



Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Manejo e Conservação do Solo e da Água

Ildegardis Bertol, Isabella Clerici De Maria e Luciano da Silva Souza
(Editores)



Copyright © 2019
Edição 2019 - 1ª Edição

Não é permitida a reprodução total ou parcial desta publicação sem a permissão expressa da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

EDITORES

Ildegardis Bertol

Isabella Clerici De Maria

Luciano da Silva Souza

DIAGRAMAÇÃO

José Roberto da Silva Lana

FOTOS DA CAPA

Fotos do sistema plantio direto, do revolvimento do solo e do sistema silvo pastoril, pertencem ao acervo da SBCS. Foto de terraços em Jandaia do Sul, PR cedidas pelo Professor Junior Cesar Avanzi.

CAPA

Manuela Vieira Novais (layout)

José Roberto da Silva Lana (arte)

REVISÃO

Maria Aparecida S. Soares

Shirley Aparecida Gomide Cabral

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Catalogação da Biblioteca Central da UFV

M274
2019

Manejo e conservação do solo e da água / Editores Ildegardis Bertol, Isabella Clerici De Maria, Luciano da Silva Souza -- Viçosa, MG : SBCS, 2019.
x, 1355 p. : il. (algumas color.); 27 cm.

Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-86504-25-9

1. Solos - Manejo. 2. Solos - Conservação. 3. Água - Conservação. 4. Agricultura. 5. Mecanização agrícola. 6. Física do solo. 7. Química do solo. 8. Biologia do solo. 9. Solos - Erosão. 10. Bacias hidrológicas - Manejo. I. Bertol, Ildegardis, 1949-. II. Maria, Isabella Clerici De, 1960-. III. Souza, Luciano da Silva, 1950-. IV. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

CDD 22. ed. 631.4

Bibliotecária responsável
Alice Regina Pinto Pires - CRB6 - 2523

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO

Tel.: (0XX) 31 3899-2471

E-mail: sbcs@sbcs.org.br

http://www.sbcs.org.br



9 788586 504259

XXII - O MANEJO DO SOLO NAS VÁRZEAS DA AMAZÔNIA

Wenceslau Geraldes Teixeira^{1/}, Hedinaldo Narciso Lima^{2/}, Willer Hermeto Almeida
Pinto^{3/}, Kleberon Worsley de Souza^{4/}, Edgar Shinzato^{5/} & Götz Schroth^{6/}

^{1/} Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: wenceslau.teixeira@embrapa.br

^{2/} Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM. E-mail: hedinaldo@ufam.edu.br

^{3/} LBR Engenharia e Consultoria LTDA, São Paulo, SP. E-mail: willerhermeto.LBR@petrobras.com.br

^{4/} Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. E-mail: kleberon.souza@gmail.com

^{5/} Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, RJ.
E-mail: edgar.shinzato@cprm.gov.br

^{6/} Consultor, Santarém, PA. E-mail: goetz.schroth@gmail.com

Conteúdo

INTRODUÇÃO	702
ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS DAS VÁRZEAS AMAZÔNICAS	702
O FENÔMENO DAS "TERRAS CAÍDAS"	704
VEGETAÇÃO DAS VÁRZEAS AMAZÔNICAS	704
OS ESTUDOS E A CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DAS VÁRZEAS NA AMAZÔNIA CENTRAL	705
Características gerais dos solos de várzeas	709
As principais classes de solos das várzeas amazônicas	709
Gleissolos Háplicos	709
Distinção entre os Gleissolos	711
Neossolos Flúvicos	712
Outros solos associados	713
As Terras Preta de Índio nas várzeas	714
Composição granulométrica e mineralógica dos sedimentos e solos das várzeas amazônicas	715
Atributos químicos dos solos de várzea da Amazônia	717
Carbono orgânico e nitrogênio em solos de várzea da Amazônia	717
Efeitos da inundação sobre os atributos químicos dos solos	718
USO AGRÍCOLA DOS SOLOS DAS VÁRZEAS AMAZÔNICAS	719
Cultivo de hortaliças	719
Cultivo de fibras: Juta e malva	719
Pastagens nas várzeas amazônicas	720
Sistemas agroflorestais em áreas de várzea	721
A exploração dos açaiçais	721
Cultivos de ciclo curto nas várzeas amazônicas	721
CONSIDERAÇÕES FINAIS	722
LITERATURA CITADA	723

INTRODUÇÃO

A várzea é uma paisagem geomorfológica de planície de inundação e terraço fluvial, formada por colmatação de sedimentos fluviais e ainda sujeita à inundação, em que a periodicidade e o tempo de submersão são dependentes da posição, altura e forma na paisagem. Normalmente, apresenta drenagem reduzida, condicionada principalmente pela posição próxima às redes de drenagem. Pode evidenciar processo de deposição de novos sedimentos pelas inundações periódicas e de gleização pela redução e remoção de minerais de ferro do solo. As várzeas amazônicas são ambientes típicos dos chamados rios de água branca, sendo os principais, em volume e carga de sedimentos em suspensão, o Solimões, o Amazonas, o Juruá, o Madeira, o Purus e o Japurá. As áreas ocupadas pelas várzeas na Amazônia Legal que incluem os Estados do Amazonas, Pará, Acre, Rondônia, Roraima, e parte dos estados de Mato Grosso, Maranhão e Tocantins foram estimadas em 39,15 Mha correspondentes a 8 % da área da Amazônia Legal. Essa estimativa certamente é subestimada, pois, para seu cálculo, foram consideradas apenas as áreas com Gleissolos, Neossolos Flúvicos e Organossolos, dominantes nas unidades de mapeamento do solo. Essas classes normalmente ocorrem também com subdominantes e inclusões das unidades de solos da terra firme em áreas menores não mapeáveis nos mapas disponíveis para a maior parte da Amazônia. Na grande maioria das várzeas amazônicas, cujo ambiente mal drenado dificulta a decomposição da matéria orgânica, praticamente não há acúmulo de C, como ocorre em ambientes similares em outras partes do Brasil. Esse fato está relacionado ao regime climático quente e úmido, que condiciona altas taxas de decomposição; conseqüentemente, são raras as ocorrências de Organossolos e Gleissolos Melânicos na Amazônia. A maior parte das várzeas amazônicas apresenta concentração de nutrientes maior do que as áreas de terra firme adjacentes, sendo considerada um sistema de elevada produtividade natural (Worbes, 1997). Foi neste ambiente que se fixou inicialmente o homem na Amazônia, e até os dias de hoje é o ambiente onde reside grande parte da população não urbana da Amazônia. Os habitantes que residem nessas áreas, ao longo das margens dos rios, são denominados de ribeirinhos. Esse ambiente tem importância em escala regional, mas, pela sua dimensão, representa também um papel global relevante. Por isso, sua caracterização e a ordenação de sua ocupação e manejo dos seus solos são fundamentais para o uso sustentável desse ambiente, que está entre as maiores reservas de solos férteis em ambiente tropical do planeta. Neste capítulo, serão apresentadas as principais características das várzeas amazônicas, com foco sobre os solos de várzea do rio Solimões-Amazonas, sendo discutido o uso e manejo agrícola desse ambiente.

ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS DAS VÁRZEAS AMAZÔNICAS

O processo de formação das várzeas ocorre pela deposição de sedimentos nos vales que foram escavados pela água, principalmente no período da última glaciação, quando o nível do mar estava entre 70 e 100 m abaixo do nível atual (Costa et al., 2010). Posteriormente, com a subida do nível das águas, os rios diminuíram o fluxo e a velocidade de suas águas e afogaram seus canais, e aqueles rios com maior carga sedimentar acumularam seus sedimentos nos vales, formando a paisagem de várzea. Essa paisagem muda suas feições em

razão da hidrodinâmica dos rios, que transformam continuamente o ambiente da várzea, caracterizando essa área pelo seu intenso dinamismo (Sioli, 1984). Em várias localidades, os rios de várzea continuam a fluir sobre essas formações sedimentares, removendo ou adicionando sedimentos. A extensão do ambiente das várzeas na paisagem pode ser muito ampla, por vezes dezenas ou até mais de uma centena de km das margens do rio (Teixeira et al., 2007; Dantas e Maia, 2010; Teixeira et al., 2010b). O ambiente de várzeas pode ser dividido em terraços fluviais e planícies de inundação (Figura 1).

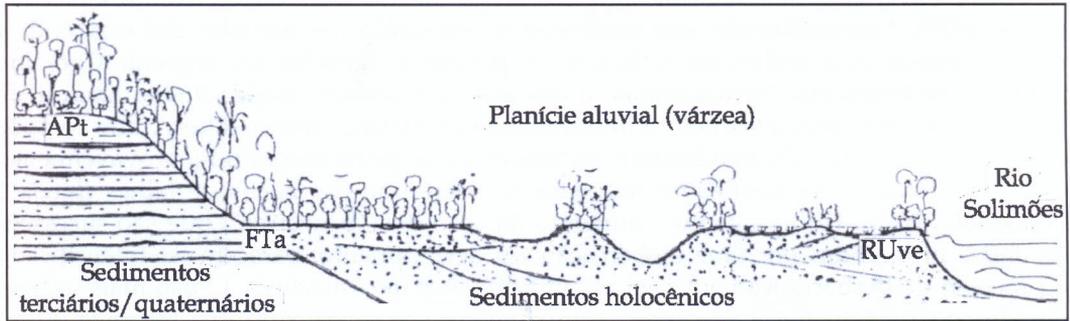


Figura 1. Desenho esquemático da distribuição dos microambientes nas várzeas amazônicas. APt - Argissolo Amarelo aluminoso, FTa - Plintossolo Argilúvico aluminoso, RUve - Neossolo Flúvico Eutrófico.

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2006).

Os terraços fluviais são formações correlatas ao período pleistocênico, com períodos de deposição de sedimentos que retrocedem até 40 000 Antes do Presente (A.P.), e as planícies de inundação fluvial são formações quaternárias, do Holoceno recente (<10 000 anos A.P.; Rossetti et al., 2007). As várzeas apresentam grande variabilidade morfológica e deposicional, reflexo dos distintos tipos de sedimentação oriundos de padrões de drenagem meândricos de grande sinuosidade, como nos rios Purus, Juruá e Javari, ou anastomosado, como no rio Solimões, que evidenciam processos geomorfológicos bastante ativos. Essas áreas de deposição são identificadas como planícies de acreação, planícies de decantação, barras arenosas e diques marginais (Latrubesse e Franzinelli, 2002). Sternberg (1998) destacou que, nas várzeas amazônicas, “as águas submetem as terras a constantes retoques, de modo que o terreno, sobre o qual hoje os sedimentos são depositados, amanhã poderão ser removidos”. As diferentes vazões, cargas de sedimentos e características da água transportadas pelos rios (Victoria et al., 2001; Filizola et al., 2011) irão condicionar, em conjunto com os diferentes ambientes deposicionais, a grande variabilidade dos solos, que formam um ambiente descontínuo, o que, em termos de uso agrícola, dificulta a mecanização em larga escala e demanda grande esforço amostral para sua caracterização (Teixeira et al., 2008). Essa elevada variabilidade reflete, em mapas em maior escala, a impossibilidade da individualização das classes de solos nesses ambientes, que são descritos como solos Hidromórficos (CETEC, 1986a,b,c; Embrapa, 1990). A ablação das margens dá-se pelo fenômeno das “terras caídas”; sobre o efeito desse fenômeno, há numerosos e dramáticos relatos na literatura amazônica (Igreja e Franzinelli, 2006), conforme descrito a seguir.

O FENÔMENO DAS “TERRAS CAÍDAS”

A expressão “terras caídas” representa um fenômeno que ocorre com frequência nos solos de várzea e significa a ablação ou desbarrancamento do solo das margens para dentro do rio. Há relatos antigos desse fenômeno: Henry Bates, em sua viagem pelo rio Solimões, na metade do século XIX, relatou esse fenômeno observado em grandes proporções durante aproximadamente duas horas ininterruptas, “quando uma expressiva quantidade de terra caiu à margem desse rio, num trecho que variou entre dois e três quilômetros” (Bates, 1979). Aparentemente, esse fenômeno se intensifica nas margens dos rios, onde a erosão é maior, ocorrendo principalmente no período das enchentes. Segundo Carvalho (2006), o fenômeno das “terras caídas” é um processo geomorfológico-fluvial natural, de constituição complexa, associado à instabilidade do material franco-siltoso, que compõe os terraços de várzea. Os movimentos tectônicos de pequena magnitude, provavelmente, estão relacionados aos deslizamentos maiores, sobretudo nas zonas de falhas (Igreja e Franzinelli, 2006). Fatores, como o aumento da ação dos “banzeiros”, que são sucessões de ondas provocadas por uma embarcação em deslocamento, parecem ter intensificado o processo de desbarrancamento em algumas regiões da Amazônia. O uso mais intenso dos rios para o transporte de cargas, equipamentos e pessoas ocorre na hidrovia do rio Madeira, com o transporte de soja, em balsas, de Porto Velho, RO, ao porto graneleiro de Itacoatiara, AM, no rio Amazonas. No rio Solimões, o aumento da intensidade da erosão das margens parece estar associado com o transporte de petróleo proveniente da Província Petrolífera de Urucu, da base na Cidade de Coari até a refinaria de Manaus. No Estado do Pará, está relacionado com o transporte de minérios de Al e Fe pelo rio Amazonas.

VEGETAÇÃO DAS VÁRZEAS AMAZÔNICAS

A vegetação original dos terraços das áreas de várzea alta e das restingas é a floresta de várzea composta das floresta ombrófila densa aluvial, floresta ombrófila aberta aluvial, e as formações pioneiras são predominantes na planície holocênica (Brasil, 1978). Nas florestas inundadas, as variações topográficas podem resultar em diferenças na amplitude e no tempo de inundação anual (Figura 2), fatores determinantes nos padrões observados de riqueza, diversidade e composição das espécies (Parolin et al., 2004; Ayres, 2006). Nas áreas próximas ao golfo Marajoara, a vegetação desenvolve-se sob inundações diárias causadas pelo fluxo das marés, que fez com as espécies vegetais desenvolvessem adaptações fisiológicas e morfológicas (Almeida et al., 2004). Gama et al. (2003) relataram que as florestas de várzeas começaram a ser exploradas na década de 1950, com espécies utilizadas em formas extrativas, como o buritizeiro (*Mauritia flexuosa*), o açazeiro (*Euterpe oleracea*), a andirobeira (*Carapa guianensis*) e a seringueira (*Hevea brasiliensis*), e com uso madeireiro, principalmente a pacapeúba (*Swartzia racemosa*), a virola (*Virola surinamensis*), a muiratinga (*Naucleopsis concina*), o mulateiro (*Calycophyllum spruceanum*) e a samaúmeira (*Ceiba pentandra*), entre outras espécies (Albernaz et al., 2007). Todavia, essas espécies madeireiras estão reduzindo seus estoques pela exploração excessiva e falta de manejo. Fabaceae, Malvaceae e Arecaceae são as famílias mais ricas em espécies em florestas de várzea (Carim et al., 2008); a abundância de espécies da família Fabaceae é relacionada com a capacidade de espécies dessa família de fixar N_2 , um dos nutrientes limitantes do ambiente de várzea (Junk, 1984). O manejo da nutrição nitrogenada é um dos principais desafios da produção agrícola nas várzeas da Amazônia (Alfaia et al., 2007; Fajardo et al., 2009).

MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

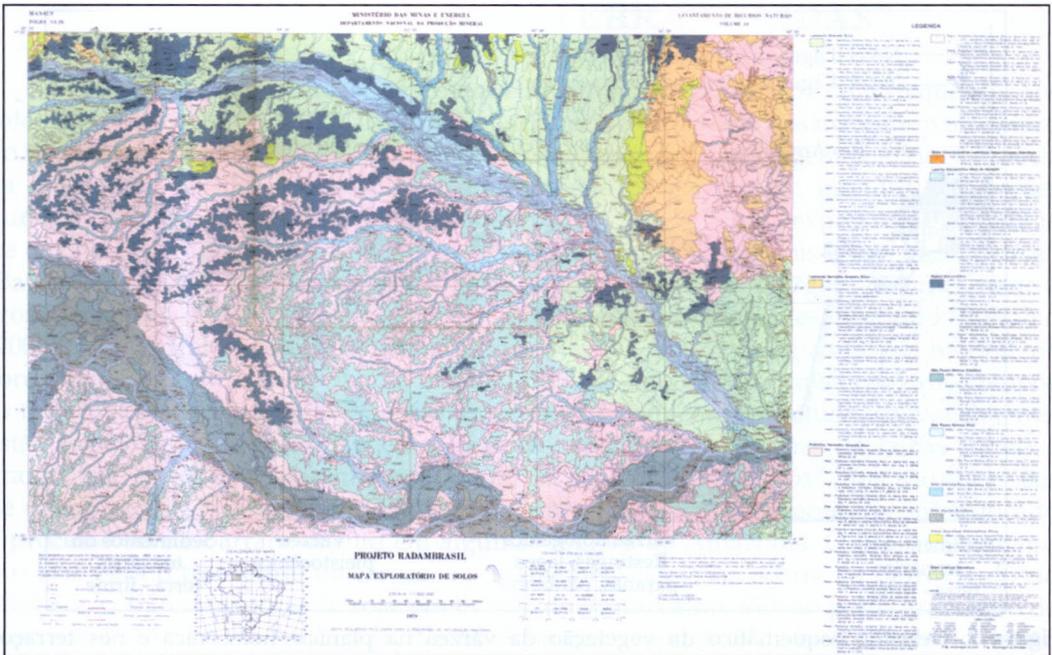


Figura 3. Mapa exploratório de solos – Folha SA 20 – Manaus – Projeto RADAMBRASIL – Escala ao milionésimo.

Fonte: Brasil (1978).

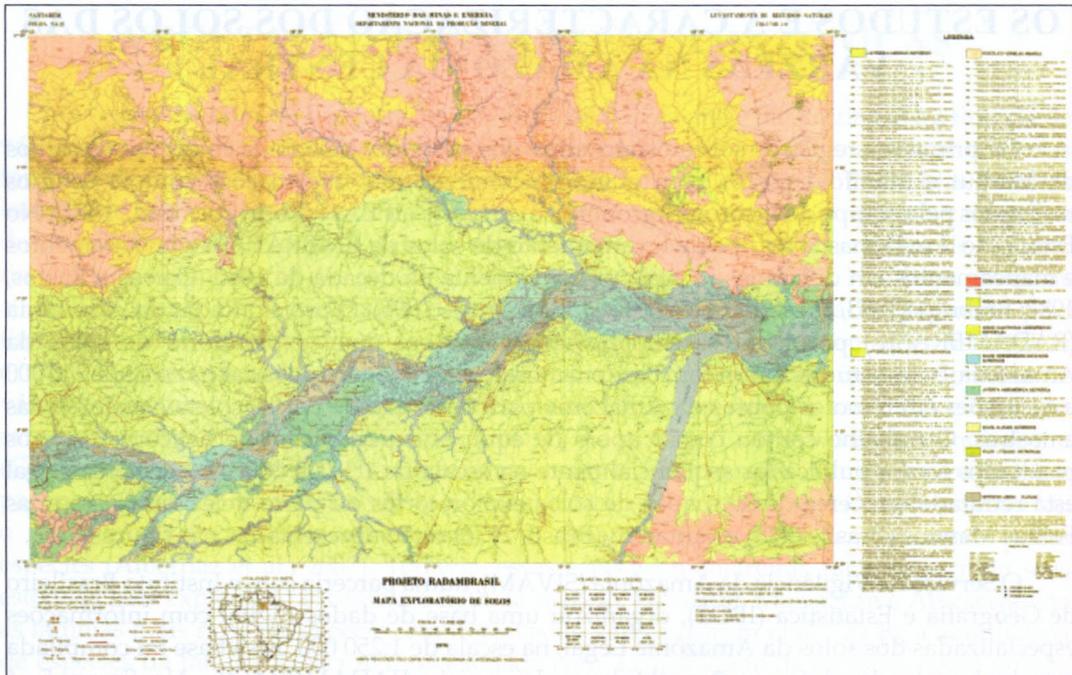


Figura 4. Mapa exploratório de solos – Folha SA 21 – Santarém – Projeto RADAMBRASIL – Escala ao milionésimo.

Fonte: Brasil (1976).

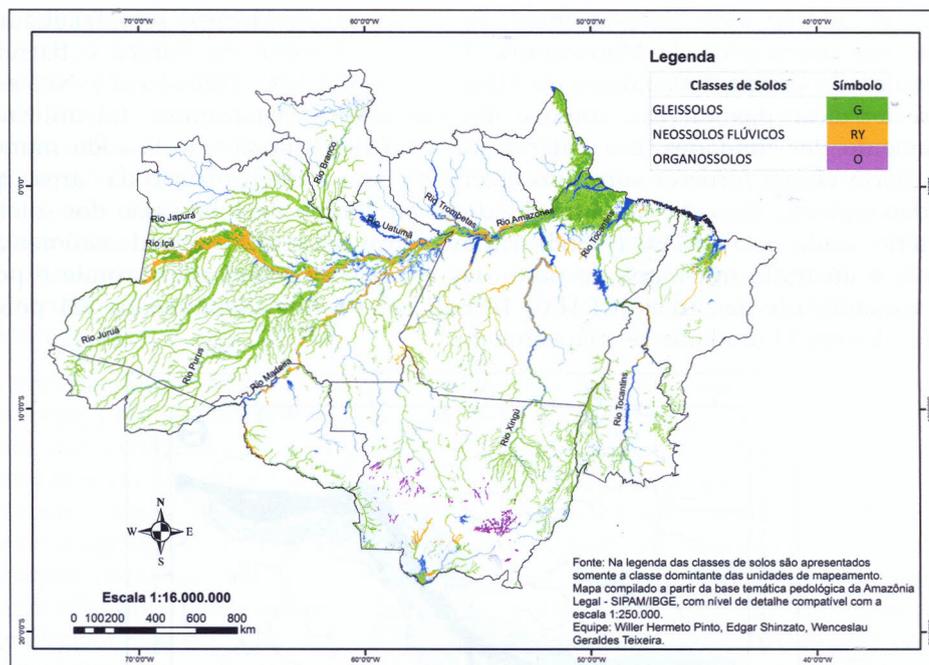


Figura 5. Mapa de distribuição das classes de solos dominantes no ambiente de várzeas da Amazônia Legal, compilado da base pedológica do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM).

Quadro 1. Área total e distribuição percentual em relação ao total das áreas de várzeas e área da Amazônia de áreas com Gleissolos, Neossolos Flúvicos e Organossolos na Amazônia Legal

Símbolo	Classes de solos	Área	Várzea	Amazônia legal ⁽¹⁾
		km ²	-----%-----	
GJo	Gleissolo Tiomórfico Órtico	4 738,78	1,21	0,09
GMbd	Gleissolo Melânico Tb Distrófico	243,57	0,06	0,00
GMve	Gleissolo Melânico Ta Eutrófico	2 640,71	0,67	0,05
GX	Gleissolo Háptico (Indiscriminado)	24 321,91	6,21	0,48
GXbd	Gleissolo Háptico Tb Distrófico	145 590,80	37,18	2,90
GXbe	Gleissolo Háptico Tb Eutrófico	30 542,95	7,80	0,61
GXvd	Gleissolo Háptico Ta Distrófico	13 176,19	3,37	0,26
GXve	Gleissolo Háptico Ta Eutrófico	128 663,70	32,86	2,56
GZo	Gleissolo Sáfico Órtico	884,48	0,23	0,02
Subtotal da área com Gleissolos		350 803,08	89,59	6,99
RYbd	Neossolo Flúvico Tb Distrófico	5 245,45	1,34	0,10
RYbe	Neossolo Flúvico Tb Eutrófico	1 681,91	0,43	0,03
RYvd	Neossolo Flúvico Ta Distrófico	4 346,39	1,11	0,09
RYve	Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	26 634,65	6,80	0,53
Subtotal das áreas com Neossolos Flúvicos		37 908,40	9,68	0,76
OX	Organossolo Háptico	2 841,32	0,73	0,06
TOTAL		391 552,80	100,00	7,81

⁽¹⁾ Área total da Amazônia Legal (km²) - 5.016.136,30

Na década de 1980, também foram realizados levantamentos semidetalhados das várzeas nos municípios de Manacapuru, Parintins, Careiro da Várzea e Barreirinha, pela equipe do Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC, 1986a,b,c,d). Nos estudos de caracterização das várzeas, como o das várzeas de Manacapuru, foi utilizado, no mapeamento das unidades, um critério adicional denominado de fase de inundação. Esse critério visava fornecer subsídios essenciais para a interpretação das áreas quanto à aptidão agrícola. Essas fases foram divididas em tempo de submersão dos solos, que, no critério usado pela CETEC (1986d), variava entre um e seis meses de submersão. Na figura 6, é ilustrado um mapa de parte das várzeas de Manacapuru, onde é possível ver a variabilidade das áreas (CETEC, 1986d), onde foram identificados 321 polígonos classificados em 14 unidades de mapeamento.

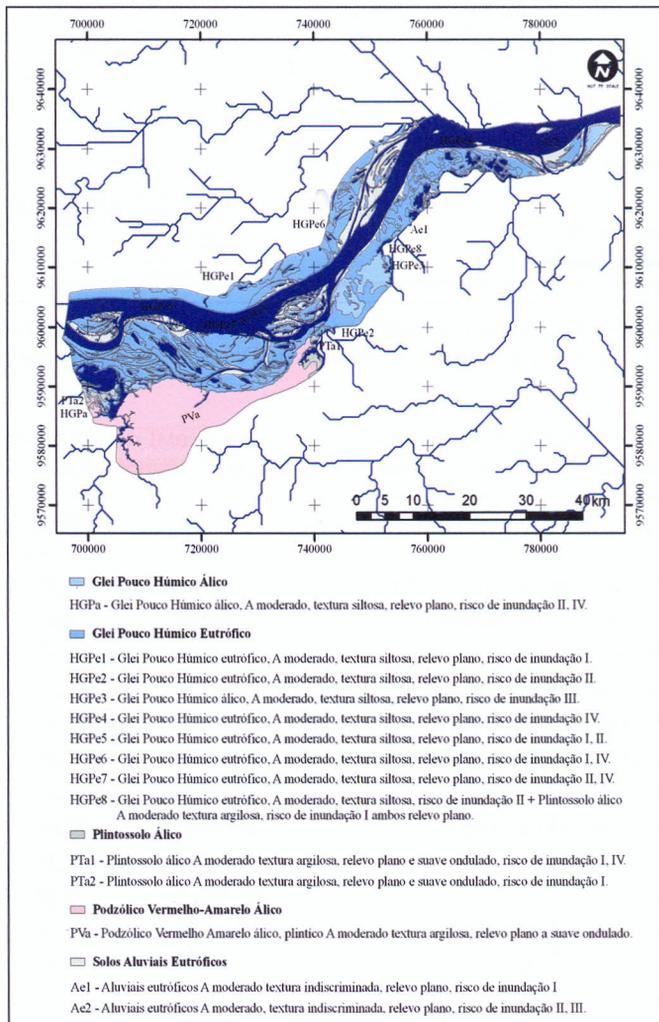


Figura 6. Levantamento de reconhecimento de solos e aptidão agrícola no município de Manacapuru, AM (CETEC, 1986d) mapa digitalizado e revitalizado. Período de inundação todo ano: I = inundação durante menos de 1 mês; II = inundação entre 1 e 3 meses; III = inundação entre 3 e 6 meses; e IV = inundação durante mais de 6 meses.

Fonte: Teixeira et al. (2008).

Características gerais dos solos de várzeas

Nas várzeas amazônicas predominam solos jovens; em alguns casos, apenas sedimentos em processo incipiente de pedogênese. Nesse ecossistema, encontra-se a maior faixa contínua de solos férteis da Amazônia, e concentram-se, em alguns lugares, intensas atividades de ocupação humana. As características desse ambiente, como a elevada fertilidade natural dos solos e proximidade dos rios e lagos piscosos, que servem como principal modalidade de transporte, favoreceram a concentração humana desde os tempos pré-históricos, indicada pela elevada concentração de sítios arqueológicos próximos a esses ambientes (Kern et al., 2010) ou mesmo habitando as áreas de várzeas (Teixeira et al., 2006; Macedo, 2009; Souza, 2011).

A variação anual do nível dos rios impõe certas limitações ao uso e manejo desses solos e exige práticas de convivência para uso racional dessas áreas. O conhecimento dos solos das várzeas na Amazônia ainda é limitado apesar do esforço dispendido por pesquisadores no passado. Há necessidade de ampliar esse conhecimento para maior compreensão desses ecossistemas amazônicos, especialmente seus solos, suas inter-relações e adaptações, em resposta às intervenções humanas. É fundamental conhecer as limitações impostas pelo ambiente e as práticas de convivência desenvolvidas pela população ribeirinha, para conviver com essas limitações. Os atributos químicos, físicos e mineralógicos dos solos de várzeas são, em grande parte, governadas pela natureza do material de origem. O nível elevado do lençol freático e a inundação periódica a que estão sujeitos limitam o processo pedogenético, resultando em solos jovens e, em alguns casos, apenas sedimentos em processo incipiente de pedogênese (Vieira e Santos, 1987; Lima et al., 2006). Na planície aluvial (várzea baixa, restinga) dos rios de águas brancas, predominam os Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos.

As principais classes de solos das várzeas amazônicas

No mapa de distribuição de solos nas áreas de várzea da Amazônia (Figura 5) e no quadro 1, podem ser observados que os solos predominantes nas várzeas são os Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos, que apresentam a sua gênese relacionada a processos hidromórficos, especialmente os primeiros.

Gleissolos Háplicos

Os Gleissolos Háplicos (Figura 7) ocorrem predominantemente em relevo plano e raramente em suave ondulado, nas planícies de inundação (várzeas baixas e restingas) e em alguns terraços. Estão distribuídos por toda a Amazônia ao longo dos cursos d'água; é a classe de solo dominante e ocupa uma área de aproximadamente de 350 803,08 km², correspondente a 6,99 % das terras da Amazônia Legal. Os Gleissolos apresentam forte gleização, resultante de processamento de intensa redução de compostos de Fe, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico (Figura 7). Quando esses solos secam, ocorre o processo de oxidação dos compostos reduzidos de Fe, formando manchas amareladas ou avermelhadas, o que eventualmente torna os solos com cores de tons amarronzados, retirando, temporariamente, o caráter gleizado.



Figura 7. Perfil de um Gleissolo Háplico Ta Eutrófico nas margens do Amazonas, Parintins, AM.

Em geral, os Gleissolos apresentam predomínio de partículas finas e não se incluem nas classes texturais areia ou areia franca. A água pode permanecer estagnada internamente por ascensão do lençol freático, submersão, infiltração ou por fluxo lateral no solo. Na sua grande maioria, são solos mal ou muito mal drenados, salvo se artificialmente drenados. Apresentam horizonte A com cores onde predominam valores e cromas baixos, tornando difícil a distinção dos matizes. O horizonte Cg possui profundidade bastante variável, sendo a sua coloração dominada por matizes de redução. Por sofrerem normalmente a adição de novos elementos químicos, num processo de fertilização natural, por meio da colmatagem das partículas em suspensão nas águas dos rios de água barrenta, apresentam contínua reposição de nutrientes. Evidencia normalmente baixo conteúdo de matéria orgânica (menor que $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de C-orgânico), mesmo no horizonte A. A saturação e o conteúdo de bases trocáveis no solo apresentam-se variáveis, desde baixo (solos distróficos) a elevados (solos eutróficos); os de caráter eutrófico demonstram alta saturação por bases ($V \geq 50 \%$) na maior parte dos primeiros 100 cm a partir da superfície do solo. Nos Gleissolos que ocorrem na Amazônia brasileira, o caráter distrófico é mais expressivo nas áreas mais rebaixadas, mais distantes da margem do rio em direção à área de floresta ou dos lagos de várzea, perfazendo $145\,590 \text{ km}^2$. A potencialidade agrícola desses solos é limitada pelo lençol freático elevado e pelo risco de inundação frequentes. Quanto aos graus de limitação em razão da fertilidade natural, são moderadas a nula nos eutróficos. Quanto à susceptibilidade à erosão, é praticamente nula por causa da ocorrência em relevo plano; entretanto, estão sujeitos a movimentos de massas, o fenômeno das “terras caídas”,

como discutido em item anterior. Normalmente, não há limitação quanto à falta de água; a deficiência de oxigênio pode ser limitação forte a muito forte a plantas sensíveis à hipóxia, por causa do excesso de água em grande parte do ano. Quanto à mecanização, também apresenta limitações forte a muito fortes em razão do excesso de água que restringe o uso de máquinas agrícolas, além da descontinuidade das áreas. O desenvolvimento de máquinas agrícolas adaptadas para o cultivo desses solos é fundamental para a sua incorporação ao processo produtivo agrícola mais intensivo.

Distinção entre os Gleissolos

No quadro 1, são apresentadas as áreas dos Gleissolos Háplicos, Melânicos, Tiomórficos e Sállicos na Amazônia, sendo a seguir evidenciadas resumidamente as principais características que separam esses solos; detalhes são apresentados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCs (Santos et al., 2013).

Os Gleissolos Háplicos são solos minerais, pouco desenvolvidos, hidromórficos, com horizonte glei iniciando a menos de 60 cm da superfície e que apresentam geralmente horizonte A moderado. Evidenciam a sequência de horizontes do tipo A-Cg ou A-Bg-Cg; a fração granulométrica dominante é o silte, tanto no horizonte A como no Cg ou Bg. A estrutura é predominantemente granular no horizonte A de tamanho pequeno com grau de desenvolvimento fraco a moderado. Os horizontes subsuperficiais apresentam estrutura maciça nos horizontes Cg ou Bg. As cores dominantes são escuras nas camadas superficiais e acinzentadas e mesmo azuladas nos horizontes subsuperficiais. Essa característica faz com que algumas áreas com esses solos sejam denominadas localmente de “barro azul”; nesses locais, a vegetação endêmica é típica dos solos alagados como os aningais e chavascals. A classe textural parece ser determinada pela distância em relação à localização das massas de água (rios, lagos, paranás, furos). Os solos que são próximos às margens da calha são predominantemente siltoso e franco-siltoso, e aqueles que se localizam mais no interior das áreas alagadas, próximos a pequenos cursos de água e lagos são predominantemente argilosos.

Os Gleissolos Melânicos foram anteriormente classificados como Glei Húmicos; são solos que apresentam horizonte H místico com menos de 40 cm de espessura ou com horizonte A húmico, proeminente ou chernozêmico (Santos et al., 2013). Ocupam uma área de 2 884 km², equivalente a 0,05 % da área da Amazônia Legal, concentrando-se nos Estados do Amapá e Mato Grosso.

Os Gleissolos Tiomórficos são solos que apresentam horizontes sulfúricos e, ou, materiais sulfúricos, dentro de 100 cm da superfície do solo (Santos et al., 2013). Os baixos valores de pH, menores que 3,5, característicos do horizonte sulfúrico, são gerados pela oxidação de sulfetos, notadamente pirita. Esse horizonte limita o volume explorado pelas raízes, restringindo o desenvolvimento das plantas. A utilização dos solos Tiomórficos na agricultura é possível desde que sejam adotadas práticas de manejo que evitem ou, pelo menos, reduzam a acidez. Os solos tiomórficos na Amazônia se concentram principalmente nas proximidades do litoral do Estado do Maranhão.

Os Gleissolos Sállicos se caracterizam pelo caráter sállico, condutividade elétrica $\geq 7 \text{ dS m}^{-1}$, dentro de 100 cm da superfície do solo. Esses ocupam uma área de 884,48 km², que perfazem um percentual de 0,23 % da Amazônia Legal e estão localizados principalmente na Ilha de Marajó. Essa classe de solo provavelmente irá aumentar seu percentual com

a discriminação das áreas dos solos hidromórficos indiscriminados de grande parte do litoral maranhense e parte do litoral amapaense.

Neossolos Flúvicos

Os Neossolos Flúvicos (Figura 8) ocorrem sempre em relevo plano e raramente em suave ondulado, ao longo dos principais rios da Amazônia. Ocupam uma área de aproximadamente 37 908 km², correspondente a 0,76 % das terras da Amazônia Legal. Os Neossolos Flúvicos constituem solos pouco evoluídos e sem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico; horizontes glei, plúntico e vértico, quando presentes, não estão em condição diagnóstica (Figura 8). Nas várzeas da Amazônia, os Neossolos Flúvicos são derivados de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre horizonte C, constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si e apresentam um dos seguintes requisitos: distribuição irregular do conteúdo de C-orgânico em profundidade dentro de 150 cm da superfície do solo; e, ou, camadas estratificadas em 25 % ou mais do seu volume, dentro de 150 cm da superfície desse (Santos et al., 2013). Nas várzeas da Amazônia, é expressiva a ocorrência de Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos com cerca de 7 % dos solos de várzea com uma área equivalente a 26 634 km². São solos com argila de atividade alta - Ta ($T \geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) e saturação por bases alta ($V \geq 50 \%$), na maior parte dos primeiros 150 cm da superfície do solo. Essa classe de solo está associada às áreas de maior elevação na paisagem, dentro das limitações da várzea, os terraços. Nas partes mais rebaixadas, restingas baixas próximas às margens dos rios, é comum a ocorrência de banco de areia, regionalmente denominado de "praia", formada por Neossolos Flúvicos Eutróficos e, em menor proporção, distróficos. Essas áreas são cultivadas com culturas de ciclo curto, como o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), por ocasião das vazantes dos rios. Em geral, são moderadamente a bem drenados, algumas vezes mal drenados, pouco profundos a profundos, argilosos, silte-argilosos ou de textura média. Apresentam pouco desenvolvimento do perfil e frequentemente apenas um horizonte superficial escuro (A incipiente); abaixo desse estão camadas estratificadas, que geralmente não apresentam relação pedogenética entre si. Apesar de evidenciarem, especialmente os Neossolos Flúvicos, elevada fertilidade natural e alta reserva de nutrientes, as condições de drenagem e a elevação sazonal do nível das águas são as maiores limitações ao cultivo desses solos por parte significativa do ano, que demonstram sérias limitações à utilização de implementos agrícolas, evidenciando também sua inaptidão para uso com cultivos perenes e silvicultura.



Figura 8. Perfil de um Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, nas margens do Amazonas, Parintins, AM.

Outros solos associados

Nas áreas da várzea da Amazônia, além dos Gleissolos e Neossolos Flúvicos, ocorrem em escala menor e muitas vezes associados a essas classes de solos, os Neossolos Quartzarênicos hidromórficos, que são solos minerais de textura areia e, ou, areia franca, hidromórficos, geralmente profundos, essencialmente arenosos, desenvolvidos de sedimentos arenoquartzosos ou de arenitos, com a presença de lençol freático elevado durante grande parte do ano. A sequência de horizonte é A e C, de espessura superior a 2 m, com elevada permeabilidade. São solos com reduzida presença de minerais primários menos resistentes ao intemperismo (< 4 %). A fração areia representa pelos menos 70 % de solo; e a fração argila, inferior a 15 % desse (Santos et al., 2013). A coloração é bastante variável, podendo apresentar tonalidades acinzentadas, amareladas ou avermelhadas, dependendo do tipo de óxidos de ferro que contenham. Como são solos extremamente permeáveis e praticamente sem estrutura, a capacidade de retenção de umidade é muito baixa. A fertilidade natural é muito baixa, com carência generalizada de nutrientes. São moderadamente a fortemente ácidos e com baixos teores de matéria orgânica. A soma de bases, a saturação por bases e a capacidade de troca de cátions (CTC) são muito baixas. A saturação por alumínio é normalmente alta, e baixa saturação por bases caracteriza esses solos como distróficos e alumínicos. Uma área de ocorrências desses solos é nas cercanias do município de Parintins (CETEC, 1986c).

Também, ocorrem solos hidromórficos indiscriminados, sendo essa unidade bastante frequente em mapas detalhados das várzeas (CETEC, 1986a,b) e abrange classes de solos,

cuja característica principal é a má drenagem. São normalmente áreas constituídas de complexos de solos, cuja individualização em unidades de mapeamentos homogêneas é difícil. Na base pedológica do SIPAM – IBGE, grande parte dos solos do litoral maranhense aparece nessa unidade de mapeamento.

As Terras Preta de Índio nas várzeas

As Terras Pretas de Índio (TPI) não são classificadas como uma classe de solos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013). As TPI são caracterizadas pela presença do horizonte A antrópico, de coloração escura, e ricas em P, Ca, Mg, Mn, Zn; normalmente apresentam abundantes fragmentos de cerâmica e artefatos líticos pré-colombianos. As TPI evidenciam elevados estoques de C-orgânico, quando comparadas aos solos adjacentes (Kämpf e Kern, 2005; Teixeira et al., 2010a). Os horizontes antrópicos típicos das TPI ocorrem em grande parte da Amazônia, com áreas variando de poucos a centenas de hectares, normalmente em locais de terra firme, em solos bem drenados, próximos aos rios. No quadro 2, são apresentados resultados de análises químicas de um horizonte A antrópico, de um perfil de um Gleissolo Háptico Eutrófico no município de Manacapuru (Teixeira et al., 2006). Denota-se que houve enriquecimento dos teores de P e C no horizonte antrópico em relação aos horizontes sub e suprajacentes. Nos fóruns arqueológicos na Amazônia, não há consenso se a formação das TPI foi prática intencional, cujos objetivos eram de aumentar a fertilidade do solo e possibilitar o cultivo de plantas mais exigentes como milho e feijão. A ocorrência de TPI em áreas de várzeas naturalmente eutróficas parece rejeitar a hipótese da criação das TPI como tecnologia de manejo intencional para aumento da fertilidade dos solos nas várzeas do rio Solimões; estes solos apresentam teores de Ca, Mg e P acima dos níveis críticos para o cultivo do milho e da mandioca, ou seja não haveria resposta em aumento da produtividade com a elevação dos teores desses elementos. As áreas de ocorrência de TPI nas várzeas parece ser mais frequente do que as relatadas na literatura (Sternberg, 1998). Pesquisas têm demonstrado sua ocorrência em várias localidades (Teixeira et al., 2006; Macedo, 2009; Souza, 2011; Teixeira et al., 2010). As dificuldades em se encontrar TPI nas várzeas estão relacionadas a esses locais estarem cobertos por camadas de sedimentos colmatados em eventos de alagamento posteriores ao abandono desses; à destruição de vários desses sítios arqueológicos pelo fenômeno das terras caídas; e à mudança do curso principal dos rios. As TPI apresentam intenso uso pela população ribeirinha na produção de hortaliças (berinjela, pimentão, couve-flor, coentro etc.) e frutíferas (mamão, melancia, banana, cítricos etc.), nas áreas de várzea, principalmente quando localizadas próximas a cidades consumidoras desses produtos.

Quadro 2. Atributos químicos de um perfil de Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, A antrópico (Terra Preta de Índio) em área de várzea do rio Solimões, AM

Hor	pH		P ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	K	Na	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	SB	CTC	T ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾	m ⁽⁵⁾	C
	H ₂ O	KCl	mg kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c kg ⁻¹						%		g kg ⁻¹			
A	5,83	5,12	3	96	199	14	6,43	2,07	0,00	1,65	9,07	10,72	91	85	0	11,88
AC	6,18	5,19	145	84	62	16	7,04	2,15	0,00	0,23	9,42	9,65	98	98	0	2,59
2C ₁	6,49	4,94	62	43	65	19	9,06	2,45	0,00	0,42	11,76	12,18	64	97	0	3,29
2C ₂	6,37	4,53	146	83	38	22	8,91	3,54	0,00	1,07	12,64	13,71	90	92	0	1,76
3Au	6,38	4,99	165	898	45	58	12,46	2,61	0,00	2,16	15,44	17,60	80	88	0	3,36
3C ₁	6,70	4,83	74	215	48	40	12,42	2,71	0,00	1,43	15,43	16,85	88	92	0	2,01
3C ₂	6,66	4,67	4	83	47	44	12,97	3,58	0,00	1,08	16,86	17,94	100	94	0	1,68

⁽¹⁾P extraído em solução de ácido cítrico; ⁽²⁾P extraído por Melich 1; ⁽³⁾atividade da argila; ⁽⁴⁾ saturação por bases; e ⁽⁵⁾ saturação por alumínio.

Fonte: Macedo (2009).

Composição granulométrica e mineralógica dos sedimentos e solos das várzeas Amazônicas

Nos rios com água barrenta, como os Solimões, Madeira e Juruá, os valores do pH da água variam entre 6,5 e 7, e a carga de material em suspensão é $> 100 \text{ mg L}^{-1}$. Nos rios de água preta, como o Negro, Uatumã e Urubu, o pH da água varia entre 4 e 5,5, e a carga de sedimentos é normalmente $< 20 \text{ mg L}^{-1}$. Os rios de água clara, como o Xingu, Tapajós e Trombetas, apresentam pH entre 5 e 6 e carga de sedimentos $< 100 \text{ mg L}^{-1}$ (Oliveira e Andrade, 2010). Por sua natureza sedimentar, e por processos pedogenéticos recentes, os solos das várzeas guardam estreita relação com o material de origem, principalmente sedimentos provenientes das regiões andinas e subandinas, transportados pelas águas e depositados na planície aluvial (Irion, 1984; Victoria et al., 2000).

Nas planícies de inundação, os minerais nas frações das areias, que são predominantemente de tamanho pequeno ou muito pequeno, moderadamente a bem selecionados, angulosos a subangulosos, são predominantemente compostos de quartzo e micas; predominantemente, moscovita; e secundariamente, biotita. Uma fração de cerca de 5 % pode ser constituída de feldspatos e fragmentos de quartzitos, xistos e filitos (Rosseti et al., 2007). Nas várzeas amazônicas, os solos normalmente evidenciam teores elevados de silte, que podem ultrapassar 50 % da composição granulométrica de um solo, refletindo o baixo grau de pedogênese. No quadro 3, são apresentados os resultados de composição granulométrica e outros atributos físicos de alguns solos de várzeas da Amazônia, onde se observam os elevados teores de silte e a reduzida proporção de areia grossa. Os baixos percentuais de areia grossa indicam a incapacidade dos cursos d'água, na maioria dos eventos de chuva, em transportar sedimentos mais grosseiros até a planície sedimentar.

Quadro 3. Composição das frações granulométricas de Gleissolo e Neossolos Flúvicos de várzeas na Amazônia

Horizonte	Prof. (cm)	Areia		Silte	Argila	ADA ⁽¹⁾	GF ⁽²⁾	Classe textural
		Grossa	Fina					
% -----								
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico								
A	0 - 13	0	3	70	27	15	4,4	Franco-argilossiltoso
ACg	13 - 35	1	5	65	29	22	2,4	Franco-argilossiltoso
Cg	35 - 62	0	6	65	29	20	3,1	Franco-argilossiltoso
2Cg	62 - 100	0	0	58	42	32	2,4	Argilossiltosa
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico								
A	0 - 5	0	48	37	15	9	4,0	Franco
2C2	24 - 34	0	44	38	18	8	5,6	Franco
5C5	50 - 150	0	14	59	27	17	3,7	Franco-argilossiltoso
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico								
A	0 - 14	1	10	68	30	12	6,0	Franco-argilossiltoso
C	14 - 28	1	10	46	52	36	3,1	Argilossiltosa
2C2	28 - 70	1	23	6,2	1,4	12	1,4	Franco-siltoso
3C3	70 - 100	1	18	69	12	12	0,0	Franco-siltoso

⁽¹⁾ADA - Argila Dispersa em Água; e ⁽²⁾GF - Grau de floculação.

Fonte: Lima et al. (2007).

Os sedimentos mais densos ficam restritos às proximidades do leito menor do rio, formando ilhas e faixas alongadas paralelas às margens, extensas faixas em pontal ou longos bancos transversais ao rio. A presença de camadas com elevado percentual de sedimentos densos afastados do leito principal do rio muitas vezes indica a ocorrência de um evento de alagação extremo, com energia suficiente para transportar e depositar partículas mais densas. Os solos de várzea apresentam composição mineralógica variada, como reflexo da diversidade e da natureza recente do material de origem, das condições periódicas de hidromorfismo e do reduzido grau de pedogênese. Os dados de difração de raios X da fração da argila revelam uma assembleia mineralógica com a presença de esmectita, caulinita, clorita, vermiculita, ilita, lepidocrocita e ferrihidrita (Möller, 1986, 1991; Lima et al., 2006; Rosseti et al., 2007; Macedo, 2009; Souza, 2011). Em contraste com os solos de terra firme, bem drenados, os solos de várzea apresentam uma assembleia mineralógica da fração argila variada (Quadro 4). A presença de argilas de atividade alta, que evidenciam o fenômeno de expansão e retração, resulta em fendas, às vezes de grandes dimensões, que se abrem no solo quando reduz o teor de água, como durante as vazantes.

Quadro 4. Assembleia mineralógica das frações argila, silte e areia fina de Gleissolos e Neossolos das várzeas da Amazônia

Solo	Horiz.	Argila	Silte	Areia fina
GXve	A	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
	2Cg	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
RUve	A	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
	5C5	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
RUve	A	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg
	3C3	Cl, Vm, Es, Mi/Il, Ct, Qz	Qz, Ct, Mi/Il, Es, Cl, Vm, Fs	Qz, Mi/Il, Vm, Ct, Fs, Pg

Gxve - Gleissolo Háplico Ta Eutrófico; Ruve - Neossolo Flúvico Ta Eutrófico; Ct - caulinita; Cl - clorita; Es - esmectita; Fs - feldspato; Il - ilita; Mi - mica; Pg - plagioclásio; Qz - quartzo; e Vm - vermiculita.

Fonte: Lima et al. (2007).

Atributos químicos dos solos de várzea da Amazônia

Na grande parte das várzeas da Amazônia brasileira, os teores de nutrientes dos solos são elevados, notadamente Ca, Mg e P, enquanto os teores de acidez trocável (Al^{3+}) tendem a ser relativamente baixos. Contudo, teores elevados de Al^{3+} podem ocorrer especialmente no horizonte superficial de alguns Gleissolos (Quadro 5). Em geral, o Ca^{2+} é o cátion predominante no complexo de troca dos solos de várzea, seguido pelo Mg^{2+} e Na^{+} trocáveis, resultando em valores elevados de capacidade de troca de cátions (CTC), soma e de saturação por bases e valores reduzidos de saturação por Al^{3+} (Quadro 5). Os valores elevados da CTC desses solos em relação aos teores relativamente baixos de argila são explicados pela presença de argilas de atividade alta, que apresentam elevada densidade de cargas.

Quadro 5. Atributos químicos de Gleissolo e Neossolos Flúvicos de várzeas na Amazônia

Horiz.	pH		P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	AA	V	m
	H ₂ O	KCl												
	----- mg kg ⁻¹ -----			----- cmolc kg ⁻¹ -----										
	Gleissolo Háptico Ta Eutrófico													
A	4,84	3,58	69	46	38	9,86	3,21	2,50	6,37	13,35	19,72	73,36	68	16
Acg	5,83	3,97	34	39	66	12,45	4,99	0,48	3,44	17,83	21,27	74,06	84	3
Cg	5,94	4,02	33	30	73	11,92	5,33	0,35	2,57	17,65	20,22	66,64	87	2
2Cg	6,51	4,47	33	44	80	13,01	7,37	0,08	2,57	20,84	23,41	55,23	89	<1
	Neossolo Flúvico Ta Eutrófico													
A	5,40	3,91	25	79	32	10,62	2,52	0,51	5,53	13,48	19,01	124,9	71	4
C	5,98	4,39	71	52	33	10,79	2,37	0,10	3,15	13,43	16,58	-	81	1
2C2	5,76	4,26	108	38	32	10,88	2,42	0,10	3,20	13,54	16,74	94,15	81	1
3C3	5,21	3,78	78	47	39	10,49	2,50	0,99	5,10	13,28	18,38	-	72	7
4C4	5,48	3,96	67	46	41	11,37	3,11	0,54	3,72	14,78	18,5	-	80	4
5C5	5,60	4,02	45	44	63	11,17	3,44	0,42	3,20	14,99	18,19	68,20	82	3
	Neossolo Flúvico Ta Eutrófico													
A	5,38	4,36	92	300	186	9,04	3,34	0,19	5,62	13,96	19,58	65,27	71	1
C	5,62	4,14	14	72	59	10,08	4,41	0,35	3,79	14,93	18,72	36,00	80	2
2C2	6,36	4,43	11	39	44	4,87	4,98	0,13	1,88	10,14	12,02	85,86	84	1
3C3	6,41	4,44	173	35	48	4,04	5,62	0,13	1,73	9,96	11,69	97,42	85	1

SB - soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions a pH 7,0; AA - atividade da fração argila; V - saturação por bases; m - saturação por alumínio da CTC efetiva.

Carbono orgânico e nitrogênio em solos de várzea da Amazônia

De modo geral, os solos de várzea na Amazônia apresentam baixos teores de C-orgânico (Lima, 2001; Souza, 2007; Guimarães et al., 2010) e consequentemente de matéria orgânica (Quadros 2 e 5). Mesmo nos solos de drenagem mais restrita ou sujeitos à inundação mais frequente, como os Gleissolos, onde teoricamente o processo de decomposição da biomassa vegetal residual ocorre mais lentamente durante parte do ano, os teores de C-orgânico são baixos. Dados contidos em diversos relatórios do PROJETO RADAMBRASIL para a Amazônia (Moraes et al., 1995) revelam que Neossolos Flúvicos e Gleissolos Hápticos Eutróficos estão entre as classes de solos que possuem menor conteúdo de C-orgânico. Esses dados revelam também valores da relação C/N cerca de duas vezes mais alta nos Latossolos, em comparação com os solos da várzea, o que é atribuído a um mais avançado processo de humificação da matéria orgânica dos Latossolos. Os solos de

várzea eutróficos, descritos nos levantamentos do PROJETO RADAMBRASIL, e estudados por Souza (2007) e Lima et al. (2007), e que permanecem submersos durante grande parte do ano, apresentam, de modo geral, menores teores de C-orgânico do que os solos de terra firme na Amazônia, predominantemente os Latossolos e Argissolos. Os Organossolos e os Gleissolos Melânicos ocorrem em áreas muito restritas na Amazônia (Quadro 1). Segundo Alfaia et al. (2007), considerando que nos solos das várzeas da Amazônia Central o N é o principal nutriente limitante da produção e que grande parte dos agricultores não usa fertilizantes nitrogenados, a matéria orgânica do solo é a principal fonte natural de N para as plantas. Esses autores salientaram a importância do uso das leguminosas fixadoras de N_2 , que ocorrem naturalmente no ambiente de várzea, como componentes a serem manejados aos sistemas de produção das várzeas. Os agricultores ribeirinhos fazem uso da forma tradicional de manejo da terra, praticada por outras populações da Amazônia, substituindo as áreas de florestas e capoeiras por culturas de ciclo curto, como a mandioca e o milho, que, em seguida, são abandonadas para a recomposição da fertilidade do solo pelo pousio. Além da ciclagem de N em razão do pousio, os solos de várzea também podem ter adição desse elemento proveniente da fixação pelas leguminosas, que ocorrem naturalmente nas várzeas da Amazônia (Salati et al., 1983). Estudos de Kreibich et al. (2003) evidenciaram que o fluxo de N mineral nas camadas superficiais do solo foi maior próximo das plantas de leguminosas do que das não leguminosas, demonstrando a importância que essa tem no manejo dos ciclos do N nas áreas de várzea.

Efeitos da inundação sobre os atributos químicos dos solos

Durante as cheias, os solos das várzeas podem permanecer saturados por água por períodos que variam de dias a meses. Essa condição de saturação resulta em mudanças químicas, físicas, biológicas e mineralógicas; entre as quais, o decréscimo no potencial eletroquímico de elétrons ou potencial redox (Ponnamperuma, 1972; Reddy e DeLaume, 2008). Após um período de submersão, há aumento dos valores de pH nos solos ácidos e decréscimo nos alcalinos, mudanças na condutividade elétrica, na força iônica e na sorção e dessorção de íons (Reddy e Patrick Jr., 1975; Yu, 1991). A magnitude das alterações depende de atributos do solo como pH, teores e formas mineralógicas do Fe, Mn, S, N e C (Mello et al., 1992). Após a inundação, o suprimento de oxigênio para o solo é continuamente reduzido (McLatchey e Reddy, 1998) pelo consumo por bactérias aeróbicas e reações químicas de oxidação (Ponnamperuma, 1972). Com a redução, intensifica-se a atividade biológica anaeróbica; e, na ausência de O_2 , receptores alternativos de elétrons passam a ser usados, na seguinte sequência: nitrato e reduções de óxidos metálicos (Mn, Fe), do sulfato e do bicarbonato (McLatchey e Reddy, 1998; Liesack et al., 2000). A redução biológica do Fe durante o período de inundação, seguida por sua reoxidação, resulta no aumento da reatividade da fração de óxidos do solo, levando ao aumento da capacidade de adsorção de P (Alva et al., 1980). Após um período de alagamento, pode ocorrer empobrecimento do N no solo pela redução do nitrato a nitrito (desnitrificação), resultando em deficiências desse nutriente para as plantas, mesmo após o período de inundação ter finalizado. A dinâmica do P está intimamente ligada à diminuição de compostos de Fe e à elevação do pH, verificando-se geralmente aumento na sua disponibilidade com a inundação. Nutrientes como K, Ca e Mg têm suas disponibilidades aumentadas pela inundação, atribuídas ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe^{2+} , Mn^{2+} e NH_4^+ . Os micronutrientes - Cu, Zn, Mn, Mo, Fe e B - podem apresentar problemas de

excesso ou deficiência no solo, em razão principalmente das mudanças de pH, acarretando dificuldades para o desenvolvimento dos vegetais (Ponnamperuma, 1977).

USO AGRÍCOLA DOS SOLOS DAS VÁRZEAS AMAZÔNICAS

O uso agrícola dos solos das várzeas da região Amazônica é determinado basicamente pelo período de submersão a que esses estão submetidos e, conseqüentemente, pela limitação de O_2 , dado que na grande maioria dessas áreas não há limitações quanto à fertilidade dos solos. Os agricultores têm desenvolvido práticas de convivência com as limitações impostas pelo excesso de água no solo, decorrente da proximidade do lençol freático, as quais incluem a seleção das áreas para determinada cultura, a seleção das culturas e as práticas de cultivo e manejo. Em geral, a maior parte dos cultivos se concentra nas áreas mais elevadas, que compreendem os diques marginais, algumas ilhas mais altas ou partes mais altas no interior da várzea (terraços). Nos terraços, predominam Neossolos Flúvicos, enquanto as partes mais baixas (restingas) são dominadas por Gleissolos Háplicos.

Uma das revisões mais abrangentes feitas sobre as potencialidades agrícolas das várzeas fluvio-marinhas da Região Amazônica, em especial, foi apresentada por Lima et al. (2000).

Cultivo de hortaliças

Próximo aos grandes centros urbanos, como Manaus, Belém e Santarém, a seleção das espécies cultivadas na várzea, além de atender as variáveis de adaptação ambiental, também obedece às demandas do mercado, havendo, nessas localidades, o cultivo de hortaliças. Para conviver com o excesso de água no solo, em muitas dessas áreas, o cultivo de hortaliças é feito em camalhões, ou diques, acompanhando o declive da área para facilitar a drenagem e escoamento das águas superficiais. Nos plantios transversais aos declives ou em curvas de nível ocorre aumento excessivo de umidade no solo, ocasionando doenças e alta mortalidade de plantas na área de cultivo (Souza, 2007). Em geral, não se faz uso de implementos agrícolas de tração animal ou mecanizada nas áreas da Amazônia Central; praticamente, não se faz o revolvimento do solo, além da formação dos camalhões para o cultivo das hortaliças. O plantio das demais espécies é feito em covas rasas e com pouco preparo do solo, após a vazante nas áreas, que ficam limpas, ou após capina e queima nas áreas com vegetação natural (Figura 5). Souza (2007), estudando o uso do solo em comunidades de várzea no trecho Coari-Manaus, observou a adoção de consórcios de hortaliças (alface com cebolinha e coentro com cebolinha) (Figura 2), entre hortaliças e frutíferas (mamão, pimenta-de-cheiro e chicória) (Figura 3), além de outras espécies, como milho e malva, milho e feijão.

Cultivo de fibras: Juta e malva

A juta (*Corchorus capsularis*) foi trazida por colonos japoneses na década de 1930, para a cidade de Parintins, AM. Após um período de seleção, houve grande expansão do cultivo

de fibras ao longo de quase toda a extensão de várzea do rio Amazonas no período pós-guerra (Tsunoda, 1988; Homma, 1998). Nos primeiros anos, a juta revitalizou a economia da várzea e melhorou significativamente a renda da população. Entretanto, a partir da década de 1970, o cultivo de juta entrou em decadência e praticamente desapareceu da várzea a partir da primeira metade da década de 1980. Recentemente, com o incentivo de programas governamentais, a produção de malva (*Urena lobata*) e juta vem sendo retomada. A mais importante limitação ao avanço da cadeia produtiva dessas culturas é o processo de extração das fibras, em razão da insalubridade das condições de trabalho que requer várias horas contínuas de trabalho dentro da água. A juta é cultivada nas áreas mais baixas, restingas baixas, por causa do seu ciclo mais curto, estando pronta para o corte por ocasião do início da subida das águas. A malva é normalmente cultivada nas áreas um pouco mais elevadas (restinga altas) para ser cortada e processada quando estiver pronta para a colheita, que é realizada dentro da água. O fato de poder ser armazenada para a posterior comercialização faz dessas culturas boa opção para as comunidades mais distantes de centros consumidores de produtos agrícolas.

Pastagens nas várzeas amazônicas

A criação de gado foi introduzida na Região Amazônica brasileira pelos portugueses no século XVII, inicialmente no Estado do Pará ao longo do rio Amazonas. A bovinocultura na Amazônia sempre foi caracterizada por criações extensivas em pastagens naturais, principalmente pastagens de várzea, em um sistema de cria, recria e terminação (Perin et al., 2009). É uma atividade em expansão, tanto pelos grandes e médios quanto pelos pequenos fazendeiros. Essa expansão trouxe à tona o debate sobre a sustentabilidade da pecuária como atividade econômica na Amazônia, em razão de essa atividade estar associada às principais causas de desmatamento. Recentemente, estudos sobre os sistemas de integração lavoura – pecuária – floresta (ILPF) têm apresentado que é possível diminuir a conversão de áreas de vegetação nativa em pastagens pela intensificação da produção das áreas já desmatadas. Nesse sistema, espécies forrageiras adaptadas às inundações periódicas podem ser exploradas de forma econômica e com a preservação do meio ambiente, dada à grande extensão das áreas de várzea, à fertilidade e à produtividade dos solos, bem como a uma atividade com grande potencial de expansão (Nascimento e Homma, 1984). Dentre as principais espécies adaptadas às várzeas, destacam-se as gramíneas *Brachiaria subquadriflora* e *Brachiaria mutica* (Perin et al., 2009). Nas proximidades de Belém, PA, as espécies forrageiras como a canarana de Paramaribo (*Echinochloa polystachya*) e a canarana ereta lisa (*Echinochloa pyramidalis*) têm apresentado bom rendimento quando cultivadas nas áreas de várzea (Camarão e Souza Filho, 1999). A grande extensão de pastagens nas várzeas da Amazônia se concentra na ilha do Marajó, que possui uma área aproximada de 50 000 km² de pastagens, onde a atividade pecuária é a principal e quase única aptidão daquele ambiente. Na ilha de Marajó, há criação também de bubalinos, que utilizam principalmente as pastagens da região dos lagos; no período das enchentes, as elevações do terreno onde não chegam as águas, denominadas de tesos, são utilizadas como refúgio pelos rebanhos. Os búfalos vêm apresentando melhores índices zootécnicos, em razão da sua melhor adaptação ao pastejo em áreas alagadas, consumindo, durante o ano todo, pastagens de boa qualidade nutricional (Magalhães et al., 2011). A pastagem como base alimentar da pecuária de corte poderia permitir a produção do chamado “boi verde”, que consiste da atividade pecuária com a criação dos animais em pastagens; a produção com esse manejo obtém melhores preços em mercados mais exigentes. Em

várias áreas da várzea amazônica, a criação de bovinos caracteriza-se por um sistema migratório, em que, durante a estação chuvosa, os animais permanecem nas pastagens de baixa qualidade nas áreas de terra firme, com baixo rendimento e frequentemente perda de peso dos animais. Com as vazantes das águas, as várzeas são cobertas por pastagens de boa qualidade, para onde os bovinos são transferidos. Nessas pastagens de várzeas, os animais apresentam ótimos índices de ganho de peso. A integração lavoura-pecuária-floresta, que poderia se concretizar como alternativa para a renovação das pastagens das áreas de terra firme, tem como entrave a falta de tradição na semeadura de lavouras de grão em várias localidades da Amazônia. A deficiência de N nos ambientes de várzea e consequentemente nos ecossistemas de pastagens pode ser superada com o uso combinado de leguminosas forrageiras adaptadas ao ambiente de várzeas. O melhor aproveitamento das áreas de pastagens de várzeas para a exploração pecuária com bubalinos e bovinos está na dependência de estudos de seleção de gramíneas nativas e introduzidas (Nascimento et al., 1987) e melhorias no manejo do rebanho.

Sistemas agroflorestais em áreas de várzea

O primeiro ciclo econômico da Amazônia foi a fase de extração das “drogas do sertão” e tinha nas amêndoas de cacau seu principal produto. O extrativismo e o cultivo semidomesticado do cacauzeiro (*Theobroma cacao*) foram a primeira atividade econômica na Amazônia, que perdurou até a época da independência do Brasil, quando foi suplantado pelos plantios da Bahia. A Amazônia brasileira é depositária de grande parte da biodiversidade dos gêneros *Theobroma* e *Hevea*, espécies encontradas amplamente disseminadas nas matas de terra firme e nas várzeas dos principais rios da região. Os cultivos mistos, consórcios ou sistemas agroflorestais são comumente empregados nas várzeas amazônicas e, entre esses, um sistema de uso da terra de grande uso e potencialidade são os plantios de seringueiras e cacauzeiros. Esse sistema é comumente encontrado nas várzeas altas dos rios Solimões, Madeira e Amazonas.

A exploração dos açaiçais

O açazeiro (*Euterpe oleracea*) é nativo da Amazônia brasileira e o Estado do Pará é o principal centro de dispersão natural dessa palmácea. Nas várzeas da região do golfão Marajoara, encontram-se as maiores e mais densas populações naturais dessa palmeira, sendo estimado que os açaiçais nativos tenham uma área de 1 Mha. O açazeiro é importante alimento para as populações locais, além de ser a principal fonte de matéria-prima para a agroindústria de palmito no Brasil. Em condições naturais, a densidade de açazeiro nas populações nativas é maior nos solos de várzea alta, devendo ser priorizada a implantação de cultivos racionais e o manejo de populações nativas dos açazeiros (Nogueira et al., 2004).

Cultivos de ciclo curto nas várzeas amazônicas

A mandioca (*Manihot esculenta*) é a espécie vegetal mais cultivada nas várzeas amazônicas, sendo a principal fonte de carboidratos para a população. O ciclo curto de alguns cultivares de mandioca torna as várzeas viáveis para o cultivo, sendo o maior

obstáculo a obtenção de cultivares que sejam resistentes às doenças, especialmente a podridão radicular. Dentre os cultivares selecionados para o ambiente de várzeas, destacam-se a Mãe Joana, Amazonas-Embrapa e Flor de Boi, que apresentam ciclo de cinco a sete meses, podendo ser cultivados e colhidos no período das vazantes e início das enchentes. Essas variedades apresentam produtividade média em torno de 15 t ha⁻¹ de tubérculos frescos, podendo alcançar até 24 t ha⁻¹.

Na Amazônia, o feijão-caupi ou feijão-de-praia (*Vigna unguiculata*) é cultivado principalmente nas áreas de várzeas. A Embrapa tem pesquisado e lançado variedades específicas para o cultivo do feijão-caupi nesse ambiente, entre essas as variedades BR IPEAN V69 e BR8 Caldeirão.

O milho também apresenta variedades com grande potencial para o cultivo nas várzeas, com destaque para as variedades selecionadas; os plantios de milho nas áreas de várzeas não necessitam da prática de calagem para correção da acidez, que por causa dos elevados preços de frete torna esse produto muito oneroso na Amazônia. Tanto para a mandioca como para o milho, o controle das plantas daninhas é um dos fatores principais para o aumento da produtividade nas áreas de várzea (Cravo et al., 2002). A fertilidade do solo que garante o crescimento das espécies cultivadas também possibilita o crescimento das espécies invasoras, cujo controle constitui um dos maiores desafios para o manejo do solo nas várzeas.

A produção do arroz (*Oryza sativa*) no Brasil é proveniente na sua maioria de ecossistema de várzea, sendo a rizicultura irrigada considerada como estabilizadora da safra nacional, uma vez que não é tão dependente das condições climáticas, como no caso dos cultivos de sequeiro. Na área da Amazônia Legal, é uma atividade de expressão econômica nas áreas de várzea nos Estados do Tocantins, Maranhão e Amapá.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocupação humana da Amazônia tem sido debatida há muitas décadas (Becker, 1980; Meggers, 1987). Várias hipóteses buscavam explicar a aparente inexistência de sociedades complexas nas terras baixas, em contraposição às complexas sociedades andinas (Incas, Chimú, Nazca, Paracas) e da América central (Maias, Olmecas, Aztecas). Meggers (1987) elaborou uma tipologia de paisagens com base na capacidade produtiva dos solos, para demonstrar como o meio ambiente impunha limitações ao desenvolvimento cultural, distinguindo dois ambientes principais na Amazônia: a terra firme, de solos pobres; e a várzea, beneficiada pela fertilização anual dos rios. Acredita-se que a ocupação humana na Amazônia não só é bastante antiga (Roosevelt, 1991), como, em alguns lugares, foi intensa, permitindo inclusive o surgimento de grandes cacicados (Neves e Petersen, 2006; Heckenberg et al., 2008). O modelo de agricultura amazônica que vem surgindo desses estudos é complexo, provavelmente com o uso de sistemas mistos de maior complexidade que os monocultivos. Apesar das críticas às hipóteses dos fatores limitantes à ocupação humana na Amazônia, vários autores (Lathrap, 1975; Meggers, 1987) concordaram que a várzea e as áreas em rios de águas pretas ou em terra firme apresentam oportunidades e limitações distintas. As várzeas são capazes de sustentar os maiores assentamentos humanos graças à fertilidade do solo e facilidade de acesso aos recursos da fauna aquática.

Apesar de ser mais fértil, a exploração das várzeas requer um manejo diferenciado, dada à impossibilidade de se cultivar ao longo de todo o ano e em razão da imprevisibilidade de inundações extremas, que submergem mesmo os terrenos mais altos (Denevan, 1996). Entretanto, a agricultura de terra firme na Amazônia também apresenta riscos ocasionais como as secas extremas por causa de fenômenos do tipo *El Niño* ou *La Niña*, que interferem em diferentes partes da Amazônia, reduzindo drasticamente a precipitação em alguns lugares e aumentando em outras (Meggers, 2004).

A ampliação do uso das áreas de várzea na Amazônia, apesar da grande oferta de terras com potencial para sustentar atividades agrícolas, deverá ter sua aptidão zoneada, monitorada e condicionada por pesquisas e inovações tecnológicas para o uso e manejo racional desse frágil ecossistema. Uma ação conjunta dos diversos atores envolvidos na pesquisa e no desenvolvimento e da legislação viabilizaria o uso e o desenvolvimento sustentável sob o aspecto econômico e o ambiental das várzeas. Para o ordenamento da ocupação das várzeas, uma das áreas com maior pressão antrópica na Amazônia, faz-se necessária uma discussão dos aspectos que envolvem o Código Florestal, que descreve como áreas de preservação permanente como as florestas e demais formas de vegetação florestal, situadas ao longo dos rios, desde o seu nível mais alto em faixa marginal, cuja largura mínima será de 500 m para cursos d'água que tenham largura superior a 600 m. As áreas alagadas pelas cheias dos grandes rios na Amazônia atingem várias localidades, em dezenas de quilômetros do leito do rio. Numa interpretação direta da legislação, toda a agricultura de várzea está sendo feita nas áreas de proteção permanente.

O ambiente das várzeas na Amazônia é provavelmente o mais dinâmico em termos de alterações da sua forma por fenômenos geomorfológicos, sendo também um dos mais ricos e biodiverso. Têm peculiaridades e dimensões, que necessitam de um zoneamento com metodologias específicas. Para a aptidão agrícola, é fundamental um levantamento das estimativas dos tempos de alagamento dos diversos ambientes das várzeas (restinga baixa, restinga alta, terraços), assim como a criação dos comitês das bacias hidrográficas para monitorar e ordenar a ocupação e o uso das áreas das várzeas Amazônicas. O zoneamento deverá ser feito numa escala compatível com a variabilidade dessa unidade de paisagem. Por meio de estudos e regulamentações, poderão ser selecionadas áreas de várzea para preservação e áreas para produção agrícola, nesse ambiente com solos férteis e com ampla possibilidade de desenvolvimento de atividades agrícolas sustentáveis.

LITERATURA CITADA

- Albernaz AL, Costa LRF. Conservação da várzea: características ambientais e importância. In: Albernaz AL, organizador. Conservação da várzea: identificação e caracterização de regiões biogeográficas. Manaus: Ibama/ProVárzea; 2007. p.16-9.
- Alfaia SS, Neves AL, Ribeiro GA, Fajardo JDV, Uguen K, Ayres MIC. Caracterização dos parâmetros químicos dos solos de várzea em diversos sistemas de uso da terra ao longo da calha dos rios Solimões/ Amazonas. In: Noda SN, editor. Agricultura familiar na Amazônia das águas. Manaus: EDUA; 2007. p.67-89.
- Almeida SSD, Amaral DDD, Silva ASLD. Análise florística e estrutura de florestas de várzea no estuário amazônico. Acta Amaz. 2004;34:513-24.

- Alva AK, Larsen S, Bille SW. The influence of rhizosphere in rice crop on resin-extractable phosphate in flooded soils at various levels of phosphate applications. *Plant Soil*. 1980;56:17-25.
- Ayres JM. *As matas de várzea do Mamirauá: Médio Rio Solimões*. 3ª.ed. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; 2006.
- Bates HW. *Um naturalista no Rio Amazonas*. Belo Horizonte: Itatiaia; 1979.
- Becker BK. *Amazônia*. São Paulo: Ática; 1980.
- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SA 21. Santarém. Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: 1976. (Levantamento de Recursos Naturais, 10)
- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SA 20. Manaus. Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra [mapa] Rio de Janeiro; 1978.
- Camarão AP, Souza Filho APS. *Pastagens nativas da Amazônia*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; 1999.
- Carim MDJV, Jardim MAG, Medeiros TDS. Composição florística e estrutura de floresta de várzea no município de Mazagão, Estado do Amapá, Brasil. *Sci For*. 2008;79:191-201.
- Carvalho JAL. *Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracouera, Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM* [dissertação]. Manaus: Universidade Federal Amazonas; 2006.
- Correa JC, Bastos JB. Os solos das várzeas do Paraná dos Ramos (município de Barreirinha - Amazonas) e sua fertilidade. Manaus: Embrapa-Uepae de Manaus; 1982. (Boletim de Pesquisa, 1).
- Costa MLD, Behling H, Suguio K, Kämpf N, Kern DC. Paisagens amazônicas sob a ocupação do homem pré-histórico: uma visão geológica. In: Teixeira WG, Kern DC, Madari BE, Woods WI, editores. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: Universidade Federal da Amazônia/Embrapa; 2010. p.15-38.
- Cravo MS, Xavier JJBN, Dias MC, Barreto JF. Características, uso agrícola atual e potencial das várzeas no Estado do Amazonas. *Acta Amaz*. 2002;32:351-65.
- Dantas M, Maia MAM. Compartimentação geomorfológica. In: Maia MAM, editores. *Geodiversidade do estado do Amazonas*. Manaus: CPRM; 2010. p.27-44.
- Denevan W. A bluff model of riverine settlement in prehistoric Amazonia. *Ann Assoc Am Geogr*. 1996;86:654-81.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de uma área de colonização no município de Careiro, estado do Amazonas. Manaus: 1984a.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª.ed. Rio de Janeiro: 2006.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Levantamento semi-detalhado dos Solos da Estação Experimental do Caldeirão (Iranduba). Belém: Embrapa CPATU; 1990.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de uma área de colonização no município de Uruará, estado do Amazonas. Rio de Janeiro: 1984b. (Boletim de pesquisa, 30).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e

- avaliação da aptidão agrícola das terras de uma área de colonização no município de Barreirinha, estado do Amazonas. Rio de Janeiro: 1984c. (Boletim de pesquisa, 32).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de 21.000 hectares no município de Tefé, Amazonas. 1983.
- Fajardo JDV, Souza LAGD, Alfaia SS. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. *Acta Amaz.* 2009;39:731-40.
- Falesi IC. Estado atual de conhecimentos de solos da Amazônia brasileira. In: Anais do 1º Simpósio do Trópico Úmido; 1984; Belém. Belém: Embrapa-CPATU; 1986. p.168-91.
- Filizola N, Guyot JL, Wittmann H, Martinez JM, Oliveira ED. The significance of suspended sediment transport determination on the Amazonian hydrological scenario. In: Manning AJ, editor. *Sediment transport in aquatic environments*. [place unknown]: InTech; 2011. p.45-64.
- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM - Município de Parintins. Belo Horizonte: 1986c.
- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM - Município de Manacapuru. Belo Horizonte: 1986d.
- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM - Município de Barreirinha. Belo Horizonte: 1986a.
- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM - Município do Careiro. Belo Horizonte: 1986b.
- Gama JRV, Botelho SA, Gama MDMB, Scolforo JRS. Estrutura e potencial futuro de utilização da regeneração natural de floresta de várzea alta no município de Afuá, estado do Pará. *Ci Flor.* 2003;13:71-82.
- Guimarães ST, Lima HN, Teixeira WG, Junior N, Ferreira A, Silva FWR, Macedo RS, Souza KWD. Characterization and classification of gleysoils on the floodplain of the Solimões river (Iranduba and Manacapuru), Amazonas, Brazil. *Rev Bras Cienc Solo.* 2013;37:317-26.
- Heckenberger MJ, Russell JC, Fausto C, Toney JR, Schmidt MJ, Pereira E, Franchetto B, Kuikuro A. Pre-Columbian Urbanism, Anthropogenic Landscapes, and the future of the Amazon. *Science.* 2008;321:1214-7.
- Homma AKO. A civilização da juta na Amazônia - expansão e declínio. In: Homma AKO, editor. *Amazônia: Meio Ambiente e desenvolvimento agrícola*. Brasília: Embrapa-SPI; 1998. p.33-60.
- Igreja H, Franzinelli E. Aspectos das "terras-caídas" na região amazônica. In: Anais do 8º. Simpósio de Geologia da Amazônia [CD ROM]; 2005; Belém. Belém: 2005.
- Irion G. Clay minerals of Amazonian soils. In: Sioli H, editor. *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht: W. Junk; 1984. p.537-79 (Monographiae biologicae, 56).
- Junk WJ. Ecology of varzea, floodplain of the Amazonian white-water rivers. In: Sioli H, editor. *The Amazon: limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin*. Dordrecht: W Junk; 1984. p.215-43.

- Kämpf, N, Kern DC. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. *Tópicos Ci Solo*. 2005;4:277-320.
- Kern DC, Kämpf N, Woods WI, Denevan WM, Costa MLD, Frazão FJL, Sombroek W. Evolução do conhecimento em Terra Preta de Índio. In: Teixeira WG, Kern DC, Madari BE, Lima HN, Woods WI, editores. *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: EDUA - Embrapa; 2010. p.72-81.
- Kreibich H, Lehmann J, Scheufele G, Kern J. Nitrogen availability and leaching during the terrestrial phase in a várzea forest of the Central Amazon floodplain. *Biol Fert Soils*. 2003;39:62-64.
- Lathrap DW. *O Alto Amazonas*. São Paulo: Verbo; 1975.
- Latrubesse E, Franzinelli E. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology*. 2002;44:241-57.
- Lima HN, Melo JWV, Schaefer EGR, Ker JC, Lima AMN. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do rio Solimões, Amazônia Central. *Rev Bras Cienc Solo*. 2006;30:59-68.
- Lima HN, Teixeira GW, Souza KWD. Os solos da paisagem da várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus. In: Fraxe TDP, Pereira HDS, Witkoski AC, editores. *Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais*. Manaus: EDUA; 2007. p.35-54.
- Lima RR, Tourinho MM, Costa JPCD. *Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira: características e possibilidades agropecuárias*. Belém: FCAP; 2000.
- Macedo RS. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) em áreas de várzea do rio Solimões, AM [dissertação]. Manaus: Universidade Federal do Amazonas; 2009.
- Magalhães JA, Townsend CR, Costa NDL, Pereira RGDA. Desempenho produtivo de búfalos em sistemas silvipastoris na Amazônia Brasileira. *Pubvet*. 2011; 5:1-8.
- Marbut CF, Manifold CB. The soils of the Amazon basin in relation to their agricultural possibilities. *Geogr Rev*. 1926;16:414-42.
- Mclatchey GP, Reddyk R. Regulation of matter decomposition and nutrient release in wetland soil. *J Environ Qual*. 1998;27:1268-74.
- Meggers B. *Amazônia: a ilusão de um paraíso*. 2ª.ed. Belo Horizonte: Itatiaia; 1987.
- Meggers B. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. *Climatic Change*. 2004;28:321-38.
- Mello JWV, Fontes MPF, Ribeiro AC, Alvarez V VH. Inundação e calagem em solos de várzea: I. alterações em pH, Eh e teores de Fe²⁺ e Mn²⁺ em solução. *Rev Bras Cienc Solo*. 1992;16:309-17.
- Möller MRF. Mineralogia de argilas de solos da região Amazônica brasileira. *Anais do 1º Simpósio do Trópico Úmido*, Belém, 1984. Belém: Embrapa-CPATU; 1986. p.214-23.
- Möller MRF. Substituição isomórfica em óxidos de ferro de Latossolos da Amazônia e suas implicações na sorção de fósforo [tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 1991.
- Moraes JFL, Neill C, Volkoff B, Cerri CC, Melillo J, Lima VC, Steudler PA. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin. *Soil Sci Soc Am J*. 1995;59:224-47.
- Nascimento C, Homma A. *Amazônia: meio ambiente e tecnologia agrícola*. Belém: Embrapa/CPATU; 1984.
- Nascimento CNB; Carvalho LODM, Camarão AP, Lourenço Jr JB, Moreira ED, Salimos, EP, Pereira WS. Introdução e avaliação de gramíneas forrageiras em várzea alta, várzea baixa e igapó. Belém: Embrapa-CPATU; 1987. (Boletim pesquisa, 85)

- Neves EG, Petersen JB. The political economy of Pre-Columbian Amerindians: landscape transformations in Central Amazonia. In: Balée W, Erickson C., editors. Time and complexity in historical ecology: studies in the Neotropical Lowlands. New York: Columbia University Press; 2006.
- Nogueira OL, Figueirêdo FJC, Muller AA. Açai. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; 2005. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de Produção, 4).
- Oliveira DD, Andrade NM. Recursos hídricos superficiais. In: Maia MAM, Marmos JL, editores. Geodiversidade do estado do Amazonas. Manaus: UFAM; 2010. p. 47-58.
- Parolin P, De Simone O, Haase K, Waldhoff D, Rottenberger S, Kuhn U, Kesselmeier J, Kleiss B, Schmidt W, Pledade M, Junk W. Central Amazonian floodplain forests: Tree adaptations in a pulsing system. *Bot Rev.* 2004;70:357-80.
- Perin R, Martins GC, Muniz SR, Linhares GM. Sistema de pastejo rotacionado intensivo como alternativa para a recuperação de áreas degradadas no estado do Amazonas. *Amazônia: Ci Desenv.* 2009;4:236-43.
- Ponnamperuma FN. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. Los Baños: IRRI; 1977. (Research Paper Serie, 5)
- Ponnamperuma FN. The chemistry of submerged soils. *Adv Soil Sci.* 1972;24:29-96.
- Reddy KR, Delaune RD. Biogeochemistry of Wetlands: science and applications. Boca Raton: CRC; 2008.
- Reddy KR, Patrick Jr WH. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in flooded soil. *Soil Biol Biochem.* 1975;7:87-94.
- Rodrigues TE, Morikawa IK, Reis RS, Falesi IC. Solos do Distrito Agropecuário da SUFRAMA (trecho: km 30/km 79 - Rod. BR-174. Manaus: IPEAOC; 1971. (IPEAOC, Série: Solos, v.1, n.1)
- Rodrigues TE. Solos da Amazônia. In: Alvarez V HV, Fontes LEF, Fontes MPF, editores. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 1996. p.16-60.
- Roosevelt, A.C. Determinismo ecológico na interpretação do desenvolvimento social indígena da Amazônia. In: Neves W, editores. Origem, adaptações e diversidade biológica do homem nativo da Amazônia. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi; 1991. p.103-59.
- Rossetti D, Goes AM, Toledo PM, Santos Junior AE, Paz J. Reconstrução de paisagens pós-miocênicas na Amazônia brasileira. In: Ana Albernaz AL, editor. Conservação da Várzea: identificação e caracterização de regiões biogeográficas. Manaus: Pró-várzea/IBAMA; 2007. p.29-64.
- Salati E, Junk WJ, Shubart HOR, Oliveira AED. Amazônia: Desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Brasiliense/CNPq; 1983.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Cunha Tjf, Oliveira JB, editores. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª.ed. Brasília, DF: Embrapa; 2013.
- Sioli H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river basin. Dordrecht: W. Junk; 1984.
- Souza KW. Gênese, mineralogia, micromorfologia e formas de fósforo em arqueo-antropossolos da várzea do rio Amazonas [tese]. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; 2011.
- Souza KW. Uso do solo em comunidades de várzea do rio Solimões do trecho Coari-Manaus [dissertação]. Manaus: Universidade Federal do Amazonas; 2007.
- Sternberg HOR. A água e o homem na várzea do Careiro. 2ª.ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi; 1998.

- Teixeira GW, Martins GC, Lima HN. An Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian Amazon. In: Rios GM, Camargo SM, Calvo CF, editors. *Pueblos y paisajes antiguos de la Selva Amazónica*. Bogotá / Washington: Universidad Nacional; 2006. p.293-300.
- Teixeira WG, Arruda W, Lima HN, Iwata SA, Martins GC. Building a digital soil database of the Solimões river region in the Brazilian Central Amazon. In: Hartemink AE, Mcbratney A, Mendonça Santos MDL, editors. *Digital soil mapping with limited data*. Heidelberg: Springer; 2008. p.327-35.
- Teixeira WG, Arruda W, Shinzato E, Macedo RS, Martins GC, Lima HN, Rodrigues TE. Solos do estado do Amazonas. In: Maia MAM, Marmos JL, editores. *Geodiversidade do estado do Amazonas*. Manaus: CPRM; 2010b. p.71-86.
- Teixeira WG, Pinto WH, Lima HN, Macedo RS, Martins GC, Arruda WC. Os solos das várzeas próximas a calha do Rio Solimões - Amazonas no Estado do Amazonas. In: *Workshop Geotecnologias Aplicadas às Áreas de Várzea da Amazônia; 2007*; Manaus. Manaus: IBAMA; 2007. p.29-36.
- Teixeira WG, Kern DC, Madari BE, Lima HN, Woods WI. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: EDUA; 2010a.
- Tsunoda F. *Canção da Amazônia: uma saga na selva*. Rio de Janeiro: Francisco Alves; 1988.
- Victoria RL, Martinelli LA, Cunha HB, Richey JE. The Amazon basin and its natural cycles. In: Salati E, Absy ML, Victoria RL, editors. *Amazônia: um ecossistema em transformação*. Brasília: CNPq; 2001. p.163-214.
- Vieira LS, Santos PCT. *Amazônia: seus solos e outros recursos naturais*. São Paulo: Agronômica Ceres; 1987.
- Williams E, Dall' Antonia A, Dall' Antonia V, Almeida JMD, Suarez F, Liebmann B, Malhado ACM. The drought of the century in the Amazon Basin: an analysis of the regional variation of rainfall in South America in 1926. *Acta Amaz.* 2005;35:231-8.
- Worbes M. The forest ecosystem of the floodplain. In: Junk W, editor. *The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system*. Heidelberg: Springer; 1997. p.223-66.
- Yu TR. Physico-chemical properties of acid soils of the tropics relation to rice growth. In: Deturck P, Ponnampuruma FN, editors. *Rice production on acid soils of the tropics*. Kandy, Sri Lanka: Institute of Fundamental Studies; 1991. p.33-42.