disponibilidade de imagens aéreas de radar que foram produzidas por órgãos governamentais do Brasil, da Venezuela, da Colômbia e do Peru. Citamos, por exemplo, os resultados das pesquisas/avaliações multidisciplinares realizadas com base em fotografias de radar e que estão contidas em várias publicações, com mapas na escala de 1:1.000.000, do RADAMBRASIL (1972/1981) e em mapas na escala de 1:500.000, do PRORADAM (1979), referentes as áreas na Colômbia. Ademais, as imagens de sensoriamento remoto do tipo Landsat-TM, processadas e distribuídas no Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, facilitaram ainda mais a padronização espacial.

Essas novas informações proporcionaram uma síntese esquemática de 13 (treze) formas de macropaisagens, contendo considerações sobre a origem e o grau de estabilidade na era Cenozóica. As considerações baseiam-se, em parte, no estudo dos sistemas de paisagens de planícies centrais baixas na região dos trópicos da América do Sul, elaborado por Cochrane *et al.* (1985; com mapa na escala de 1:5M). Outrossim, vale mencionar, que a SAI/IBGE publicou em 1998 um mapa geomorfológico, na escala 1:2.500.000, referente a parte brasileira da região, que apresenta um esquema mais detalhado (43 tipos de modelados fisiográficos).

Para cada uma das principais paisagens foi elaborada uma descrição não-técnica referente aos solos predominantes. Neste texto, utiliza-se a terminologia da FAO/UNESCO referente a classificação de solos (FAO, 1974; 1988). Para a sua tradução foi utilizado o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

As descrições sobre as macro paisagens e solos procuram indicar a estrutura da cobertura vegetal atualmente existente. Sobre as relações entre a vegetação e o solo na parte brasileira consulte também Brown (1987), e Huber (1982) sobre a parte venezuelana da região.

A ocorrência de espécies florísticas e sua relação com as condições de solo e as macropaisagens serão abordadas a seguir.

Main landforms of the Amazon region

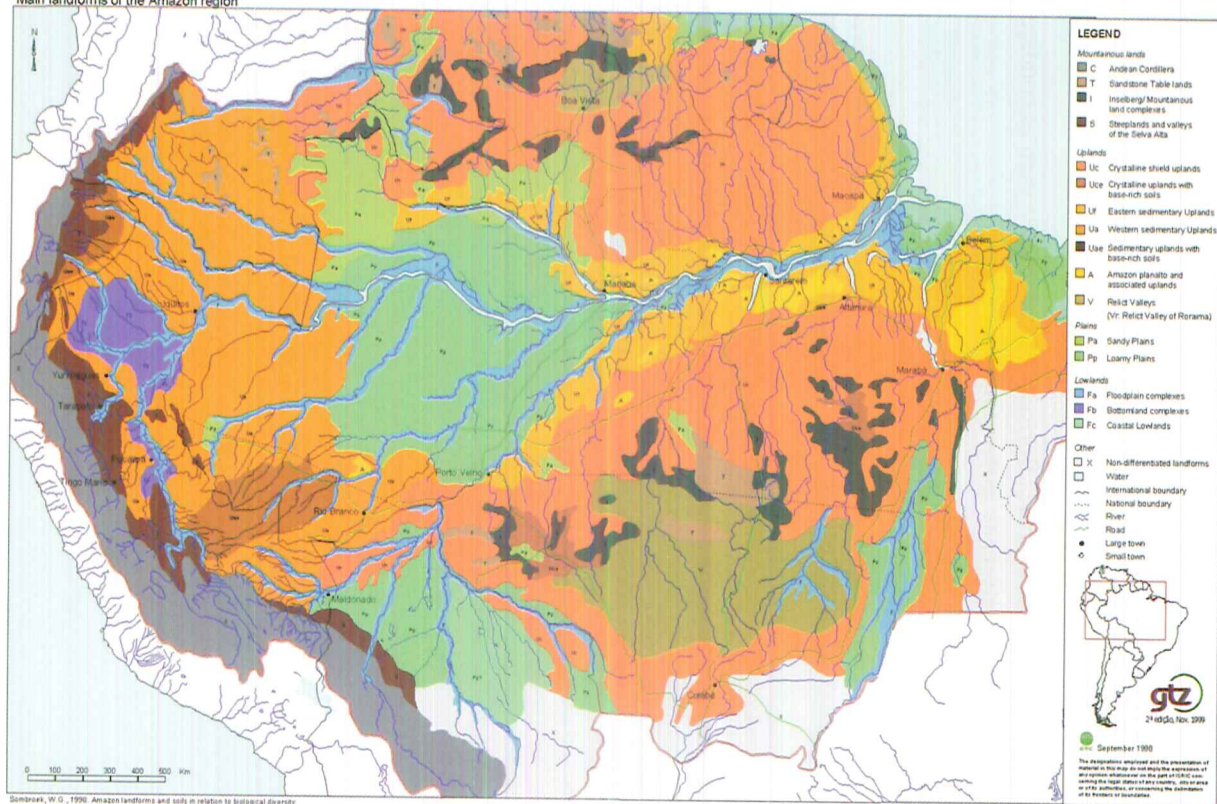


Figura 1: Macropaisagens da Região Amazônica.

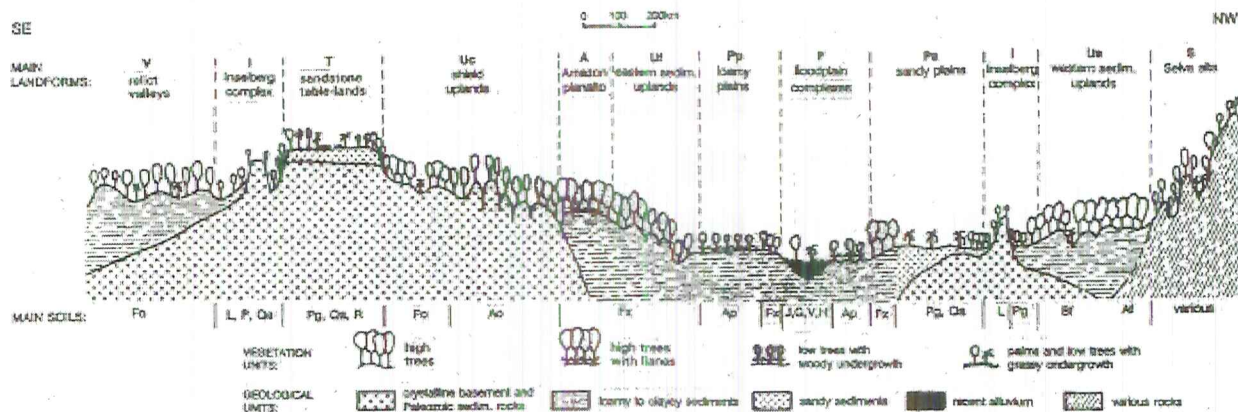


Figura 2a: Corte transversal esquemático da região que mostra as relações entre as paisagens, vegetação e solos.

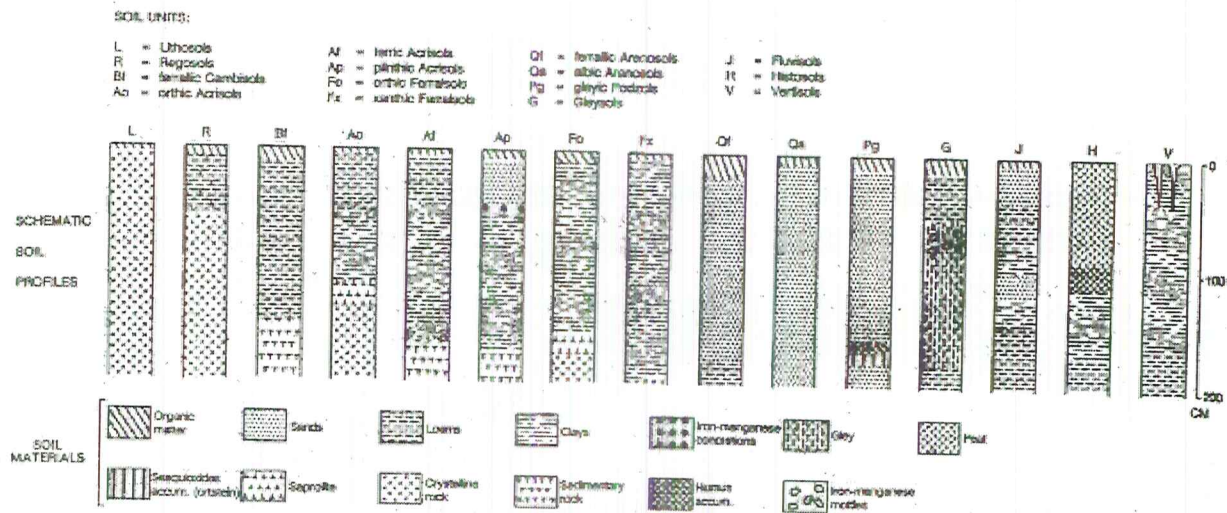


Figura 2b: Desenho dos principais perfis envolvidos.

CAPÍTULO 1: MACROPAISAGENS, SOLOS E COBERTURA VEGETAL

1.1 Paisagens Montanhosas

1.1.1 Chapadões de Areniscos

Os chapadões rasos até levemente ondulados de alto nível (mais que 500 metros de altura), formados, principalmente, por areniscos arcóicos que são muito resistentes à meteorização (formação proterozóica de Roraima e outros), estão concentradas nas regiões dos principais afluentes do rio Amazonas. Exemplos destes CHAPADÕES DE ARENISCOS (símbolo T da Figura 1) são os *tepui*s da Venezuela, os chapadões do Brasil e as *mesas* da parte colombiana. Acredita-se que esses chapadões são geomorfologicamente estáveis desde os tempos do Cretáceo, senão desde mais cedo, embora o processo de transformação possa ter se estendido até o Pleistoceno (Kubitzki, 1989).

Os solos desses chapadões de areniscos são arenosos e predominantemente rasos (albic Arenossolos; Podzols, Lithossolos - ARENOSSOLOS Quartzosos; ESPODOSSOLOS, NEOSSOLOS Litólicos). Atualmente, apresentam uma vegetação de savana ou de baixa floresta (campina rupestre). As escarpas possuem, freqüentemente, solos pedregosos, com mais cobertura vegetal do que as superfícies rasas.

1.1.2 Complexos de Inselberg

As paisagens colinosas ocorrem nas partes de escudos cristalinos resistentes à meteorização, denominados de COMPLEXOS DE INSELBERG (tipo Pão-de-Açúcar) (símbolo I da Figura 1), localizados nas zonas fronteiriças de Guiana-Brasil-Venezuela-Colômbia, nas paisagens montanhosas do escudo brasileiro e nos colúviais e aluviais associados. Provavelmente, ocorreram modificações (novas formações) dessas paisagens durante todo o período do Pleistoceno.

Quanto as condições do solo, os complexos de inselberg possuem uma seqüência quaternária. Ocorrências de afloramentos de rochas e solos muito rasos (Lithosols - NEOSSOLOS Litólicos) dos próprios inselbergs e de outras partes montanhosas alternam-se com solos profundos, freqüentemente arenosos (albic and ferralic Arenosols - ARENOSSOLOS Quartzosos), que estão localizados nos colúvios aos pés dos inselbergs, e solos francosos amarelados e avermelhados em zonas aluviais, intra-montanhosas bem drenados (xanthic Ferralsols and Acrisols - LATOSSOLOS Amarelos e ARGISSOLOS). Os inselbergs possuem vegetação arbustiva, um mosaico de floresta e savana encontra-se nos pés dos declives, e nas zonas intra-montanhosas aluviais, altas florestas.

1.1.3 Selva Alta

Em toda margem da cordilheira andina registram-se paisagens colinosas, vales e trechos colúviais com uma variedade de materiais geológicos: as áreas de SELVA ALTA (símbolo S da Figura 1) da Colômbia, Equador, Peru e Bolívia, com dissecações geomorfológicas ainda ativas.

Esses complexos de declives e vales possuem uma extrema variedade de solos, consequência da curta variação litológica existente, da posição dos declives e das condições meso-climáticas (a área em volta de Tarapoto no Peru possui um clima sub-úmido, com uma longa estação seca).

A subdivisão esquemática é a seguinte: afloramentos rochosos e solos pedregosos (Lithosols - NEOSSOLOS Litólicos, fases rasas de Cambisols - CAMBISSOLOS) localizam-se na parte mais alta, onde se encontra, muitas vezes, somente floresta baixa. Solos bem drenados, profundos, avermelhados, franco-argilosos e, em parte, pedregosos com uma capacidade variável de troca catiônica, saturação de bases e reserva mineral (Ferralsols - LATOSSOLOS, Acrisols - ARGISSOLOS, Luvisols - LUVISSOLOS e Nitissols - NITOSSOLOS) são registrados nos declives médios, com alta floresta. Trechos com terraços do Pleistoceno podem apresentar uma forte diferenciação no que tange a sua textura e acidez ("duplex" ou "claypan" soils: Planossols - PLANOSSOLOS: solos duplex ou *claypan*), com uma vegetação predominantemente arbustiva. Em algumas partes das planícies e fundos de vales registram-se solos argilosos (Vertissols - VERTISSOLOS) com vegetação arbustiva, enquanto que nas áreas alagadas os solos são siltosos, de alta saturação de base (Fluvisols - NEOSSOLOS FLUVIAIS), com alta floresta.

1.2 Terras Firmes Colinosas

1.2.1 Terras Firmes Colinosas dos Escudos Cristalinos

As paisagens ondulares e colinas redondas com declives convexos são registradas nas rochas cristalinas, onde a resistência à

meteorização é menor do que nas áreas dos inselbergs, e também nas saliências de rochas sedimentares adjacentes do Paleozóico-Mesozóico. As terras firmes colinosas ocupam a principal parte das áreas dos escudos da Guiana e do Brasil e podem ser denominadas como TERRAS FIRMES COLINOSAS DOS ESCUDOS CRISTALINOS (símbolo Uc da Figura 1). Presume-se que nestas áreas, houve dissecação ativa até no Pleistoceno Superior. Há lugares onde o terreno é somente levemente ondulado, constituindo estes os remanescentes das antigas superfícies de aplanamento (níveis Sul-Americana e Velhas de King, 1957).

Os solos das terras firmes colinosas dos escudos possuem, freqüentemente, variação lateral à curta distância. Áreas com declives ou rochas resistentes possuem solos bastante rasos, com um substancial conteúdo em minerais sedimentares (Cambisols - CAMBISSOLOS). A maioria dos solos varia de profundo a muito profundo, bem drenado, avermelhado, franco-argiloso e ácido. Quanto a sua textura, partes possuem diferenciações verticais, apresentando subsolos relativamente compactados, uma reserva de minerais e uma atividade variada dos minerais de argila (Ferric ou orthic Acrisols - ARGISSOLOS Órtico ou Férrico), possuindo freqüentemente uma floresta de copas abertas com denso sub-bosque (floresta aberta do RADAMBRASIL). Outros solos são na sua estrutura vertical mais homogêneos, com pouca ou nenhuma reserva de minerais e uma mineralogia argilosa inativa (orthic e rhodic Ferralsols - LATOSSOLOS Órtico e Ródico), com predominância de alta floresta de copa fechada.

As áreas com substrato de rochas cristalinas dioríticas, basalto ou rochas sedimentares do Paleozóico-Mesozóico e ricas em ferro-magnésio apresentam solos vermelho escuros, profundos e argilosos de boa

estrutura e com uma alta percentagem de óxido de ferro na fração argilosa ativa (Nitisols - NITOSSOLOS). Estes solos, chamados na antiga classificação brasileira de solos, de Terra Roxa Estruturada, ocorrem ao longo de partes da estrada Transamazônica, na área do Médio Xingu e em Rondônia (Unidade Uce da Figura 1; Camargo, 1981). Possuem uma cobertura florestal exuberante e devido as suas propriedades físicas e químicas favoráveis são muito procurados para assentamentos permanentes (plantações de café e cacau).

1.2.2 Planalto Amazônico

As planícies de nível intermediário (100 - 300m de altura) ocorrem na parte leste da bacia sedimentária, com uma cobertura de argila sedimentária caolínica. Estas áreas são denominadas de PLANALTO AMAZÔNICO (símbolo A da Figura 1), com uma argila chamada de argila-de-belterra, provavelmente de origem lacustre ou de um mar interior antigo. As paisagens do planalto, que possuem freqüentemente escarpas fortes, prevalecem entre os baixos rios Tapajós e Xingu (vide mapa de Klammer, 1984), bem como junto aos afluentes mais altos da bacia do Gurupi (Sombroek, 1966). Os remanescentes do planalto não foram dissecados durante a época do Pleistoceno.

O Planalto Amazônico possui cobertura monótona de solos muitos argilosos, ácidos, amarelados, de uma atividade físico-química muito baixa e sem reserva mineral (xanthic to geric Ferralsols - LATOSSOLOS Xântico e Gérico). São predominantemente porosos e francosos, com uma profundidade bastante grande e carregam uma alta floresta de copa fechada. Partes centrais das áreas do planalto, longe dos declives, possuem subsolos compactos, nestes casos a cobertura vegetal possui muitas florestas de copa

aberta com grande ocorrência de cipós ou até floresta pura de cipó ou cipoal (Sombroek, 1966). Este último tipo de vegetação prevalece na margem esquerda do Baixo Xingu e pode ser considerado um resultado permanente de antiga ocupação por Ameríndios (Balée & Campbell, 1989).

Ao contrário de suposições antigas (Sombroek, 1966), os registros de ocorrências de trechos de Planalto Amazônico com cobertura de argila-de-belterra, a oeste da Amazônia, são raros. Foram identificados somente trechos isolados, por exemplo ao longo da estrada de Rio Branco a Sena Madureira (Acre/Brasil) e ao noroeste do município de Boca do Acre no Estado do Amazonas (Mapa unidade LVd4 do RADAMBRASIL). Recentemente, alguns restos do Planalto Amazônico, na parte colombiana na área do médio Caquetá (Unidades dos mapas Sp1/Sp2 de Duivenvoorden & Lips, 1995), foram mapeados, enquanto que na parte peruana da bacia sedimentária encontrou-se restos pequenos de acumulação plana, conforme registrados por Khobsi *et al.*(1980). Os solos desses restos de planalto ocidental Amazônico, com argila-de-belterra, são menos pesados quanto a sua textura (50% de argila em vez de 80-95% como na parte leste da Amazônia), e a compacidade do subsolo pode ter induzido à formação de solos tipo duplex (dystric Planosol - PLANOSSOLOS Distróficos) da unidade Sp2.

1.2.3 Vales Relictos

As paisagens relativamente altas, levemente onduladas, com declives côncavos podem ser registradas em superfícies dos escudos cristalinos ou dos depósitos do Cretáceo - Terciário. Estas podem ser denominadas de VALES RELICTOS e são encontradas na periferia sul da região (nascentes dos rios Xingu e Tapajós, no norte de Mato Grosso,

a 400-500 m de altura). Elas também podem ser observadas nos afluentes mais altos do rio Curuá-Una, no sudeste de Santarém/PA (Klammer, 1984), nos afluentes mais altos do rio Capim, ao sul de Belém/PA e em algumas partes da área sedimentária entre Manaus/AM e Itacoatiara/AM. Estas últimas, aparentemente, referem-se de modo freqüente a remodelagem da argila-de-belterra por erosão e re-depósitos de curtos intervalos ocorridos no início do Pleistoceno, sem qualquer dissecação na época tardia do Pleistoceno Superior.

As áreas dos vales relictos, com os seus declives leves e côncavos, possuem predominantemente solos muito profundos, franco-arenosos a argilosos e, às vezes, concrecionários, ácidos, amarelados a avermelhados, com uma atividade físico-química que oscila entre baixa a muito baixa (xanthic or orthic Ferralsols and ferralic Arenosols - LATOSSOLOS Órtico ou Xântico e NEOSSOLOS Quartzosos Ferrálicos). Carregam florestas com grandes volumes de madeira, mesmo sob condições climáticas não favorecidas, como nos afluentes altos das bacias do Xingu e Tapajós.

As áreas de savana em volta de Boa Vista/RR talvez possam constituir uma variante (símbolo Vr da Figura 1) desses vales relictos. No passado, esta área, aparentemente, possuía contato hidrográfico direto com o oceano Atlântico, através do vale do rio Essequibo da Guiana, que é parte da bacia Takutu, representando uma estrutura tectônica antiga e intra-continental NE-SW, ainda remanescente da época do Jurássico (McConnel *et al.*, 1969). O alto nível do mar glacial eustático, do período Siliciano ou Milazziano, início do Pleistoceno (Zeuner, 1959), pode ter formado um lago ou baía interior na área de Boa Vista, e nessa época foram depositados os sedimentos da formação dessa cidade.

Os vales relictos de Boa Vista possuem predominantemente uma cobertura de savana, devido a forte diferenciação na textura dos solos (parte superficial arenosos e subsolos argilosos e compactos) e/ou a ocorrência de maciças camadas ferruginosas (Arenosols - NEOSSOLOS, Planosols - PLANOSSOLOS, Plinthosols - PLINTOSSOLOS, ironstone Lithosols - NEOSSOLOS Ferruginosos). Como esses locais possuem uma incidência de alto teor de Mg/Ca no subsolo mais profundo, bem como a presença de depressões de terreno do tipo olhos-d'água (Carneiro Filho, 1991), acredita-se que esse desenvolvimento divergente do solo deve-se ao depósito de água de lagoa salobra de materiais afins (Sombroek *et al.*, 1970) semelhante as formas ocorridas na área da Lagoa Merim no Sul do Brasil. As condições climáticas secas ocorridas durante parte do Pleistoceno, conforme evidenciadas pela ocorrência de dunas arenosas de fósseis (Carneiro Filho & Zinck, 1994) podem, mais tarde, ter contribuído para a forte diferenciação vertical no que tange à textura da maioria dos solos encontrados.

1.2.4 Terras Firmes Colinosas Sedimentares Orientais,

Uma alternância entre paisagens planas e onduladas, estas últimas freqüentemente com declives convexos, é registrada no nível de terraço glacio-eustático do Pleistoceno, no leste da bacia Amazônica. Essas TERRAS FIRMES COLINOSAS SEDIMENTARES ORIENTAIS (símbolo Uf da Figura 1) ocorrem em sedimentos fluviais que derivaram de material dos escudos cristalinos, expostos à meteorização durante o Cretáceo e Terciário. A dissecação dessas terras firmes deu-se durante todo o Pleistoceno, devido às alternâncias climáticas pluviais-interpluviais e oscilações do nível da base hidrográfica, conforme demonstrado por Klammer (1984).

As terras firmes sedimentares orientais possuem solos bem drenados, muito profundos, ácidos e amarelados, com textura que varia lateralmente de areia franca a argilosa com baixa percentagem de silte, mas verticalmente homogênea. Os solos não possuem reserva mineral meteorizável e são físico-quimicamente muitos inativos, especialmente nas partes planas dos terraços superiores (Sombroek, 1966), porém são completamente porosos e friáveis em todas as partes (xanthic or geric Ferralsols - LATOSSOLOS Xântico ou Gerico; alguns ferralic Arenosols - NEOSSOLOS Quartzosos Ferrálicos). Carregam uma alta floresta de copa fechada (floresta densa do RADAMBRASIL), que possui médio a grande volume de madeira. Em parte, os solos contêm camadas de concreções lateríticas (piçarra), sendo que isso normalmente não surte qualquer efeito prejudicial sobre a estrutura florestal. Trechos muito arenosos, localizados nas terras firmes mais altas, podem apresentar um perfil de solo de areia branca, mas não possuem lençol freático estagnante no seu subsolo. Esses trechos de albic Arenosols - NEOSSOLOS Quartzosos Álbicos ou “Giant Podzols”, também carregam floresta, mas com um baixo volume de madeira; entretanto, a floresta não se recompõe, depois dos distúrbios causados por antigas ou presentes ocupações.

1.2.5 Terras Firmes Colinosas Sedimentares Ocidentais

As paisagens onduladas, freqüentemente com declives convexos, na parte oeste da bacia, com sedimentos derivados por processos fluviais e, às vezes, vulcânicos-eólicos, da Cordilheira Andina, são denominadas de TERRAS FIRMES COLINOSAS SEDIMENTARES OCIDENTAIS (símbolo Ua da Figura 1) e também passaram pela dissecação durante o Pleistoceno.

As condições do solo contrastam acentuadamente daquelas das terras firmes colinosas orientais porque, antes do seu depósito, a maioria dos sedimentos foi exposta a menos meteorização. Os solos são também predominantemente profundos, bem drenados, amarelados-vermelhados e ácidos, mas com uma composição de minerais de argila que resultam em uma alta capacidade de troca catiônica. As texturas variam, porém o conteúdo de silte é relativamente alto, e há alguma reserva de minerais meteorizáveis. Muitos desses solos possuem texturas substancialmente diferenciadas verticalmente, e os subsolos mais profundos podem apresentar uma coloração de manchas vermelhas (pseudo-plinthite, ou seja, não endurecem quando expostos). Esses solos (ferric or haplic Acrisols and Alisols - ARGISSOLOS Férricos ou Háplicos e ALISSOLOS), FAO (1988), possuem uma cobertura florestal, predominantemente, com uma estrutura de copa bastante aberta.

Um estudo multidisciplinar recente sobre a Região Amazônica peruana, perto de Iquitos, demonstrou que os solos de terra firme são geralmente bem lixiviados e muito ácidos, conseqüentemente, pobres em nutrientes de plantas (Ferralsols - LATOSSOLOS, Acrisols - ARGISSOLOS, ferralic Cambisols - ferralic CAMBISSOLOS Ferrálicos, alguns Podzols - ESPODOSSOLOS e Arenosols – NEOSSOLOS Quartzosos). A menor parte dos solos de terra firme possui uma reserva substancial de nutrientes de plantas, o que se deve à presença de depósitos de argila Terciária, não meteorizadas, da formação de Pebas no seu subsolo pouco profundo. Esta situação parece ser restrita às terras firmes incisais ao longo dos rios, vales e depressões (Kaufmann *et al.*, 1998). As observações florísticas demonstraram correlações com esses grupos de solo, especialmente quanto a sua textura e o conteúdo de bases (Ruokolainen & Tuomista, 1998).

Um mapeamento de solos na parte colombiana (Duivenvoorden & Lips, 1995) revelou a existência de duas associações de solo a nível mega que são: (i) A associação Ali-Acrisol – Ali-ARGISSOLOS de alta atividade de minerais-de-argila, estando fisiograficamente ligada a terraços mais baixos e as argilas Pebas de natureza de depósitos de água salobra; e (ii) A associação Acri-Ferralsol – Argi-LATOSSOLOS de baixa atividade, ligada a terraços mais altos de sedimentos fluviais arenosos a argilosos sedimentares, derivada do escudo da Guiana e da formação de areniscos Proterozóicos (formação de Roraima).

Na parte sudoeste, no Estado do Acre e na parte adjacente do Peru (unidade Uae na Figura 1), ocorrem solos com uma alta saturação de nutrientes, devido a presença de depósitos sedimentários mais ricos e, em alguns lugares, também, misturas de cinza vulcânica (Möller & Kitagawa, 1982). Os solos são bastante profundos (ferric Lixisols – ALISSOLOS Férricos) ou rasos (eutric Cambisols - CAMBISSOLOS EUTRÓFICOS). A estrutura florestal é determinada pela ocorrência de bambu (*Guadua superba*), de forma dispersa ou densa (Cardoso da Silva *et al.*, 1990). A acumulação densa pode ser o resultado das duradoiras práticas de queimas dos ameríndios.

Alguns dos solos das terras firmes sedimentares ocidentais, mais precisamente da parte equatoriana (unidade Uae na Figura 1), demonstram, na sua textura, uma pequena ou nenhuma diferenciação. Eles possuem uma alta saturação de nutrientes (eutric Cambisols - CAMBISSOLOS EUTRÓFICOS, eutric Nitisols - NITOSSOLOS EUTRÓFICOS) ou são ácidos (ferralic Cambisols - CAMBISOLOS Ferrálicos). Em ambos os casos, prevalece a floresta alta de copa fechada.

1.3 Planícies

1.3.1 Planícies Arenosas

As paisagens relativamente baixas, planas ou levemente onduladas, com uma superfície arenosa sobre rochas cristalinas, destacam-se nas áreas do Rio Negro e médio Rio Branco. Especula-se que essas PLANÍCIES ARENOSAS (unidade Pa da Figura 1) tenham-se formado no Pleistoceno Superior/Novo, depois da inclusão de alguns dos antigos afluentes dos rios Orinoco e Essequibo no sistema dos rios amazônicos. Essa inclusão pode ter resultado em um aumento repentino da descarga dos rios dos afluentes amazônicos, causando uma remoção seletiva dos componentes argilosos do início do Pleistoceno ou dos sedimentos do Terciário - Cretáceo que podem, originariamente, terem coberto as áreas. Uma extensão de terras planas arenosas ocorrem entre as terras firmes cristalinas e áreas costeiras alagadas da Guiana, mais precisamente perto da foz do rio Essequibo.

As planícies arenosas nas áreas do Rio Negro, do médio Rio Branco e da Guiana possuem, durante o ano todo, solos imperfeitamente drenados. São caracterizados por um horizonte sub-superficial (camada) que consiste de areia cinza clara ou branca e de uma estrutura granular solta. Contêm um subsolo de profundidade variável que é homogêneo ou com listras marrom-escuro a pretas, possuindo uma textura somente um pouco mais pesada do que a camada acima.

Os solos têm uma consistência firme, podendo ser até maciça, fatores estes, responsáveis por uma baixa permeabilidade da água e por uma baixa penetrabilidade nas raízes. O subsolo *ou ort stein* pode ser contínuo ou apresentar formatos laterais muito irregulares,

às vezes, ausente em partes. O solo todo é muito ácido e não possui qualquer reserva de minerais meteorizáveis (gleyc Podzols - ESPODOSSOLOS GLEI ou albic Arenosols – NEOSSOLOS Álbicos, se a camada branca é mais larga que 200 cm). Neste tipo de solo, a vegetação natural consiste de savana com trechos de areia (campina) ou de floresta baixa de copa fechada com uma fisionomia escleromórfica (caatinga amazônica). O desmatamento dessa vegetação resultaria na exposição permanente de solo arenoso branco. Os campos arenosos do Médio Rio Branco possuem traços de deformação eólica passada, que são visíveis nas imagens Landsat TM da área.

1.3.2 Planícies Siltosas

As paisagens relativamente baixas, planas ou levemente onduladas com sedimentos finamente arenosos ou siltosos prevalecem nas áreas baixas dos rios Juruá-Purus-Madeira, ao sudoeste de Manaus. Aparentemente, trata-se de campos com sedimentos instáveis do Pleistoceno Superior, recentemente denominado de formação “Iça” (CPRM, 1998). Seu caráter instável resultou em trechos excepcionalmente largos (frequentemente de até 50 km), de terraços baixos e áreas alagadas ao longo dos rios que cruzam a área. As superfícies dessas PLANÍCIES SILTOSAS (símbolo Pp da Figura 1) ainda apresentam formas relictas de rios, tipo meandro, conforme apontado por Klammer (1984) e Irion (1976 *et seq.*). Os depósitos podem ter sido originados no Pleistoceno pela desagregação de um antecedente do Lago Titicaca na área altiplana da Bolívia e do Peru, o que pode ter resultado em um grande lago interior temporário no centro da Região Amazônica (Campbell *et al.*, 1985; Frailey *et al.*, 1988).

As planícies siltosas possuem solos sazonalmente mal drenados e de baixa estabilidade estrutural. Uma superfície franco-siltosa cobre um subsolo argiloso que possui consistência compacta, com salientes e abundantes manchas vermelhas sobre uma matriz cinza clara. Os centros dessas manchas são normalmente endurecidos, e na zona de transição, entre a superfície do solo e o subsolo, pode ocorrer uma fina camada de discretas formações maciças de ferro-mangânês. As manchas, chamadas na ciência moderna de solos de plinthite, endurecem irreversivelmente se expostos ao ar livre por várias estações e formam um material tipo escórico, sendo, então, conhecido como petroplinthite, ou seja, formações maciças de lateritas ou ferruginosas. A saturação de bases do solo é baixa e a atividade físico-química dos minerais-de-argila é baixa a muito baixa. Esses solos comparam-se aos Groandwater Laterites (Lateritas de lençol freático) mencionados nas primeiras publicações pedológicas (Marbut, 1932), e hoje em dia, são denominados de Plinthosols - PLINTOSSOLOS quando o plinthite é raso e fortemente desenvolvido, ou Plinthic Acrisols - ARGISSOLOS Plínticos quando o material plíntico é mais profundo ou mais fraco. Sua vegetação consiste em floresta de biomassa relativamente baixa (volume de madeira de 100-150 m³/ha), freqüentemente com predominância de palmeiras em partes levemente em declive e com savana arbustiva ou limpa nas partes interfluviais planas. O desmatamento dessa vegetação resultaria em um endurecimento irreversível de parte do subsolo plíntico, eventualmente agravado através da erosão da superfície instável do solo.

Os campos plínticos do Pleistoceno Superior também são encontrados na área de Beni no noroeste da Bolívia, na área mais baixa do Gurupi-Maracassumé no norte do Maranhão, e ao lado oeste da parte mais baixa do rio Tocantins e na margem sudeste da Ilha do Marajó/PA (Camargo, 1981). São geralmente menos siltosos do que os dos sedimentos Iça.

1.4 Terras Baixas

1.4.1 Complexos de Áreas Alagadas

As terras baixas e áreas submersas, ao longo dos maiores rios, constituem áreas alagadas de fases do Holoceno. Os detalhes referentes a esses COMPLEXOS DE ÁREAS ALAGADAS (símbolo Fa da Figura 1) foram dados por Suttmöller *et al.* (1966) e Klammer (1984).

As áreas alagadas ao longo dos maiores rios possuem forte variação nas condições de solo. Podem ser classificadas como solos aluviais, porque a sua estratificação sedimentária ultrapassa qualquer desenvolvimento do perfil pedogenético. Entretanto, os solos variam muito na sua textura, nas suas condições de drenagem interna, no seu conteúdo orgânico, na sua acidez e na sua mineralogia argilosa, dependendo das condições locais de alagação, da fonte de sedimentos e do tempo passado desde o seu depósito ou re-depósito (Fluvisols - NEOSSOLOS Flúvicos, Gleysols - GLEISSOLOS, gleyic Acricols - ARGISSOLOS Gleicos, Vertisols - VERTISSOLOS, Histosols - ORGANOSSOLOS).

Em geral, as áreas alagadas com sedimentos da Cordilheira Andina (várzeas dos rios de água branca) possuem muitos nutrientes e uma mineralogia de argila de alta atividade físico-química. Carregam uma cobertura florestal exuberante, freqüentemente com muitas espécies de palmeiras ou ricos campos naturais, onde o regime hidrológico impede o crescimento de árvores.

Nos rios que originam das áreas de escudos cristalinos ou na própria bacia sedimentária cenozóica encontram-se pouco ou nenhum sedimento, podendo conter uma alta percentagem de ácidos húmicos (várzeas e igapós de rios de água azul ou água preta).

Os solos são predominantemente ácidos, com minerais-de-argila de atividade mais baixa e a cobertura florestal é menos exuberante.

1.4.2 Complexos de Baixadas

Os COMPLEXOS DE BAIXADAS (símbolo Fb da Figura 1) extensos ocorrem na parte ocidental da Região Amazônica. A maior área é a da bacia Pastaza-Marañon localizada no Peru-Ecuador, representando uma imensa mancha aluvial do Pleistoceno Superior e Holoceno, de aproximadamente 60.000 Km² (Räsänen, 1991). Os solos dessas baixadas são na sua maioria mal drenados e, em parte, turfosos (Histosols; humic ou eutric Gleysols - ORGANOSSOLOS; GLEISSOLOS Eutróficos ou Húmicos), e a vegetação consiste de floresta com alta frequência de palmeiras.

1.4.3 Áreas Alagadas Costeiras

As ÁREAS ALAGADAS COSTEIRAS (símbolo Fc da Figura 1) ocorrem ao longo da costa atlântica e da ilha do Marajó na foz do sistema de rios. Seus solos são, ou foram, sujeitos à influência de água salobra ou salina (Solonchak - GLEISSOLOS Salinos, thionic Fluvisols - NEOSSOLOS Flúvicos Tiomórficos, Gleysols - GLEISSOLOS). A sua vegetação natural consiste de floresta de mangues ou campos. Os campos são encontrados na parte central e norte da Ilha do Marajó/PA.

CAPÍTULO 2: DIVERSIDADE DE ESPÉCIES, ENDEMISMO E REFÚGIOS

2.1 Definições

As descrições anteriores, assim como a tentativa cronológica referente as macroestruturas de paisagens, solos e vegetação, com combinações espaciais de habitats, permitem iniciar uma discussão sobre aspectos geográficos da diversidade biológica amazônica em geral, bem como a diversidade de espécies em particular, com algumas observações sobre o endemismo e a especiação de espécies.

A DIVERSIDADE BIOLÓGICA, definida como a variedade e variabilidade de organismos vivos, e os complexos ecológicos onde ocorrem possuem três níveis: diversidade do ecossistema, diversidade de espécies e diversidade genética (McNeeley *et al.*, 1990). A DIVERSIDADE DO ECOSISTEMA reflete-se na variedade de habitats, nas comunidades bióticas e nos processos ecológicos, esta foi implicitamente descrita no capítulo anterior. A DIVERSIDADE DE ESPÉCIES refere-se à variedade de organismos vivos, enquanto que a DIVERSIDADE GENÉTICA refere-se à soma total da informação genética contida nos genes das plantas individuais, dos animais e dos microorganismos.

A diversidade de espécies (ou heterogeneidade) combina a ocorrência de espécies com a regularidade de espécies em um local determinado por unidade de tamanho de área (Magurran, 1988).

A regularidade de espécies é o grau da mesma abundância de diferentes espécies dentro dessa unidade de área (por exemplo, km²). Então, quanto mais possuírem espécies e mais espécies igualmente abundantes maior será a diversidade de espécies.

A medição da diversidade de espécies é relacionada ao hábitat (hábitat definido como um tipo de localidade, onde uma planta ou um animal vive e cresce naturalmente e normalmente). Whittaker (1977) distinguiu a ALFA-DIVERSIDADE (a diversidade dentro de um hábitat homogêneo); a BETA-DIVERSIDADE (a diversidade entre hábitats ou o grau de diferença entre dois habitats contrastantes na sua composição de espécies, conforme mensurado ao longo de um gradiente ecológico); a GAMA-DIVERSIDADE (a diversidade de uma grande unidade geográfica, como uma ilha e uma macropaisagem, ou seja, a diversidade total de um grupo de alfa-diversidades, em outras palavras, a ocorrência de espécies de uma série de hábitats localizados nessa macrounidade geográfica, como consequência da alfa-diversidade de todos os hábitats com a extensão da beta-diversidade entre eles); e a IPSILONE-DIVERSIDADE (a diversidade total de um grupo de áreas, sendo aplicada em grandes regiões bio-geográficas ou biomas).

Seguindo a descrição anterior das unidades de paisagens e solos, ou seja, paisagens ou sistemas de terra e tendo como base a Região Amazônica, evidencia-se que a diversidade de espécies, discutida a seguir, é basicamente do tipo gama.

O conceito de endemismo está relacionado à beta-diversidade, ou seja, uma espécie ocorre somente em uma certa área e em nenhum lugar mais, possui então, um nicho ecológico específico. É nativa, restrita ou peculiar naquela localidade ou região (McNeely *et al.*, 1990).

A diversidade genética inclui tanto as variações intra-específicas (uma grande variação de características observáveis referentes aos indivíduos que pertencem a uma mesma espécie ou variação *germ-plasm*), como a especiação (a formação de novas espécies). Segundo Krebs (1984), a especiação pode ser: *allopatric* (tendo áreas separadas ou exclusivas de distribuição geográfica); *parapatric* (ocupação de um novo hábitat que é vizinho à área original de distribuição geográfica); ou *sympatric* (distribuição geográfica nas mesmas áreas ou áreas sobrepostas). Presume-se, particularmente referente à diversidade genética *allopatric*, que esta é estimulada pela presença, por um longo tempo, de um bioma na mesma área geográfica com mudanças ambientais mínimas (estabilidade das condições climáticas, bem como das paisagens e dos solos). Por isso, é ligado ao conceito de áreas de refúgios de floresta ou áreas pequenas e separadas, onde pode ter tido cobertura florestal durante o todo o Terciário Superior e Pleistoceno (Whitmore & Prance, 1987).

Os seguintes apontamentos sobre diversidade de espécies, endemismo e especiação referem-se somente às plantas, em particular às árvores, embora possam ser ligadas às comunidades de fauna e de microorganismos.

2.2 Diversidade de Espécies

A gama-diversidade de espécies é tida como a maior em áreas com uma variação forte e à curta distância no hábitat, ou seja, onde paisagens ou sistemas de paisagens são compostos por modalidades de área que possuem topografia, solo, condições hidrológicas e micro-climáticas substancialmente diferenciadas.

Estas situações podem ser encontradas em áreas, onde os processos geo-morfo-genéticos foram ativos durante vários períodos do Pleistoceno e resultaram nas mudanças periódicas de pluviosidade, ligadas à gelificação em latitudes e altitudes mais altas e na diminuição concorrente do nível das bacias hidrográficas.

A nova pedogênese resultou em solos de diferentes profundidades, nas condições de drenagem, no conteúdo de nutrientes e nas ocorrências de elementos traços, especialmente onde essa atividade geomorfológica resultou na exposição de rochas de litologia e mineralogia contrastantes em curta distância. Isso permitiu que muitas espécies florísticas pudessem encontrar o seu hábitat específico (nicho) que correspondesse aos requisitos necessários que viabilizassem o crescimento, a reprodução e a dispersão de suas sementes.

Das descrições sobre as principais unidades de paisagens e solos do Capítulo 1 e do corte transversal esquemático da figura 2a, evidencia-se que essas condições podem ser encontradas mais acentuadamente no complexo paisagístico da Selva Alta (S), nas terras firmes colinosas dos escudos cristalinos (Uc), no complexo de Inselbergs (I) e no variante eutrício das terras firmes sedimentares ocidentais (Ue). Em um grau menor, aplica-se às terras firmes distróficas orientais (Uf) e as terras firmes sedimentares ocidentais (Ua), devido a natureza relativamente monótona dos materiais afins. Entretanto, presume-se existir alta biodiversidade no cruzamento dessas terras firmes sedimentares, antigos leitos de rios agora enchidos por areia branca, como na área Manicoré-Novo Aripuanã/AM ao leste do rio Madeira.

O mesmo pode ocorrer nas partes de planícies siltosas (Pp) que foram remodeladas em terraços baixos, resultando em laguinhos de água preta ou branca. Um exemplo é o lado esquerdo do Baixo Rio Purus, que possui uma abundância em espécies primatas (Roosmalen, *pers. comm*). Um caso semelhante registra-se nos complexos de áreas alagadas (F) dos rios de água branca, que possuem origem na Cordilheira Andina, onde as dinâmicas fluviais ocorridas durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno causaram rápidas sucessões temporais e espaciais de vegetação, devido a mudanças de habitats sedimentológicos e hidrológicos, conforme demonstrado por Salo & Räsänen (1988).

2.3 Endemismo de Espécies

O endemismo ou a restrição de ocorrência de certas espécies a áreas específicas dentro do bioma florestal tropical da Amazônia é provavelmente ligado às extremas condições climáticas, hidrológicas e de solos, onde essas espécies possuem uma relativa vantagem na competição com outras espécies.

Algumas espécies de árvores encontram o seu nicho sob condições de excessivas chuvas durante o ano todo, como na parte colombiana mais alta da Região Amazônica. Outras, aparentemente prosperam em áreas com uma forte estação seca, como em grandes partes da margem sul e sudeste da região. Isso aplica-se, por exemplo, a espécies de madeira preciosa como o cedro (*Cedrela odorata*), o mogno (*Swietenia macrophylla*) e a castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*). Nessas zonas uma espécie ainda pode requerer um habitat edáfico específico, conforme demonstrado por um estudo específico sobre a ocorrência de mogno na área do Baixo Araguaia realizado em 1961,

pela FAO/SPVEA. As espécies de mogno foram encontradas de forma concentrada e bem desenvolvidas em solos hidromórficos de alta atividade físico-química (“solos PODZÓLICOS Hidromórficos ou LUVISSOLOS Gleicos”; Sombroek, 1966).

As condições hidrológicas extremas são encontradas nos complexos de áreas alagadas e nos complexos de baixadas (F), sua influência sobre o endemismo de espécies é detalhadamente discutida por Junk (1984) e outros.

As condições de solos extremas são encontradas nas planícies de areia branca (Pa), em parte dos chapadões (T) e nos complexos de Inselberg (I).

A composição das espécies florísticas específicas de campina e de caatinga amazônica está bastante documentada. Esta possui uma baixo grau de diversidade de espécies, mas um alto número de espécies endêmicas (Ducke & Black, 1953; Murça Pires, 1978; Anderson, 1981; Jordan, 1989). Entretanto, sobre a composição florística dos vários solos rasos dos chapadões e dos inselbergs sabe-se bem menos, com exceção daquela do tepuis venezuelano (Huber, 1982 *et seq.*).

O autor desconhece a existência de qualquer estudo sobre a composição de espécies nas planícies siltosas (Pp), com solos Plinthosols - PLINTOSSOLOS ou plinthic Acrisols - ARGISSOLOS Plínticos de drenagem imperfeita. Nas partes com vegetação de savana, como nos campos de Humaitá-Lábrea (Estado do Amazonas), encontram-se esclerofílicos árvores resistentes ao fogo e espécies arbustivas, iguais as que se encontram nas áreas do cerrado central do Brasil (Ducke & Black, 1954),

essas somente se qualificariam como endêmicas no âmbito da região de floresta Amazônica.

Segundo vários relatos, as áreas de florestas com ocorrência de Nitissols - NITOSSOLOS nas terras firmes colinosas dos escudos (menores partes da unidade Uc, somente parcialmente delineada na Figura 1 como Uce) possuem uma composição extraordinária de espécies de árvores, com mais espécies de madeira leve (Ducke & Black, 1954). Os solos ricos em nutrientes das terras firmes colinosas sedimentares ocidentais, onde se pressupõe a influência de cinza vulcânica, podem apresentar também diversas espécies endêmicas. A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é especialmente freqüente nesta unidade, a não ser que a cobertura vegetal tenha se tornado uma floresta de bambu.

Até em áreas com uma cobertura aparentemente monótona de solos amarelados, ácidos e bem drenados (xanthic Ferralsols – LATOSSOLOS Xânticos) nas terras firmes colinosas sedimentares orientais (Uf) e no Planalto Amazônico (A), encontram-se diferenças fito-geográficas. Isto aplica-se, por exemplo, à ocorrência da espécie valiosa de árvore, o angelim-pedra (*Hymenolobium Petraeum*), que se encontra predominantemente em solos não compactados da argila-de-belterra, ou na sua forma original no Planalto Amazônico ou de forma remodelada, nas partes dos vales relictos. Outra espécie de madeira procurada é o pau-amarelo (*Euxilophora paraensis*), encontrado somente em solos com substrato de material plúntico ou concrecionário do tipo Ipixuna, revestido de material bauxítico, com ocorrências na área de Paragominas ao sul de Belém. Em ambos os casos, supõe-se que o fator determinante seja um micronutriente específico contido no substrato.

Uma comparação detalhada entre os dados referente aos solos individuais e as amostras do inventário florestal do RADAMBRASIL (1972-1981) demonstrariam, sem dúvida, mais essas relações.

2.4 Especiação e Refúgio

Conforme abordado no item 2.1, presume-se que em áreas com uma grande variação intra-específica e evolução de novas espécies, como forma da diversidade genética, que as condições climáticas, geomorfológicas e dos solos, no passado, não foram muito diferentes das de hoje. Acredita-se que grande parte da Região Amazônica de hoje, não possuíam cobertura florestal durante vários períodos do Terciário e do Pleistoceno Superior, devido a ocorrência de épocas de seca ou interpluviais, que podem ter coincidido com geleiras nas latitudes e altitudes maiores. As florestas possuíam condições de sobrevivência, somente em partes isoladas, formando áreas de refúgio, e nessas áreas a diversidade genética do tipo *allopatric* foi maior. Mapas sobre essas áreas amazônicas, onde as florestas tropicais úmidas provavelmente persistiram durante o último período glacial (Winconsin/Würm) foram publicadas por Brown & Ab'Saber (1979) e Brown (1987).

Atualmente, a validade da localização desses refúgios é muito debatida, por causa da veracidade e da desigualdade de dados geográficos sobre as espécies de fauna e flora (Whitmore & Prance, 1987; Colinvaux, 1987). De qualquer forma, do ponto de vista geomorfológico, localidades com uma alta diversidade genética podem, provavelmente, ser encontradas nos chapadões de areniscos (T), em trechos do Planalto Amazônico (A) e em áreas dos Vales Relictos (V).

Todas são paisagens estáveis, onde o desenvolvimento dos solos continuou ininterruptamente desde o Pleistoceno Inferior, resultando em solos bastante meteorizados e freqüentemente muito profundos.

As condições de solo extremas (muito arenoso, subsolo compactado, baixa atividade dos minerais-de-argila, forte acidez ou falta de minerais ainda meteorizáveis) dessas unidades geomorfológicas, especialmente dos chapadões e do Planalto Amazônico, podem ter representado um fator determinante para a sobrevivência in loco de um número de espécies florestais, especialmente durante as épocas áridas ocorridas em toda a região. Supõe-se que, com o passar do tempo, as espécies florestais moveram-se gradativamente para os declives e pés dos chapadões e para trechos do Planalto Amazônico. A ocorrência de condições de solo menos extremas, e provavelmente, mais chuva orográfica, podem ter possibilitado a sobrevivência das espécies. Essas, moveram-se novamente para os topos planos, quando as condições de pluviosidade voltaram para a região como um todo. Um caso apontado como uma especiação *parapatric*, podem ser os declives relativamente fortes e altos (100-200m) de trechos do planalto da bacia do Gurupi, na fronteira dos Estados do Pará e Maranhão, que é um desses refúgios sugeridos.

No caso dos vales relictos (V) na área fronteiriça ao sul da região Amazônica fito-geográfica, a vegetação florestal pode ter sido temporariamente retratada por trechos estreitos de galerias florestais nas partes mais baixas da paisagem, estável e de declives côncavos, onde o fornecimento contínuo de água subterrânea pode ter recompensado a seca sazonal.

Antes que mais conclusões definitivas podem ser apresentadas sobre a validade do conceito de refúgio e suas localizações precisas, serão necessários estudos multidisciplinares detalhados que estabeleçam a relação geográfica entre especiação, condições climáticas no passado, estabilidade de formas de paisagens e o desenvolvimento ininterrupto de solos durante sucessivos períodos geológicos.

B I B L I O G R A F I A C O N S U L T A D A

AB'SABER, A.N. 1967. *Problemas Geomorfológicos da Amazônia Brasileira*. Atas do Simpósio sobre biota amazônica. Rio de Janeiro, Vol. I:35-67.

ANDERSON, A. 1981. *White-sand vegetation of Brazilian Amazonia*. Biotropica 13(3): 199-210.

BALÉE, W. CAMPBELL, D.G. 1989. *Evidence for the successional status of liana forest (Xingu river basin, Amazonian Brazil)*. Biotropica (in press). See also: *New York Botanical Garden's periodical "Garden"* 11(6) of 1987.

BROWN, K.; AB'SABER, A. 1979. *Ice-age forest refuges and evolution in the Neotropics*. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo.

BROWN, K. 1987. *Soils and Vegetations*. In: T.C. Whitmore; G.T. Prance. Biogeography and Quaternary History in Tropical América. Clarendon Press, Oxford, p.20-44.

CAMARGO, M.N.1981. *Mapa de Solos do Brasil*, escala 1:5.000.000. EMBRAPA – SNLCS, Rio de Janeiro.

CAMPBELL, E.; FRAILEY, C.D.; ARELLANO, J.1985. *The Geology of the Rio Beni: further evidence for Holocene Flooding in Amazonia*. Contributions in Science 364, Natural History Museum of Los Angeles.

CARDOSO DA SILVA, T.; PEREIRA DE ARAUJO, A.; LUIZ DE CARVALHO, A. 1990. *Diagnóstico Geoambiental e Sócio-Econômico da Área de Influência da BR-364, trecho Porto Velho/Rio Branco*. PMACI-I report, IBGE, Rio de Janeiro.

CARNEIRO FILHO, A. 1991. *Contribution to the study of the forest-savanna mosaic in the area of Roraima, northern Amazon basin, Brazil*. Unpublished M.Sc. Thesis, ITC-Enschede, Holland.

CARNEIRO FILHO, A.; ZINCK, J.A. 1994. *Mapping paleo-aeolian sand cover formations in the northern Amazon basin from TM images*. ITC Journal, 1994:270-282.

COCHRANE, T.T.; SÁBCHES, K.G.; DE AZEVEDO, L.G.; PORRAS, J.A.; CARVER, C.L.; 1985. *Land in Tropical America*. Vol.1,2,3 (with land systems map of the central lowlands of tropical South America at scale 1:5.000.000). EMBRAPA-CPAC, Planaltina, D.F. Brasil, and CIAT, Cali, Colombia.

COLINVAUX, P. 1987. *Amazon Diversity in Light of the Paleoeological Record*. *Quaternary Science Reviews* 6:93-114.

CPRM. 1997. *Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Fronteiriça Brasil-Colômbia, Eixo Tabatinga-Apaporis*. Tome II. CPRM, Brasília/Manaus.

DUCKE, A.; BLACK, G.A. 1954. *Phytogeographical notes on the Brazilian Amazon*. *Anais Acad. Bras. de Ciências* 25(1): 1-46.

DUIVENVOORDEN, J.F.; LIPS, J.M. 1995. *A land-ecological study of soils, vegetation and plant diversity in Colombian Amazonia*. Tropenbos Series 12. Backhys Publishers, Leiden.

FAO. 1974. *FAO-Unesco Soil Map of the World 1:5.000.000*. Volume I, Legend. UNESCO, Paris.

FAO. 1988. *FAO-Unesco Soil Map of the World. Revised Legend*. FAO World Soil Resources Report 60. Rome.

FRAILEY, C.D.; LAVINA, E.L.; RANEY, A.; DE SOUZA FILHO, J.P. 1988. *A proposed Pleistocene/Holocene Lake in the Amazon Basin and its Significance to AMAZONIAN Geology and Biogeography*. Acta Amazonica 18(3/4): 119-143.

HUBER, O. 1982. *Esbozo de las Formaciones Vegetales del Territorio Federal Amazonas, Venezuela*. MARNR Serie Informe Técnico DGSIIA/IT/103, Caracas.

IRION, G. 1976. *Quaternary Sediments of the Upper Amazon Lowlands of Brazil*. Biogeographica 7:163-167.

JORDAN, C.F. (ed.) 1989. *An Amazonian Rain Forest; the structure and function of a nutrient-stressed ecosystem and the impact of slash-and-burn agriculture*. Man and the Biosphere Series 2, Unesco, Paris, pp.176.

JUNK, W.J. 1984. *Ecology of the Várzea, flood-plain of Amazonian white-water rivers*. In: H. Sioli, 1984. The Amazon, limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr.W.Junk Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster: 215-243.

KAUFFMAN, J.H.; PAREDES, G.; MARQUINA, R. 1998. *Suelos de la zona de Iquitos*. In: Kalliola, R.; Paitan, F. (eds.) Geoecología y desarrollo de la zona de Iquitos, Peru. (english version: Kauffman, J.H.; Paredes, G.; Marquina, R. 1998. Soils of the Iquitos region, Peru, soil variation and land management. Report 98/02. ISRIC, Wageningen).

- KING, L.C. 1957. *A Geomorfologia do Brasil Oriental*. Separata Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro (2): 147-265.
- KLAMMER, G. 1984. *The relief of the extra-Andean Amazon basin*. In: H. Sioli, 1984. *The Amazon; limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr.W.Junk Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster: 47-83.
- KHOBSI, J.; KROONENBERG, S.; FAIVRE, P.; WEEDA, A. 1980. *Aspectos geomorfológicos de la Amazonia y Orinoquia Comombiana*. Revista CIAF 5:97-126, Bogota.
- KREBS, CH.J. 1984. *Ecology; the experimental analysis of distribution and abundance*. Harper and Row, New York.
- KUBITZKI, K. 1989. *Amazonas-Tiefland und Guayana-Hochland; hisrorische und ökologische Aspekte ihrer Florentwicklung*. *Amazoniana* XI(1):1-12.
- MAGURRAN, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm Ltd., London.
- MARBUT, C.F. 1932. *Morphology of laterites*. Trans. Intern. Congr. Soil Science II, Moscow 1932. Vol.V:72-80.
- MCCONNELL, R.B.; MASSON-SMITH, D.; AND BERRANGE, J.P. 1969. *Geological and geophysical evidence of a rift valley in the Guiana shield*. *Geologie en Mijnbouw* 48(2):189-199.
- MCNEELY, J.A.; MILLER, K.R.; REID, W.V. 1990. *Conserving the world's biological diversity*. IUCN, Gland, Switzerland; WRI, Conservation Internacional, WWF-US and Worldbank, Washington, D.C.

MÖLLER, M.R.F.; KITAGAWA, Y. 1982. *Mineralogia de argilas em Cambissolos do Sudoeste da Amazônia brasileira*. Boletim de Pesquisa 34, EMBRAPA-CPATU, Belém, Brazil.

MURÇA-PIRES, J. 1978. The forest ecosystems of the Brazilian Amazon: description, functioning and research needs. In: *Tropical Forest Ecosystems. Natural Resources Research 14*, Unesco, Paris p607-627.

PRORADAM, 1979. *La Amazonia Colombiana y sus Recursos*. Proyecto Radagramerico del Amazonas, Bogotá, Vol.I-V.

RADAMBRASIL 1972-1981. *Levantamento de Recursos Naturais*, Vol.1-26. Ministério das Minas e Energia/IBGE, Rio de Janeiro.

RÄSÄNEN, M.E. 1991. *History of the fluvial and alluvial landscapes of the western Amazon andean forelands*. Annales Universitatis Turkuensis, Ser.A. 75. The Academic Bookstore, Helsinki.

RÄSÄNEN, M.E.; SALO, J.S.; KALLIOLA, R.J.1987. *Fluvial Perturbance in the Western Amazon River Basin: Regulation by long-term sub-Andean Tectonics*. Science 238: 1398-1401.

RUOKALAINEN, K.; TUOMISTA, H.; 1998. Vegetación natural de la zona de Iquitos. In: Kalliola, R. and Paitan, F., eds. *Geoecologia y desarrollo de la zona de Iquitos, Peru*.

SAI/IBGE, 1998. *Diagóstico Ambiental da Amazônia Legal: Mapa de Geologia 1:2.500.000*. IBGE, Rio de Janeiro.

SALO, J. RÄSÄNEN, M. 1989. Hierarchy of Landscape Patterns in Western Amzon. In: L.B. Holm-Nielsen, I.C. Nielsen and H. Balslev. *Tropical Forrests; Botanical dynamics, speciation and diversity*. Academic Press, London.

SOMBROEK, W.G. 1966. *Amazon Soils; a reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region*. Centre for Agricultural Publications and Documentation PUDOC, Wageningen, p. 302 + maps.

SOMBROEK, W.G. 1984. Soils of the Amazon Region. In: H.Sioli 1984. *The Amazon, limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr.W. Junk Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster:521-536.

SOMBROEK, W.G.; DURAN. A.; AVERBECK, H. 1970. *Soil studies in the Laguna Merin Basin (Uruguay-southeast Brazil)*. Technical Report LM-131, CLM/FAO, Treinta y Tres, Uruguay, p.300 + maps.

SUTMÖLLER, P.; VAHIA DE ABREU, A; VAN DER GRIFT, J.; SOMBROEK, W.G. 1966. *Mineral imbalances in cattle in the Amazon valley*. Communications 53, Royal Tropical Institute, Amsterdam.

WHITTAKER, R.H. 1977. *Evolution of species diversity in land communities*. Evolutionary Biology 10, Plenum, New York: 1-67.

ZEUNER, F.E. 1959. *The Pleistocene period. Its climate, chronology and faunal successions*. Hutchinson Scientific and Technical, London.

MODALIDADES ESPACIAIS E TEMPORAIS
DA PLUVIOSIDADE NA AMAZÔNIA:
CONSEQUÊNCIAS PARA O PLANEJAMENTO
DA AGRICULTURA E DA PROTEÇÃO
DAS FLORESTAS PRIMÁRIAS

R E S U M O

A pluviosidade anual na Região Amazônica, especialmente no que tange às suas modalidades espaciais e temporais (zonas e estações), é relativamente pouco conhecida. Os mapas de pluviosidade existentes baseiam-se em dados obtidos por estações meteorológicas completas, operadas por organizações nacionais, como o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, no Brasil, e ligadas à Organização Meteorológica Mundial - WMO.

Considerando a extensão geográfica da região, existem poucas estações que possuem registros de dados, ininterruptos e confiáveis, coletados nos últimos 30 anos ou mais, sendo que a maioria delas localiza-se ao longo dos grandes rios. Supõe-se que as condições de pluviosidade fora dessas áreas sejam substancialmente diferentes.

Com os dados registrados pela rede de estações pluviométricas simples, localizadas na parte brasileira da região, coletados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, desde 1970, foi realizada uma análise que permitiu a confecção de mapas mais detalhados sobre a pluviosidade anual e sobre a intensidade da estação seca, considerando taxas médias obtidas em meses consecutivos com menos de 100mm, 50mm, e 10mm de pluviosidade, respectivamente. Também foram obtidos alguns dados referentes às manifestações espaciais do El Niño na região.

As diferenças de pluviosidade nas diversas sub-regiões são grandes e a sua importância está sendo discutida quanto ao êxito ou fracasso de assentamentos agrícolas; quanto aos riscos de danos causados por incêndios de larga escala na vegetação florestal primária ainda existente;

quanto à relevância da área para a armazenagem e captação de CO_2 ; e quanto à probabilidade das florestas secundárias em áreas agrícolas abandonadas possuírem menos biomassa. Estão sendo discutidos, também, os efeitos das anomalias de pluviosidade causados, no passado, pelo El Niño sobre a biodiversidade das savanas naturais na região das florestas da Amazônia.

I N T R O D U Ç Ã O

O levantamento de dados referente à variação espacial das características climatológicas é um dos critérios de elaboração estabelecido nos trabalhos que vêm sendo realizados atualmente, como o Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Amazônica, no âmbito do Subprograma de Política de Recursos Naturais - SPRN, do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil - PP-G7, coordenado, no nível nacional, pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA.

Até recentemente, os únicos dados climatológicos disponíveis foram aqueles das estações meteorológicas completas da Região Amazônica, que possuem coletas contínuas de dados dos últimos 30 (trinta) anos das 50 (cinquenta) estações, sendo que 30 (trinta) estão na parte brasileira da região.

Essas estações localizam-se ao longo dos maiores rios da região e, portanto, os seus dados não são necessariamente representativos para as demais áreas.

Desde o início dos anos 1970, uma rede bem maior de estações pluviométricas simples, cerca de 800 (oitocentas), tem operado na parte brasileira da região. Esta rede é distribuída por toda a Região Amazônica Brasileira e possui um acervo valioso de informações adicionais, especialmente quanto à ausência ou intensidade de uma estação seca, informação essa decisória para o planejamento de assentamentos agrícolas, prevenção de incêndios florestais, manutenção da biomassa e da biodiversidade e para o Zoneamento Ecológico-Econômico em geral.

CAPÍTULO 1. MATERIAIS E MÉTODOS

A área estudada foi demarcada segundo considerações hidrográficas de vegetação e critérios legais abrange a Bacia Hidrográfica Amazônica rio abaixo da Cordilheira Andina, a Bacia Araguaia-Tocantins, as áreas menores limítrofes com o Oceano Atlântico, bem como os sistemas fluviais da Guiana e do sul da Venezuela. As vegetações consideradas no bioma da floresta tropical úmida amazônica incluem as edáficas interiores e as savanas. Legalmente, a área abrange os nove países do Tratado de Cooperação Amazônica e os nove Estados da Amazônia Legal Brasileira. A sua extensão é de 6.000.000 km², o que equivale à Europa sem a Rússia.

O mapa topográfico digitalizado da Amazônia Legal, escala 1:3.000.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, foi utilizado como base cartográfica. Os limites ao oeste e norte foram extraídos do mapa da Organização Meteorológica Mundial - WMO (1975). As áreas com altitude de mais de 500m foram indicadas com sombreamento nos mapas, levando em consideração várias fontes cartográficas. Os dados referentes à localização e os registros das estações meteorológicas mais antigas da Amazônia brasileira foram extraídos de diversas publicações do INMET. Os dados referentes às estações não brasileiras foram extraídos do banco de dados da WMO. O número total de estações é de aproximadamente 50 (cinquenta) ou 1 (uma) por 120.000 km².

Os dados da rede de estações pluviométricas simples da Amazônia brasileira, cerca de 800 (oitocentas), das quais aproximadamente 700 (setecentas) localizam-se em regiões de florestas, foram copiados de mapas da Rede Básica Hidrometeorológica Nacional, mantida pela ANEEL.

Esses se baseiam em registros de campo realizados por instituições como a Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais - CPRN e o Instituto de Desenvolvimento Econômico - Social do Estado do Pará - IDESP. O Departamento de Recursos Hídricos da ANEEL forneceu todos os registros pluviométricos informatizados, em base mensal, para toda a Amazônia brasileira. Informações sobre as redes pluviométricas existem nas partes da Amazônia dos países vizinhos, sendo que em densidade bem menor, com exceção da Guiana, cujos dados não foram disponibilizados ao autor.

Existem dois tipos de estações meteorológicas completamente equipadas: aquelas que possuem registros durante uma média de 30 anos, segundo os critérios “normais” da WMO (períodos integrais de 1930 a 1960 e 1960 a 1990), que foram indicados nos mapas através de grandes pontos pretos dentro de círculos; e as que não possuem registros suficientes de tempo ou confiabilidade para serem usados estatisticamente, foram indicados através de grandes pontos pretos sem círculos.

Os registros das estações pluviométricas simples são de qualidade variada. Alguns são de longa data, iniciaram em 1965 e continuaram ininterruptamente até 1998, outros foram recentemente iniciados ou abandonados 10 a 15 anos atrás. Os registros com menos de 10 anos, de menor confiabilidade, porque possuem lacunas mensais ou outras anomalias óbvias, são indicados através de pequenos pontos abertos, os outros através de pequenos pontos pretos.

O acesso restrito às áreas de maiores altitudes e paisagens acidentadas fronteiriças da Guiana e do Brasil e a ocorrência de reservas indígenas, muitas vezes coincidentes com a ocorrência de terrenos altos e inacessíveis, resultaram em diversas sub-áreas com pouco ou nenhum registro pluviométrico, como por exemplo, toda a área fronteiriça da Guiana com o norte do Pará e a zona interfluvial entre o Araguaia e os rios do Médio Xingu.

Devido à diversidade de fontes, as linhas de interpolação da pluviosidade anual e mensal foram manualmente desenhadas. De acordo com as hipóteses levantadas por Molion e Dallarosa (1987) considerou-se, em certo grau, a estrutura hidrográfica, já que ficou evidente uma maior pluviosidade anual longe dos principais rios, bem com uma estação seca menos acentuada perto dos rios. Essa *Manaus rule* ou brisa fluvial é definida como o efeito da circulação da brisa local no rio longe do corpo aquático, como consequência da formação de nuvens acima das áreas florestais no período da manhã. Aparentemente, esse fenômeno mantém-se até o Alto Solimões – Meio Amazonas – Baixo Amazonas, mas é substituído por uma regra contrastante dos corpos aquáticos muito largos na foz do sistema do rio, onde o oceano Atlântico tropical causa uma alta pluviosidade anual, mas uma estação seca acentuada. Esta é a chamada *Marajó rule* ou brisa do mar (Coehn *et al.*, 1989). Na parte sudeste da região com partes de maior altitude (acima de 500 m), a pluviosidade anual parece ser um pouco maior e a estação da seca menos acentuada. Esse fenômeno foi utilizado posteriormente para o aperfeiçoamento das linhas interpolares.

As linhas interpolares para as partes não brasileiras são meros ensaios. Baseiam-se nos mapas da WMO (1975) de pluviosidade anual, enquanto que para as características sazonais foi utilizado o período de tempo do crescimento de plantas (*LGP – Length-of-Growing Period*) da FAO (1996) e sua base de dados referente à pluviosidade mensal. Também foi considerado um estudo francês (Petit, 1978) sobre a geografia da pluviosidade na Guiana e no sul da Venezuela.

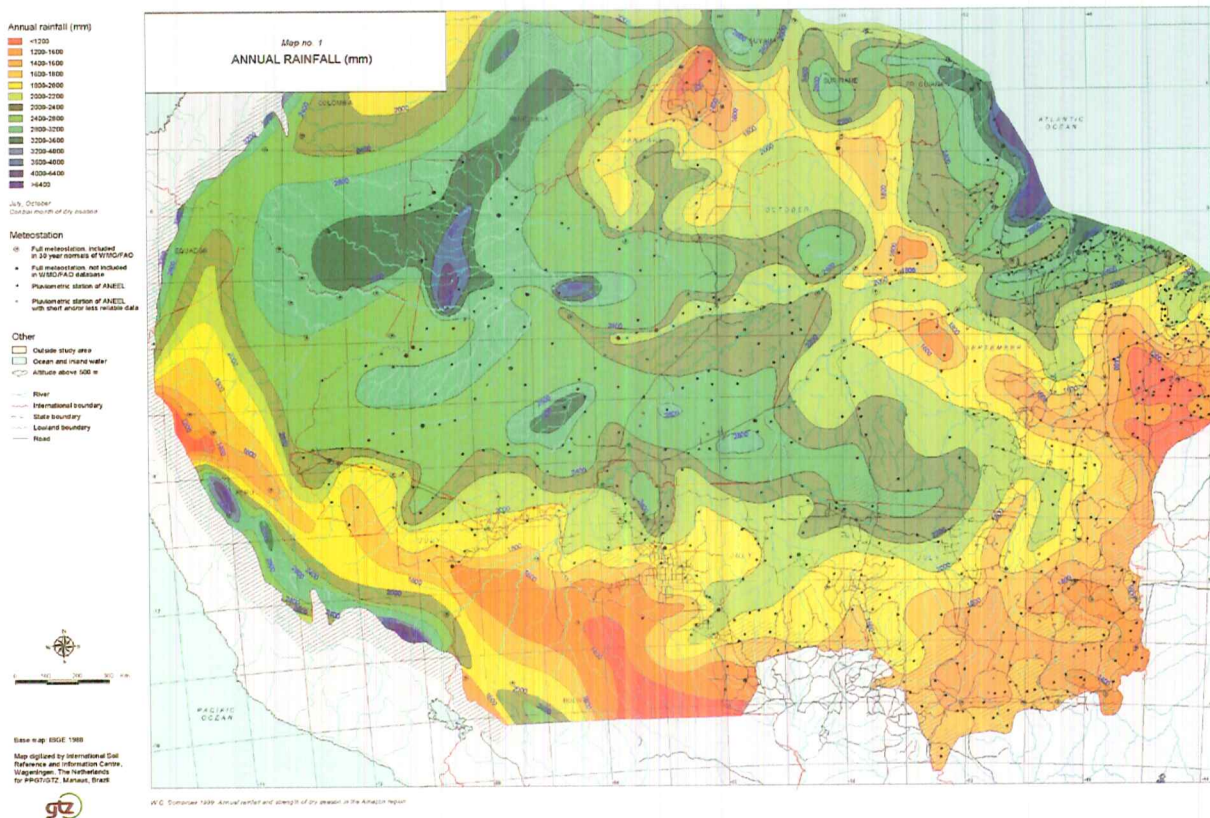
As linhas de interpolação não foram feitas de forma informatizada, porque a confiabilidade dos registros das estações e a influência dos grandes corpos hídricos ou formas orográficas são, até agora, vagas demais para serem enquadradas em classes padronizadas formais. Mesmo assim, para os especialistas em modelagem ecológica os quadros que resultam da presente interpolação manual representam, provavelmente,

um exercício relativamente simples. A conversão dos quadros para os esquemas climáticos de Köppen ou Thornthwaite também é possível.

Foram preparados quatro diferentes mapas digitalizados:

- **Mapa 1:** modalidades da pluviosidade anual, com isoietas do sistema da WMO: 4000, 3600, 3200, 2800, 2400, 2000, 1600, 1400, 1200 e 100mm, e 2 extra: 2200 e 1800mm.
- **Mapa 2:** o número de meses secos consecutivos, média dos anos de observação, com o critério de 100mm de pluviosidade mensal.
- **Mapa 3:** o número de meses secos consecutivos, média dos anos de observação, com o critério de 50mm de pluviosidade mensal.
- **Mapa 4:** o número de meses secos consecutivos, média dos anos de observação, com o critério de 10mm de pluviosidade mensal, implicando também em uma baixa umidade atmosférica durante os meses secos.

Nos quatro casos é indicado o mês em que a estação seca atingiu seu ápice, porém sem as linhas de separação.

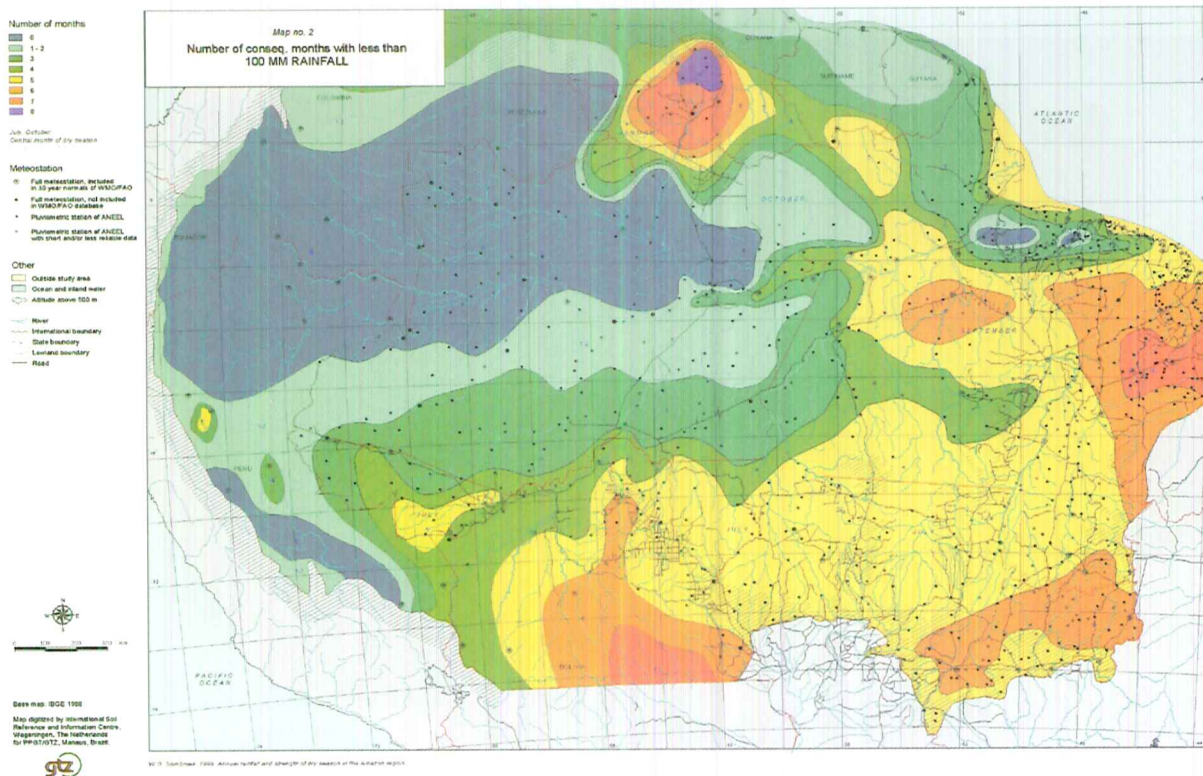


Mapa 1: Pluviosidade anual (mm).

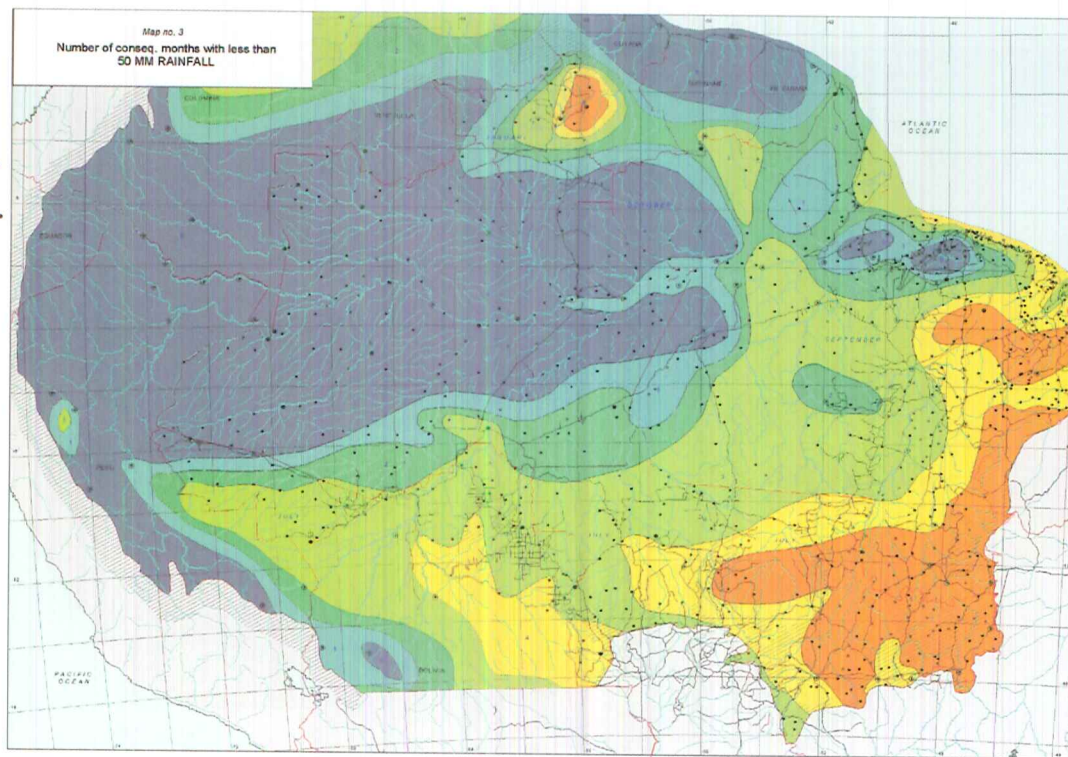
O conjunto dos três mapas (Mapas 2, 3 e 4), em relação às características da estação seca, é bastante incomum. Muitos estudos sobre o clima amazônico apresentam mapas com isoietas que representam meses selecionados de estiagem, por exemplo, julho e dezembro, mas há poucas informações referentes a todos os meses secos, especialmente no que tange aos dados quantitativos sobre a duração, intensidade e regularidade de toda a estação seca. O Mapa LGP da FAO mostra claramente a estação chuvosa, em vez da seca.

Um estudo recente de uma Organização não governamental – ONG, sobre os riscos de incêndios nas florestas (Nesptad, D.C. *et. Al.*, 1999), reconhece a importância da estação seca, mas não a demonstra na forma na forma de uma mapa, embora se refira a uma tentativa de um modelo de produção de ecossistemas da NASA-CASA (Potter *et. al.*, 1998). Caracterizando um mês seco como aquele com menos de 45mm de pluviosidade utilizou somente os registros normalizados de 1961 a 1990 das estações meteorológicas reconhecidas pela WMO para todo o Brasil. Há muitos anos, este autor realizou um ensaio (Sombroek, 1966), utilizando os critérios de 100mm/mês e 50mm/mês dos registros, disponíveis em 1959, de 25 estações meteorológicas (Guerra, 1959).

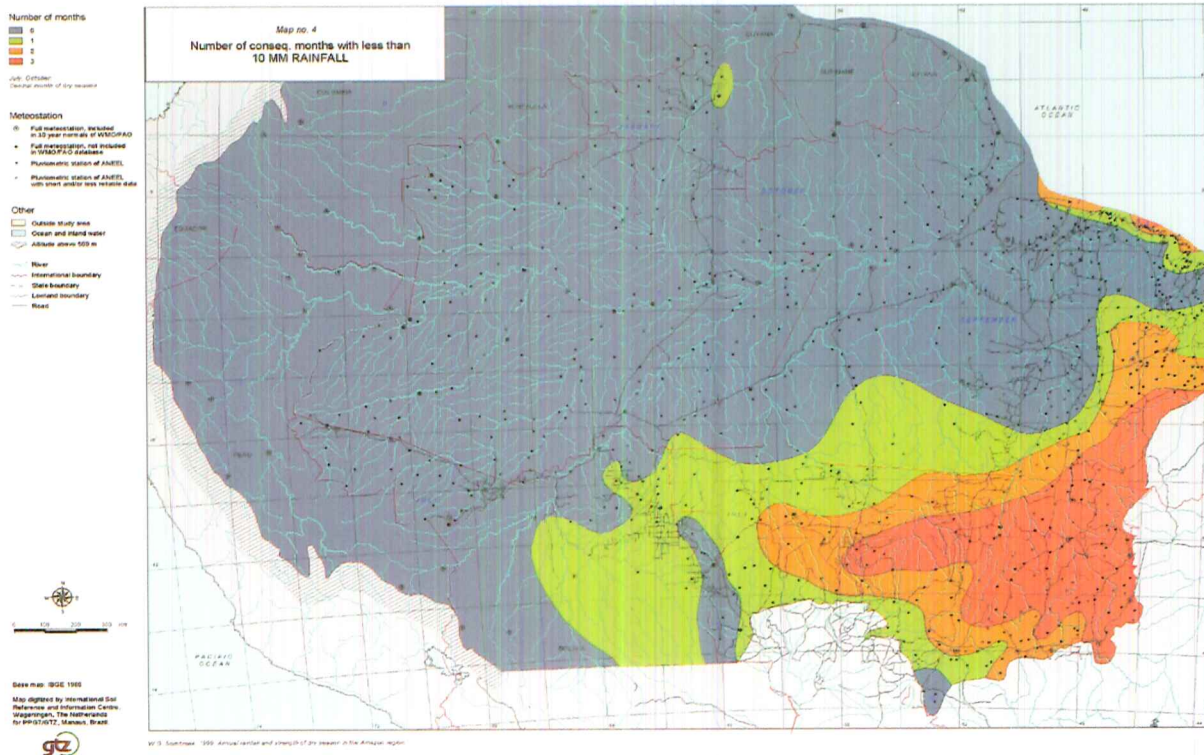
Foi dada especial atenção a ocorrência de anos de pluviosidade extremamente baixa, o que pode fornecer indicadores no que se refere à influência local do fenômeno El Niño. De qualquer forma, a curta duração de muitos dos registros pluviométricos, não permitiu a delineação de modalidades espaciais da seca com qualquer grau de exatidão em uma mapa adicional.



Mapa 2: Número de meses secos consecutivos, média dos anos de observação, com o critério de 100mm de pluviosidade mensal.



Mapa 3: Número de meses secos consecutivos, média dos anos de observação, com o critério de 50mm de pluviosidade mensal.



CAPÍTULO 2. RESULTADOS

O uso do banco de dados pluviométrico informatizado da ANEEL forneceu um quadro mais detalhado sobre a pluviosidade anual na Amazônia brasileira (Mapa1), em comparação aos mapas publicados (WMO, 1995; DNAEE, 1995 e SUDAM, 1984) e ao número de mapas tamanho-página em artigos revistos (Salati & Marques, 1983; Bastos, 1986; Dickinson, 1987; Fisch, 1988).

A pluviosidade anual fora das áreas ao longo dos principais rios é maior. O quadro espacial é complexo, não somente nas áreas divisoras entre os rios onde as irregularidades orográficas podem ter alguma influência, mas também nas áreas homogêneas de baixa altitude, por exemplo, a configuração da Ilha do Marajó na foz do Rio Amazonas, na qual encontrou-se um quadro bem mais complicado do que se presumia até hoje, menos pluviosidade na parte interiorana do oeste sem uma estação seca, contrastando com a alta pluviosidade nas suas costas, com uma estação seca acentuada.

As áreas com uma pluviosidade anual baixa (menos de 1.800mm) ocorrem em Roraima, na área do alto Trombetas-Jari no norte do Pará, no sudoeste de Altamira na Transamazônica e na área de Açailândia, fronteira Pará/Maranhão, constituindo um tipo de corredor seco. As informações de campo dessas áreas têm densidade relativamente baixa e, além disso, muitos dos seus registros encontram-se sem condições de serem analisados.

O prolongamento da seca na área de Paragominas-Açailândia, que apresenta um alto grau de desmatamento, desde o início dos anos 1960,

é notável. Durante as pesquisas de floresta e solo da FAO/SPVEA (1960/61), quando a cobertura de floresta primária ainda estava intacta, o alto volume de madeira por hectare e o baixo nível de saturação catiônica dos solos predominantes na área de Paragominas sugerem que, naquele tempo, a estação seca foi pouco acentuada. Somente a 200km ao sul da cidade de Paragominas, o volume de madeira diminui para 100m³/ha e a saturação de bases do solo chegou a níveis acima de 35%, indicando uma forte estação de seca. É possível que a intensidade da estação seca e a sua duração ficaram mais evidentes por causa do desmatamento em larga escala. Porém, os registros da estação meteorológica de Paragominas, cujas atividades iniciaram somente em 1965 e que se tornou inoperante, desde 1995, por causa da falta de interesse do município, entretanto, não demonstraram uma tendência tão negativa.

Uma tendência de diminuição de pluviosidade na região após o desmatamento em larga escala pode ser verificado com mais facilidade no norte de Mato Grosso ou no sul de Rondônia, onde os registros pluviométricos são de mais longa data. Um indicador indireto do efeito negativo devido ao desmatamento em larga escala, influenciando na qualidade e regularidade da pluviosidade nas sub-regiões, é dado pela existência de dois lóbulos de seca na área Barcelos – Rio Branco, no sul do Estado de Roraima. A abundância de savanas edáficas de areia branca ali, pode implicar numa evapotranspiração reduzida, ou seja, uma diminuição da formação de nuvens na estação da seca.

A avaliação dos 800 registros pluviométricos individuais resultantes das análises dos dados das estações meteorológicas completas, as primeiras datadas de 1910, bem como a avaliação das oscilações no regime de descargas no sistema dos Rios Negro – Solimões de Manaus, medido desde 1902, forneceram os seguintes indicadores de ocorrências do El Niño desde 1900:

- **Secas fracas em:** 1903 (Manaus) - 1911 (Manaus), 1930 (Parintins), 1933 (Manaus), 1939 - 40 (Barcelos), 1941 - 42 (Taperinha), 1951 - 52 (Porto Velho, Taperinha), 1955 (Manaus), 1963 (Porto Velho, Taperinha), 1980 - 81 (Tapauá, São Félix do Araguaia), 1987 - 88 (Açailândia), 1995 - 96 (Apuí);
- **Secas moderadas em:** 1909 (Sena Madureira, Manaus), 1915 - 16 (Sena Madureira, Taperinha, Manaus), 1936 (Manicoré, Manaus), 1957 - 58 (Itacoatiara, Parintins), 1967 - 87 (Coarí, Humaitá, Manaus), 1971 - 72 (Boa vista, Porto Velho, Tarauacá), 1976 (Rio Branco), 1991 - 92 (Prainha, Humaitá, Coarí, Barcelos);
- **Secas fortes em:** 1906 (Manaus), 1925 - 27 (fonte Boa, Erunepé, São Gabriel de Cachoeira), 1948 (Manaus), 1983 (toda a região), 1997 - 98 (toda a região).

O banco de dados da ANEEL também forneceu alguma informação sobre as variações espaciais da intensidade do fenômeno El Niño na Região Amazônica. A zona central-norte aparentemente sofreu efeitos mais fortes do fenômeno do que a zona sul. No norte, a estação seca inicia-se gradativamente e possui uma duração irregular; em alguns anos foram constatados um ou mais meses completamente secos fora do período médio de longo prazo, que possui seu ápice no mês de janeiro. No sul, a estação seca começa de forma bastante regular e abrupta, com o seu ápice em julho - agosto (sudoeste) ou setembro (sudeste). A estação seca na parte leste da Amazônia brasileira, perto da costa oceânica, transita entre os dois sistemas, com o seu ápice em outubro.

CAPÍTULO 3: CONSEQUÊNCIAS PARA O ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO

O novo conjunto de mapas de pluviosidade pode ser utilizado de diferentes formas. Na forma vetorizada, os mapas têm aplicações em nível regional, estadual e municipal. Na forma digitalizada e gradeada, podem ser úteis na modelagem de processos biosféricos de diferentes cenários de ocupação humana e das mudanças climáticas para a região como um todo. As grades com 30' x 30' latitude/longitude para modelos globais, ou com 5' x 5' *pixels* para modelos, em nível de Amazônia, podem ser combinar, em uma legenda compositiva, com os dados dos Mapas 2, 3 e 4.

O mapa de pluviosidade anual (Mapa 1) é relevante para estudos hidrológicos e fornece informações, juntamente com o conjunto de dados fluviométricos existentes na ANEEL, sobre o fluxo mínimo, médio e máximo de água nas bacias secundárias. São úteis para o planejamento da construção de estradas, tráfegos nos rios, reposição do lençol freático, controle da poluição da água, fornecimento de água em centros urbanos e saneamento, geração de energia hidroelétrica, etc.

Os mapas sobre estações secas (Mapas 2, 3 e 4) são mais importantes para estudos agrícolas e ecológicos.

A seguir, serão discutidos a viabilidade e a sustentabilidade de assentamentos agrários, o crescimento da biomassa de florestas, os riscos de queimadas, as chances de recuperação da floresta, o sequestro de carbono atmosférico, o estoque de água nos solos e os efeitos do El Niño em áreas de tensão ecológica.

3.1 Assentamentos Agrícolas

A construção de estradas de acesso às áreas rurais e sua manutenção tornam-se menos problemáticas quando existe uma estação seca distinta. Isso também se aplica à infra-estrutura de assentamentos, sejam esses destinados à produção agrícola, mineração e extração florestal madeireira ou não-madeireira.

A saúde (humana e animal) é favorecida pelo período seco, restringindo a proliferação de doenças endêmicas e a multiplicação dos seus vetores. Os efeitos da estação seca, quanto às práticas de limpeza da terra e o crescimento de grãos, são ainda mais significantes para a viabilização e a sustentabilidade de assentamentos agrícolas.

Na ausência de uma estação seca (Mapa 2, as zonas dos meses secos 0 e 1, abaixo do critério mensal de menos de 100mm/mês), a queima da vegetação florestal primária e secundária, após o corte das árvores, permanece incompleta. Dessa forma, a nova superfície de terra limpa torna-se menos adequada para a plantação de grãos ou para a implementação de pastagens.

As culturas como arroz, milho e feijão requerem uma estação seca para a amadurecimento e secagem de seus grãos, bem com para evitar o seu apodrecimento. A produção desses grãos, de qualquer forma, é menos rentável, porque a cobertura de nuvens, durante quase todo ano, implica em intensidade de luz mais fraca e numa fotossíntese reduzida. Isso se reflete também nos mapas com isolinea de 365+ dias LGP FAO (1978 e 1985).

As restrições acima mencionadas são ainda mais acentuadas em culturas de soja. Essa planta é vulnerável a uma série de doenças e pragas no seu estágio vegetativo, quando a umidade do ar na superfície do solo permanece alta durante boa parte do dia, como é o caso na área de savana edáfica de Humaitá. O uso de máquinas pesadas, necessário para a produção de soja em escala comercial, somente é viável onde a superfície do solo é relativamente seca nos períodos de plantio e colheita. Somente as zonas 1, 2 e 3 do Mapa 4 são adequadas para a cultura mecanizada de soja. Segundo a FAO (1978) a soja precisa para o seu crescimento adequado, um período de crescimento de somente 120 a 300 dias.

As culturas adequadas para regiões de umidade contínua são a mandioca, bananas e algumas árvores frutíferas (FAO, 1998; Smith, N.J.H. *et al.*, 1995).

A pecuária, para uso doméstico e comercial, é problemática em condições muito chuvosas pela abundância de parasitas e insetos sanguessugas (OIE, 2000), pelos desequilíbrios nutritivos do solo (Suttmöller, P. *et al.*, 1963) e pela longa distância a mercados e centros de comercialização. Vale mencionar, que as zonas 0 e 1-2 do Mapa 2 coincidem com a menor ausência de grandes assentamentos agrícolas sustentáveis. Muitos assentamentos recentes nessas zonas, sejam governamentais ou espontâneos, foram abandonados. Isso não é claramente indicado nos mapas de sensoriamento remoto de áreas desmatadas, porque normalmente não se distingue entre assentamentos ativos e aqueles já abandonados.

A densidade de faixas de terrenos de solo terra-preta-do-índio (Sombroek, W.G., 1996) e registros históricos indicam que as populações ameríndias também preferiam áreas de estações secas,

senal que as condições de solo e a estrutura fluvial demonstravam-se especialmente favoráveis.

As áreas maiores com desmatamento ativo que visam a implementação de empreendimentos agrícolas e assentamentos rurais coincidem com a zona 5 do Mapa 2 (critério de 100mm/mês), conforme confirmação das imagens do satélite Landsat-Thematic Mapper, pelas áreas antrópicas indicadas no mapa da Amazônia Legal (IBGE, 1995) e por mapas atuais da rede de estradas de abastecimento. Aparentemente, essas são áreas com uma ou duas colheitas certas por ano e onde algumas culturas perenes podem ser plantadas com êxito.

No que tange às culturas comerciáveis/rentáveis, somente a palmeira de dendê cresce bem em zonas de permanente umidade, conforme se comprova através das várias plantações bem sucedidas perto de Belém/PA. Nesse sentido, a falta de incentivos governamentais representa um impedimento para a implementação de empreendimentos sustentáveis de cultivo de dendê no Estado do Amazonas (Tefé - Distrito agropecuário ao norte de Manaus). As plantações de borracha fracassaram em quase toda a região por causa da sua vulnerabilidade ao fungo *Dothidella ulei* ("mal-das-folhas"). Um estudo da FAO/PNUD realizado pelo Instituto de Agronomia de Campinas (IAC, 1991) concluiu que somente áreas com uma estação seca distinta e temporadas de baixa temperatura são nichos seguros para plantações de borracha, sendo assim, as áreas de maior altitude ao sul da região indicadas com sombreamento nos mapas podem ser de potencial interesse.

3.2 Volume de Madeira, Produtividade de Biomassa e Estoque de Carbono

Antigos inventários de solo e floresta da FAO (Sombroek, 1966; Heinsdijk & Miranda, 1963), recentes inventários multidisciplinares do RADAMBRASIL (1972/1978) e sua generalização espacial (Brown & Lugo, 1992) indicam que os maiores volumes bruto de madeira e valores da biomassa da superfície (maiores que 200m³ de madeira/ha, resultando em mais que 100 toneladas de carbono por hectare) ocorrem em áreas onde a pluviosidade anual é cerca de 2.000mm e onde consta uma estação seca de 2 a 3 meses (critério de 50mm) e 4 a 5 meses (critério de 100mm), respectivamente. Essas também são as áreas preferencialmente utilizadas para os assentamentos, especialmente onde as condições de solo são favoráveis, como é o caso das terras roxas, derivadas de rochas diabásicas ou calcário perto de Altamira e dos solos de alta saturação de base em Rondônia. A fim de preservar as faixas florestais remanescentes, nessas áreas da criação de locais de referência ecológica permanentes, deverá ser dada prioridade a uma política de conservação seletiva das florestas tropicais.

Aparentemente, o crescimento florestal se beneficia de um período curto de seca, possivelmente por causa dos danos menores de doenças e pragas. Provavelmente, é mais importante a baixa interceptação da luz do sol por nuvens, um fator essencial para o crescimento de plantas, em comparação com as áreas quase continuamente nebulosas. Um ensaio referente à rede de produção primária de biomassa (Net Primary Production of Biomass – NPP) baseado na média da cobertura de nuvens detectadas por sensoriamento remoto,

conforme o banco de dados NDVI-AVHRR da NASA, forneceu valores de NPP de 1.000 – 1.200 g C/m²/ano para a zona continuamente úmida *versus* 1.200 –1.400 g C/m²/ano para outras partes da região (Potter et. al., 1988).

Os volumes de madeira e as chances da recuperação bio-florestal são menores, quando as condições do solo nas zonas de seca curta são marginais (solos rasos, solos compactos, solos expansivos ou solos extremamente arenosos). Sob essas condições, distúrbios antrópicos, nos dias de hoje, assim como na época das populações pré-colombianas, levaram ao surgimento das florestas de bambu (bambuzais do Acre e partes da Amazônia) (Nelson & Irmão, 1988); florestas com muitas lianas (cipoais no Baixo Xingu); florestas com muitas palmeiras (babaçuais do Médio Xingu), ou até savana arbustiva (áreas de campina perto de Santarém e Manaus). Todos são tipos de vegetação diferentes, com estoques de carbono mais baixos e, muitas vezes, biodiversidade menor do que na alta floresta densa.

3.3 Incêndios em Florestas e a Recuperação Florestal

Os incêndios florestais de larga extensão ocorridos no Estado de Roraima em 1997/98 demonstraram, no que tange aos riscos de fogo nas florestas, que existe uma grande variação espacial que pode ser causada por queimadas intencionais ou acidentais. Os riscos de fogo são baixos, se a extração de madeira é realizada de forma seletiva de espécies preciosas raras, ou com um cuidadoso planejamento de uma extração sustentável a longo prazo, na faixa de 5-30 m³ por ciclo (10-20 anos) conforme a capacidade suporte levantada nos inventários. Se volumes maiores de madeira são cortados e rebocados,

os materiais remanescentes podem se tornar uma fonte de resíduos secos facilmente inflamáveis, aumentada pela palha/folhagem seca de espécies de folhas caducas, especialmente onde o período de estiagem for acentuado. Os incêndios florestais rasteiros, muitas vezes, não são detectados pelo sensoriamento remoto por radar, podendo causar danos consideráveis na diversidade da flora e da fauna (Nepstad *et. al.*, 1999).

As chances de ocorrência de incêndios florestais extensos e acidentais são maiores nas zonas 5 e 6 do Mapa 2 (100mm) e nas zonas 3 e 4 do Mapa 3 (50mm) As variações nas condições dos solos, especialmente quanto a sua capacidade de armazenagem de água, contribuem para essas modificações.

Presume-se que, em geral, a regeneração das florestas tropicais úmidas completamente queimadas para readquirir a sua estrutura e as suas espécies originais demora de 300 a 1.000 anos (Terborch, 1992). De qualquer forma, a recuperação de uma floresta alta, fechada ou aberta ainda está longe de ser comprovada, conforme demonstrado através de diversos estudos de campo (Nepstad *et. al.*, 1995). Se existir um período longo de estiagem e as condições físicas do solo forem pobres, a recuperação é improvável. As zonas 1, 2 e 3 do Mapa 4 (critério de 10mm/mês), com estações de seca muito acentuadas, são áreas onde a floresta primária, agora semi-caducifolia, demonstra ter havido, antigamente, condições climáticas mais úmidas. Se sujeitas às práticas de queimadas para o cultivo de soja ou agropecuária de larga escala, nunca mais irão se recompor da mesma forma. Entretanto, existem, nessas zonas, várias grandes reservas indígenas, fator que talvez possa protegê-las do desmatamento total.

3.4 Potencial de Seqüestro de Carbono

O ecossistema da floresta amazônica é um grande estoque de carbono. Até recentemente presumia-se que nas florestas maduras o insumo de CO_2 atmosférico diurno, pelo processo de assimilação e fotossíntese, equilibrava-se por uma emissão de CO_2 de igual intensidade durante a respiração noturna das folhagens, bem como pela respiração heterotrófica dos solos. Somente a jovem floresta secundária contribuiria para a redução da concentração de CO_2 na atmosfera. Entretanto, estudos realizados em Rondônia - Projeto ABRAÇOS na área de Ji-Paraná (Grace, J. *et al.*, 1996) e ao norte de Manaus - Projeto BIONTE (Higushi, N. *et al.*, 1997), nos quais utilizaram-se de técnicas de medição do fluxo de gases no dossel de florestas antigas e, em parte, também no crescimento anual dos troncos de árvores, sugeriram algo diferente nos últimos 15 anos. Aparentemente, o aumento recente da concentração de CO_2 na atmosfera estimula o crescimento de árvores, resultando numa captura, chamada de seqüestro ou sumidora de CO_2 pelo ecossistema da floresta. No caso de Rondônia, a quantidade seqüestrada foi de 1 – 3 toneladas de Carbono/hectare/ano, e em Manaus de 5 – 7 toneladas de Carbono/hectare/ano (Grace, J. *et al.*, 1999). A captação confere com atuais considerações teóricas e medições em plantas em regiões temperadas do tipo C3, as quais pertencem também quase todas as espécies de árvores tropicais, e é conhecida como efeito fertilizador do CO_2 . Aparentemente, até mesmo no ambiente de floresta tropical úmida, com sua baixa fertilidade química dos solos, a concentração do CO_2 atmosférico foi um fator limitante do crescimento até algumas décadas atrás. Desde 1977, a modificação cumulativa medida na biomassa vegetal da Região Amazônica aponta na mesma direção (Phillips, O. L. *et al.*, 1988).

A consistência espacial e temporal desse fenômeno de fertilização será pesquisada no âmbito do novo programa de pesquisa interdisciplinar LBA, 1996. Trata-se de um programa de cooperação entre instituições brasileiras, coordenado pelo INPE (São Paulo) e INPA (Manaus), com a participação de um consórcio institucional Euro-Americano, fundado pela NASA e a Comunidade Européia, respectivamente. Locais adicionais de medição dos fluxos de CO_2 são Caxiuanã e Santarém, ambos no Estado do Pará, e, possivelmente, Tefé e São Gabriel do Rio Negro, no Estado do Amazonas.

Ainda é discutível, se a longo prazo o crescimento extra/adicional prosseguirá como uma maior biomassa em cima do solo. É mais provável que boa parte da biomassa maior gerada, se consolidará no solo florestal, na forma de material orgânico, húmus, de natureza estável. Atualmente, o material orgânico do solo já representa um estoque de carbono significativo, quase igual ao da quantidade estocada na vegetação (Moraes, 1995; Sombroek, 1992 e 1999; Batjes, 1999). O crescimento das árvores, acima e abaixo da superfície, implica numa maturidade e num envelhecimento precoce, ou seja, uma maior intensidade de queda de árvores, associada a uma maior inserção de material orgânico enraizável no solo.

Há indicadores que o funcionamento da floresta primária amazônica como um mecanismo de sequestro de carbono é interrompido durante os anos de seca, coincidindo com o fenômeno El Niño. Presume-se, nesses anos, uma reserva de umidade no solo insuficiente (Tian *et. al.*, 1998), quando a umidade, mais do que a concentração de CO_2 , torna-se um fator limitante de crescimento. Contrariamente, a produtividade líquida nas áreas normalmente sem qualquer estação seca,

como, por exemplo, ao oeste de Manaus, poderia se beneficiar de um ano com o fenômeno El Niño, por causa da disponibilidade temporária de mais luz solar para a fotossíntese.

3.5 O Estoque de Água no Solo

No início da estação seca, o crescimento de plantas pode continuar por algum tempo de forma regular, por causa da reserva de umidade no solo enraizável. A capacidade de estocagem de umidade pelas plantas (PAM, umidade numa escala de sucção de p.F. 2.0-4.2) nos vários solos da Amazônia é pouco quantificada. Há uma carência aguda de medições diretas das características de sucção da umidade do solo em exemplares não perturbados, bem como da densidade aparente do solo. Os poucos dados existentes sobre solos brasileiros foram resumidos por Tomasella & Hodnett, 1988. Cerca de 30 dos perfis com dados de p.F. são da própria Região Amazônica, principalmente do Estado de Pará e dos arredores de Manaus, onde LATOSSOLOS Amarelos predominam. Não existem perfis dos solos com dados sobre o p.F. das áreas de escudos cristalinos Brasileiros e Guianenses, nem da área bastante vasta (700.000 km²) ao oeste e sudoeste de Manaus que possui sedimentos arenosos finos a siltosos, de formação Iça, da época do Pleistoceno Superior e como principal solo o ARGISSOLO Plíntico (Sombroek, 2000). Os LATOSSOLOS Amarelos são profundos, mais conhecidos por possuírem baixos valores de PAM, viz. 5 – 10 vol. % nas partes centrais e mais baixas dos perfis, mesmo quando muito argilosos. Hidrologicamente, atuam como os solos arenosos das regiões temperadas. Solos menos meteorizados da Amazônia e das demais regiões brasileiras, como ARGISSOLOS E CAMBISSOLOS possuem valores substancialmente mais altos, viz. 10 – 15 vol. %, e ainda até mais nas camadas de superfície quando rico em húmus, embora sejam menos profundos.

A comparação de dados analíticos entre amostras de solos perturbados de zonas temperadas com textura igual, mas mineralogicamente diferentes, forneceu valores de PAM altos demais. Para chegar a estimativas similares com os poucos dados de p.F. existentes, requer-se a elaboração de uma equação especial. O problema da superestimação também é apontado no recente estudo de uma ONG sobre os riscos de desmatamento e incêndios. No estudo, não pôde ser utilizado o banco de dados da RADAMBRASIL de 1147 perfis de solos analisados da Amazônia Brasileira para uma comparação com dados de texturas de solos de zonas temperadas, porque nenhum daqueles perfis possui dados referentes ao p.F. ou à densidade aparente. Um problema adicional é a relevância do valor máximo de sucção de umidade do solo no ambiente de floresta tropical úmida. O valor de p.F. 4.2 (15 atm. sucção), utilizado internacionalmente, foi estabelecido como o ponto de murchamento para as plantas úteis de zonas temperadas, como o girassol e o trigo. É possível que as espécies da floresta tropical tenham menos força de sucção, mas isso nunca foi pesquisado, nem em campo, nem em câmaras de crescimento de laboratório.

No que tange à fotossíntese máxima e a circulação de CO_2 , os estômatos das folhas deveriam permanecer completamente abertos durante o período diurno. Para tanto, a umidade imediatamente disponível (valores de p.F. 3.5 menos p.F. 2.0), que pode representar somente dois terços do valor PAM, seria a quantidade realmente importante para a modelação da captação de carbono atmosférico da floresta.

A disponibilidade total de umidade para o crescimento ininterrupto de plantas é uma combinação do valor PAM por horizonte individual do solo e a profundidade total do solo com raízes. A profundidade total das raízes varia muito na Região Amazônica, podendo ser

extremamente profundo (5-10m) nos LATOSSOLOS Amarelos livremente drenados (Nesptad, 1994 & Jipp, 1998), e bastante raso (50-100 cm) em muitos dos ARGISSOLOS Plínticos ao sudoeste de Manaus com seu volume de madeira relativamente baixo (Sombroek, 1999). Em intervalos semanais e semi-semanais durante 2 a 4 anos, o projeto ABRAÇOS monitorou o conteúdo de umidade no solo até uma profundidade de 3.6m debaixo da floresta e da pastagem plantada em três locais (ao norte de Manaus; Ji-Paraná, em Rondônia e Marabá no sul do Estado do Pará) (Hodnett *et. al.*, 1996). As abstrações da umidade do solo em todas as suas profundezas foram bem maiores debaixo da floresta do que debaixo da pastagem e até do substrato rochoso em desgaste. Por horizonte houve uma abstração bem menor nos latossólicos, do que nos outros dois solos, devido aos valores PAM presumidamente mais baixos (não foram estabelecidas curvas de p.F.).

Pode-se concluir que, se ocorre uma estação seca distinta, as florestas em solos latossólicos precisam criar raízes mais profundas para assegurar um fornecimento de umidade do solo suficiente para um crescimento ininterrupto da floresta do que aquelas em solos menos meteorizado. Em geral, a representatividade dos perfis de solos analisados é bastante significativa para as unidades de paisagem, mais do que análises estatísticas indiscriminadas de muitas amostras, por isso, deveriam ser mais utilizadas para chegar a estimativas espaciais melhoradas sobre as profundidades efetivas e as capacidades de armazenagem de umidade para o crescimento da floresta, incluindo uma validação através de medições em amostras não perturbadas (Hodnett *et. al.*, 1996).

3.6 El Niño e Biodiversidade Ecotonal

O período de 1925/27 destaca-se no decorrer das ocorrências conhecidas do El Niño na Amazônia Brasileira. Na área da bacia do Rio Negro ocorreu uma seca de mais de um ano, com muitos incêndios florestais e níveis extremamente baixos de água nos rios que até impediram o tráfego fluvial. Esse evento é bem documentado através de um relato local de um bispo salesiano ao Vaticano (Marchesi, 1975).

Anteriormente, eventos muito fortes do El Niño, comparáveis com aquele de 1925/1927, podem ter ocorridos também, talvez em intervalos de 70 anos. Há relatos (Smith *et. al.*, 1995) de secas muito fortes, ocorridas em 1860 (área Purus) e em 1774 (área do Rio Negro). Esses eventos devem ter tido efeitos acentuados sobre as situações ecotonais nas margens do bioma florestal e nas áreas de **tensão ecológica dentro do bioma**. O último, pode ter demonstrado ser o caso nas áreas com solos muito arenosos ou mal drenados, que são particularmente freqüentes no Estado do Amazonas (campos, campinas, campinaranas, caatinga amazônica). Nesses anos, excepcionalmente secos, (Anderson, 1981), a sua biodiversidade específica, incluindo endemismo e sua estrutura vegetal, ambos não bem estudados até hoje, pode ter sofrido um forte impacto. Os efeitos fisiológicos da seca podem ter sido aumentados por fogos acidentais ou os intencionalmente colocados por índios ou colonos antigos, e resultaram em claras linhas de separação da floresta em volta.

Os estudos realizados sobre as ocorrências de carvão vegetal na área de São Carlos do Rio Negro concluíram que a 250 a 400 anos atrás devem ter ocorridos fogos em larga escala. Os efeitos maiores podem ter sido causados pelos “Mega El Niño’s” pré-históricos de longa duração,

reconhecidos por Meggers (1984 e 1994), com base nos estudos de seqüências de pólen e nas variações do nível dos rios na parte norte da região (onde encontram-se locais com pedras amoladas por índios, situados embaixo do nível de água atual), essa pesquisadora identificou a ocorrência de períodos secos por volta dos anos 400, 700, 1.200 e 1.500 a.c. A ocorrência de 3 níveis de terraços baixos da formação Iça, no oeste do Estado do Amazonas (Sombroek, 2000), sugere que ali também havia épocas com pluviosidade menor e/ou estações de seca mais acentuadas antes de 1.500 a.c., seguidas de um período continuamente mais úmido entre 5.000 e 12.000 a.c. (Dickinson et. al., 1987).

Um exemplo para as claras linhas de separação causadas pelo fogo é a grande savana aberta cercada por floresta no sudeste do Amazonas, ao sul da Transamazônica. É a área, na qual supõe-se a origem do grupo lingüístico Tupi dos Ameríndios (Heckenberger *et. al.*, 1998). Durante as épocas antigas de seca, esses campos de *Tenharim* podem ter passados por uma extensa degradação antropogênica da sua vegetação já frágil, acompanhada por erosões eólicas e aquáticas. Até hoje existem dunas baixas e os produtos da erosão aquática aparentemente encheram os leitos dos rios menores, bloqueando a sua função de descarga. Hoje em dia, esses leitos antigos constituem faixas alongadas de vegetação de savana arbustiva com solos de areia branca (Campinas de Manicoré) (Sombroek, 1996 e 1999).

Uma grande área contínua de savana arbustiva ou vegetação de savana com floresta (campina e campinarana) ocorre ao noroeste de Barcelos na região do Rio Negro. Nas imagens do satélite Landsat-TM há claros traços de dunas antigas, dos tipos longitudinal e barcaças, que devem ter sido desenvolvidas de solos de areia grossa, durante o período seco nas épocas do Pleistoceno Superior ou do início do Holoceno.

CAPÍTULO 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A interpolação dos registros de estações pluviométricas simples, que se situam longe dos principais rios da Região Amazônica, é muito útil para a avaliação e o mapeamento da variação espacial da pluviosidade anual, da duração, da intensidade e da regularidade da estação seca. As características da estação seca são importantes para o sucesso ou fracasso de assentamentos agrícolas, para variação da biomassa vegetal, para o risco de incêndios florestais e para as chances de regeneração da floresta. Também fornecem informação sobre a extensão da captação de CO₂ na floresta primária, bem como a variação espacial e a intensidade de anomalias secas causadas pelo El Niño. Todos esses fatores precisam ser levados em consideração nos atuais esforços que se empreendem para estabelecer políticas nacionais e estaduais de proteção às florestas, harmonizadas e compatibilizadas com o assentamento rural sustentável.

Muitos dos registros pluviométricos na parte brasileira da região ficaram recentemente inoperantes. A fim de viabilizar e beneficiar o zoneamento agro-ecológico, florestal-ecológico e sócio-econômico em nível municipal e sub-regional, recomenda-se que esta situação seja revertida o quanto antes, e que estações adicionais sejam implementadas no corredor seco da parte leste da região. Ao mesmo tempo, deveriam ser implementadas e mantidas diversas estações meteorológicas integralmente automatizadas e ligadas a satélites em áreas situadas longe dos principais rios, afim de confirmar e detalhar as análises das informações obtidas pela rede pluviométrica.

Há uma grande necessidade em correlacionar os dados referentes à pluviosidade com os parâmetros-chave da física dos solos,

com especial ênfase na medição da profundidade potencial de enraizamento, da densidade do volume e da capacidade líquida de armazenagem de umidade do solo, em condições atuais de campo e análises laboratoriais de amostras não perturbadas. Essas propriedades também precisam ser determinadas no que se refere ao subsolo mais profundo e no substrato em meteorização, especialmente em áreas com longos períodos de seca. O mapa resultante sobre a armazenagem de umidade nos solos amazônicos deverá ser correlacionado com os 3 mapas sobre as estações secas (Mapas 2, 3 e 4), afim de estimar quantitativamente a ocorrência da função de captação de CO₂ das florestas amazônicas primárias, especialmente das florestas úmidas até semi-caducifolias e, temporalmente, durante e entre os anos de ocorrência do El Niño. Um dos resultados poderia ser que a função de captação é mais substancial e contínua na zona que apresenta um seca menor ou ausente, como grande parte do Estado do Amazonas e as partes adjacentes do Peru e da Colômbia, mesmo que essa zona não apresente, atualmente, o maior volume de madeira. Essas condições a qualificaria ainda mais como zona de proteção no âmbito da idéia de Corredores Ecológicos do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil.

A quantificação espacial e temporal da função de captação de carbono também requer que a rede de monitoramento do fluxo de CO₂ do programa LBA estenda-se para áreas além da zona do eixo Manaus-Santarém-Belém, a fim de incorporar as diferentes condições de pluviosidade e do solo no oeste da Amazônia e nas áreas dos escudos cristalinos nas partes sul e norte da região.

A origem e os valores específicos da biodiversidade das muitas savanas naturais intraflorestais merecem um estudo especial, inclusive no que tange às secas antigas e atuais relacionadas ao El Niño e ao uso da terra das numerosas tribos Ameríndias antes da chegada dos europeus.

B I B L I O G R A F I A C O N S U L T A D A

ANDERSON, A.B. 1981. *White-sand vegetation of Brazilian Amazonia*. Biotropica 13, 199-210.

BALÉE, W. 1988. *Indigenous adaptation to Amazonian palm forests*. Principies 32, 47-54

_____. 1989. *The culture of the Amazon forests*. Adv. Econ. Bot. 7, 1-21

BASTOS, T.X., ROCHA, E.J.P., ROLIN, P.A.M., DINIZ, T.D.S., SANTOS, E.C.R., NOBRE, R.A.A. e CUTRIM, R.C. 1986. *O estado atual dos conhecimentos de clima da Amazônia Brasileira com finalidade agrícola*. Proc. Primeiro Symposio do Trópico Húmido Vol. I. EMBRAPA-CPATU, Belém. (In Portugese)

BATJES, N.H. e DIJKSHOORN, J.H. 1999. *Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region*. Geoderma 89, 273-286.

BROWN, S.; LUGO, A. 1992. *Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon*. Interciencia 17, 8-18, 60-61

DICKINSON, R.E.; VIRJI, H. 1987. *Climate change in the humid tropics, especially Amazonia, over the last twenty thousand years*. In: *The Geophysiology of Amazonia; Vegetation and Climate Interactions*. DICKINSON, R.E. (ed.). John Wiley and Sons, Chichester, UK pp. 91-101

DNAEE 1995. *Isoietas médias anuais do Brasil (map at scale 1:13 000 000)*, Ministério de Minas e Energia, Brasília.

FAO 1978. *Report on the Agro-Ecological Zones Project*. Vol.I. Methodology and Results for Africa. [with 1980 map at 1:5.000.000 for South America]. World Soil Resources Report 48 FAO, Rome.

_____. 1985. *Agroclimatological Data for Latin America and the Caribbean*. Plant Production and Protection Series 24, FAO, Rome

_____. 1998. *ECOCROP, the Crop Environmental Requirement Database, and the Crop Environment Response Database*. Land & Water Digital Media Series 4, FAO, Rome

FISCH, G., MARENGO, J.A., NOBRE, C.A. 1998. *Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia*. Acta Amazônica 28, 101-126.

GRACE, J.; LLOYD, L.; McINTYRE, L.; MIRANDA, A.C.; MEIR, P.; MIRANDA, H.C. 1996. Carbon dioxide flux over Amazonian rainforest in Rondônia. In: *Amazonian Deforestation and Climate*. Gash, J,H,E, et al. (eds.) John Wiley & Sons, Chichester, pp. 307-318.

_____. et al. 1999. Carbon fluxes and productivity of tropical rainforests. In: *Terrestrial Global Productivity: Past, Presente and Future*. MOONEY, H. et al. (eds.) Academic Press, San Diego.

GUERRA, A.T. 1959. *Geografia do Brasil – Grande Região Norte*. IBGE-CNG, Biblioteca Geográfica Brasileira. Rio de Janeiro Vol.I, Ser. A.Publ. 15, 421 pp.

HECKENBERGER, M.J.; NEVES, E.G. e PETERSON, J.B. 1998. *De onde surgem os modelos? As origens e expansões Tupi na Amazônia Central*. Ver.Antropol. 41, 69-96. Dep. Antropologia, USP, São Paulo.

HEINSDIJK, D.; MIRANDA BASTOS, A. 1963. *Inventários Florestais na Amazônia*. Ministério da Agricultura, Serviço Florestal, Setor de Inventários Florestais. Bol.6. Rio de Janeiro.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.; BIOT, Y. 1997. *Base Científica para Manejo Florestal Sustentável*. Draft final report BIONTE project, INPA, Manaus (final version in press at DFID, UK).

HODNETT, M.G.; OYAMA, M.D., TOMASELLA, J. e MARQUEZ, A.O. 1996. Comparison of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. In: *Amazonian Deforestation and Climate*. GASH, J.H.C. et al. (eds.) John Wiley & Sons. Chichester, UK. pp 57-77.

IAC 1991. *Zoneamento Agroclimático da Heveicultura no Brasil, relatório final, projeto FAO/UNDP/BRA/89/006*. FAO, Rome and MINTER/SAE, Brasília.

IBGE 1995. *Map of Amazonia Legal 1:5.000.000*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Rio de Janeiro.

JIPP, P.; NEPSTAD, D. CASSLE, K. e CARVALHO, C.R. 1998. *Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia*. Climate Change 39, 395-412.

LBA 1996. *The Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA): Concise Experimental Plan*. INPE, Cachoeira Paulista, SP, Brazil. 44 pp.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G. 1998. *Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia*. Soil Sci. 163, 90-202.

VAN DEN BERG, M.; KLAMT, E.; REEUWIJK, L.P. e SOMBROEK, W.G. 1997. *Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils*. Geoderma 78, 161-180.

WMO 1995. *Atlas Climático de America del Sur*. Vol. I. Scale 1:5.000 000. WMO, Geneva.

MARCHESI, G. 1975. *Tra Fiumi e Foreste*. Instituto Storico Salesiano, Roma. 26-31.

MARQUES, J.C.J. (ed.) 1992. *Normas Climatológicos 1961-1990*. Ministério de Agricultura e Reforma Agrária, Instituto Nacional de Meteorologia INMET, Brasília.

MEGGERS, B.J. 1984. The indigenous people of Amazonia, their cultures, land use patterns and effects on the landscape and biota. In: *The Amazon, Limnology and Landscape Ecology*. Sioli, H. (ed.) Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht/Boston, pp. 627-648.

_____. 1994. *Mega El Niño events in Amazonia during the past two millenia*. *Climate Change* 28, 321-338.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Pilot Programme for the protection of the Brazilian tropical forests of the G7 countries / Subprograma de Política de Recursos Naturais*.

MOLION, L.C.B. 1987. Climatologia dinâmica da região Amazônica: Mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2,107-117.

_____.; DALLAROSA, L.R.G. 1990. *Pluviometria da Amazônia: São os dados confiáveis?* *Climanálise Bol. Monitor. Anál.Climá.*5, 40-42.

MORAIS, J.L.; CERRI, C.C., MELILLO, J.M., KICKLIGHTER, D.; NEIL, C.; SKOLE, D.L. e STEUDLER, P.A. 1995. *Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 244-246.

NELSON, B.W.; IRMÃO, M.N. 1998. *Fire penetration in standing Amazon forests*. Proc. Ixth Brazilian Remote Sensing Congress, Santos, SP, 13-18 Sept. 1998.

NEPSTAD, D.C. et al. 1994. *The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures*. Nature 372, 666-669.

_____.; JIPP, P; MOUTINHO, P.; NEGREIROS, G.; VIEIRA, G. 1995. Forest recovery following pasture abandonment in Amazonia: Canopy seasonality, fire resistance and ants. *In: Evaluating and Monitoring the Health of Large-scale Ecosystems*. Rapport, D. (ed.) Springer Verlag, New York. pp. 333-349. See also: UHL, C.

KAUFFMAN, J.B. 1990. Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. Ecology 71, 437-449.

_____.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, C.A. et al. 1999. *Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire*. Nature 398, 505-508.

OIE 2000. *Handistatus II Database on Animal Health World-wide*. Office International de Epizooties, Paris.

PETIT, M. 1978. Géographie des pluies entre Amazone et Orinoco (les Guyanaes entre l'Équateur et le 9 (degré de latitude nord). *In: Travaux et Documents de Géographie Tropicale* 34. CEGET-CNRS, Domaine Universitaire, Bordeaux, France. pp.41-69.

PHILLIPS, O.L.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N.; LAURANCE, W.F.; NIÑEZ, P.V.; VÁSQUEZ, R.M.; LAURANCE, S.; FERREIRA, L.G.; STERN, M.; BROWN, S. e GRACE, J. 1998. *Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots*. Science 282, 439-442.

POTTER, C.S., DAVIDSON, E., KLOOSTER, S., NEPSTAD, D.C., NEGREIROS.G.H., e BROOKS, V. 1998. *Regional application of an ecosystem production model for studies of biogeochemistry in the Brazilian Amazon*. Global Change Biol. 4, 315-333.

RADAMBRASIL 1972-1978. *Levantamento de Recursos Naturais*. Vol.1-18. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro.

RICHEY, J.E.; NOBRE, C.; DESER, C. 1989. *Amazon river discharge and climate variability: 1903 to 1985*, Science 246, 101-103.

SALATI, E., MARQUES, J. 1983. *Climatology of the Amazon region*. In: The Amazon; Climatology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin. SIOLI, H. (ed.). Dr. W.Junk Publishers, Dordrecht/Boston. p.85-126 [See also: SALATI, E.; MARQUES, J.; MOLION, L.C.B. 1978. Origem e distribuição das chuvas na Amazônia. Interciencia 3,200-206].

SANFORD, R.L.; SALDARRIAGA, J.; CLARK, K.E., UHL, C. e HERRERA, R. 1985. *Amazon rainforest fires*. Science 227, 53-55.

SMITH, N.J.H.; SERRÃO, E.A.S.S.; ALVIM, P.T.; FALES, I.C. 1995. *Amazonia: Resiliency and Dynamism of the Land and its People*. United Nations University Press, Tokyo, 253 p.

SOMBROEK, W.G.1962. *Reconnaissance soil survey of the Guamá-Imperatriz Area (area along the upper part of the Belém-Brasília highway)*. Mimeo report of SPVEA/SUDAM.

_____.1966. *Amazon Soils*. Pudoc. Wageningen 303 pp.

_____.1992. *Biomass and carbon storage in the Amazon ecosystems*. Interciencia 17, 269-271.

_____. FEARNSSIDE, P.M. e CRAVO, M. 1999. Geographic assessment of carbon stored in Amazonian terrestrial ecosystems and their soils in particular. *In: GlobalClimate Change and Tropical Ecosystems*. LAL, R. et al. (eds.) CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, USA pp. 375-389 + insert page.

_____.2000. *Amazon land forms and soils in relation to biological diversity*. Acta Amazonica 30, 81-100.

SUDAM 1984. *Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia, Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira*. SUDAM, Belém, Brasil.

SUTMÖLLER, A.; ABREU, A.V.; VAN DER GRIFT, J.; SOMBROEK, W.G. 1963. *Mineral Imbalances in Cattle in the Amazon Valley*. Communication 53. Royal Tropical Institute, Amsterdam, 135 pp.

TERBORGH, J. 1992. *Diversity and the Tropical Rain Forest*. Scientific American Library Séries 38. W.H. Freeman & Co. New York.

TIAN, H.; MELILLO, J.M.; KICKLIGHTER, D.W.; McGUIRE, A.D.; HELFRICH, J.V.K.; MOORE, B. e VÖRÖSMARTY, Ch.j. 1998. *Effect of inter-annual variability on carbon storage in Amazonian ecosystems*. Nature 396, 664-667.



GTZ
Cooperação
Técnica Alemã
No SPRN/PPG7

gtz@ipaam.br