

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA
FERTILIDADE DOS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS

CRISTÓVÃO GOMES PLÁCIDO JÚNIOR

Manaus

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

CRISTÓVÃO GOMES PLÁCIDO JÚNIOR

DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA
FERTILIDADE DOS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia Tropical, na área de concentração Agroecologia.

Manaus
2007

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pelo apoio na minha formação profissional;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pela sua importância no desenvolvimento da pesquisa no estado e em especial neste trabalho.

À Embrapa Amazônica Ocidental pelo apoio logístico para realização deste trabalho;

Ao Banco da Amazônia (BASA), pela oportunidade oferecida;

Ao meu orientador, Dr. Adônis Moreira, pelas sugestões, paciência e confiança na orientação;

Ao Professor Hedinaldo Narciso Lima pelas sugestões do plano de trabalho e amizade;

Ao pesquisador Dr. José Ricardo Pupo Gonçalves pela confecção das figuras;

Aos colegas de pós-graduação pelo apoio, confiança e paciência quando precisei desenvolver essa pesquisa;

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho

RESUMO

DISTRIBUIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA FERTILIDADE DOS SOLOS DO ESTADO DO AMAZONAS

Os solos da Amazônia tropical úmida, onde se localiza o Estado do Amazonas, são constituídos por cerca de 75% Latossolos (Oxisols) e Argissolos (Ultisols) e formado basicamente por duas unidades geomorfológicas “Terra Firme” – denominação regional, com relevo variando de ondulado a levemente ondulado, localizados em áreas que não sofrem influência da enchentes dos rios com predominância de solos ácidos com altos teores de alumínio tóxico e ocupam 80% da região. As várzeas com aproximadamente 60.000 km² com diferentes gradientes de fertilidade, devido a deposição de sedimentos de variadas origens mineralógicas, composição orgânica e tamanho de partículas variados derivados das Cordilheiras dos Andes e dos barrancos dos rios (fenômeno conhecido como terras caídas).

Os solos são caracterizados pela baixa disponibilidade de nutrientes. O presente trabalho teve por objetivo fornecer dados mais substanciais sobre a fertilidade do solo do Estado do Amazonas. Foram usados os resultados das análises de 3340 amostras de terra, abrangendo os 62 municípios do Estado, as quais haviam sido coletadas durante 30 anos. Na ausência de coordenadas geográficas, foi assumido que as amostragens foram realizadas aleatoriamente no município.

Exceto o pH e a CTC, os atributos químicos dos solos (P, K, Ca, Mg, Al, H+Al e saturação por bases) apresentaram grande variação na distribuição. Os solos, na sua maioria, foram caracterizados pela elevada acidez, teores intermediários de MOS, baixos de P, K Ca e Mg e altos de H e H+Al trocável. Em geral, a saturação por bases foi menor que 20%, valor considerado baixo para a maioria das culturas.

São necessários estudos, com ênfase ao melhoramento genético de plantas nativas com grande potencial de produção e à fertilização para a utilização sustentável dos solos do Amazonas para fins agrícolas.

SUMMARY

DISTRIBUTION AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE SOIL FERTILITY IN AMAZONAS STATE, BRAZIL

The soils of the Amazon tropical humid area are represented by about 75% of Oxisols and Ultisols and formed basically by two geomorphologic units, Upland (“Terra Firme” – a regional denomination), with a relief that varies from slightly wavy to wavy, presenting flat and dissected areas, constituted by small hills and narrow valleys that are located out of the reach of the rivers floods, with predominance of acid soils of high Al toxicity that occupy about 80% of the region. The floodplains (locally designated as “Várzea”), includes areas with approximately 60,000 km² with different fertility gradients, due to the deposition of sediments of varied mineralogical origin, organic composition and particle sizes, derived from the Andes Mountains and falling of rivers banks.

The soils of Amazon are characterized by small availability of nutrients. The present study was carried out to provide more substantial data about soil fertility of Amazonas State, Brazil. Results from 3340 soil samples from all 62 counties of the State and that were collected during the past 30 years were used. In the absence of geographical coordinates, it was assumed that sampling points were uniformly scattered over each county.

Chemical attributes (P, K, Ca, Mg, Al, H+Al and base saturation) showed high variability, exception made to pH and CEC. The soils of region were mainly characterized by high acidity (pH), high level of exchangeable Al and H+Al,

intermediate content of organic matter and low contents of P, K, Ca and Mg. Overall, base saturation was lower than 20%, value considered low for most crops.

Studies, in genetic improvement native plants with higher potential of production and soil fertility are necessary, for sustainable agriculture in Amazonas State, Brazil.

SUMÁRIO

	Página
1 Introdução	1
2 Revisão de Literatura.....	3
2.1 Região	3
2.2 Clima.....	5
2.3 Ciclagem de nutrientes.....	5
2.4 Solos	10
2.4.1 Ocupação dos solos	15
2.4.2 Dinâmica dos nutrientes no solo	16
2.4.2.1 Fósforo (P)	17
2.4.2.2 Potássio (K)	18
2.4.2.3 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)	18
2.4.3 Fatores que afetam à disponibilidade de nutrientes no solo.....	19
2.4.4 Métodos químicos de avaliação da fertilidade do solo	21
3 Objetivos	22
3.1 Principal	22
3.2 Específicos	22
4 Material e Métodos	23
4.1 Municípios estudados	25
4.2 Amostragem	25
4.3 Variáveis analisadas	26
4.4 Análise estatísticas	27
5 Resultados e Discussão	28
5.1 pH em água	28

5.2 Matéria orgânica	29
5.3 Fósforo disponível e Potássio trocável	33
5.4 Cálcio e Magnésio trocável	36
5.5 Al trocável, H+Al trocável, Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Saturação por bases (V%)	38
5.6 Soma de bases (S), Capacidade de troca de Cátions efetiva (CTC efetiva) e Saturação por Alumínio (m%)	40
6 Conclusões	44
7 Referências	45

1 Introdução

Os solos da região amazônica, apesar de estarem sob uma das florestas mais densas do Mundo, são caracterizados, na sua maioria, pela baixa disponibilidade de nutrientes (STARK, 1970), sendo sua fertilidade mantida, principalmente, devido aos processos geoquímicos, bioquímicos e biogeoquímicos.

Com o corte e a queima da mata nativa para sua utilização para agricultura ou pastejo, há um aumento da fertilidade do solo, porém, esse aumento é transitório. Estudos realizados por CRAVO & SMITH (1997) verificaram que o Ca, Mg e K apresentaram redução de 50% dos seus valores máximos aos 23, 15 e 5 meses após a queima, respectivamente; o contrário ocorreu com o Al trocável, que aumentou na mesma proporção, após 33 meses. Com o decréscimo da fertilidade e o não uso de fertilizantes e corretivos, esse solo é, na maioria das vezes, abandonado após três anos de cultivos sucessivos, surgindo no local uma floresta secundária com pouca diversidade de plantas (DUKE & BLACK, 1953).

O Estado do Amazonas, com aproximadamente 1,5 milhões de km² (30% da Amazônia brasileira), tem na sua área a predominância de Latossolos e Argissolos, havendo em menor proporção, os Espodossolos, Cambissolos e Neossolos (RODRIGUES, 1996). Independentemente do tipo de solo, a região é formada basicamente por duas unidades geomorfológicas agricultáveis: terra firme e várzea (PEREIRA FILHO, 1991).

A denominação regional terra firme representa cerca de 80% da região amazônica e se caracteriza pela presença de relevo que varia de suavemente ondulado a ondulado, com chapadas e áreas dessecadas, constituídas por pequenas colinas e vales estreitos, longe das enchentes dos rios. A várzea, termo utilizado para designar as áreas sujeitas à

inundações periódicas, abrange uma área de aproximadamente 42.000 km², com gradientes diversos de fertilidade, devido aos inconsistentes depósitos de sedimentos com composição granulométrica, mineralógicas e orgânicas variáveis, originários das cordilheiras dos Andes e da queda de barrancos localizados às margens dos rios (MOREIRA & GONÇALVES, 2006).

Diante do exposto, e das poucas informações sobre a distribuição da fertilidade dos solos da Amazônia, em especial do Estado do Amazonas, o presente trabalho teve como principal objetivo fornecer dados mais substanciais sobre a caracterização química dos solos da região.

2. Revisão de Literatura

2.1 Região

A Amazônia Legal abrange uma área de aproximadamente 5,0 milhões de km², o que representa 60% do território nacional (RODRIGUES, 1996), inclui geopoliticamente os estados do Acre, do Amazonas, de Rondônia, do Amapá, de Tocantins, do Mato Grosso e do Pará, uma pequena parte do norte do Estado de Goiás e o oeste do meridiano de 44° W do Estado do Maranhão, o que constitui a maior reserva de solos do mundo para expansão da agricultura, da pecuária e do reflorestamento.

Além de grandes áreas potencialmente agricultáveis (12% dos solos são eutróficos), outros fatores contribuem para expansão das atividades agrícolas na região, nos quais se destacam o potencial hidrelétrico estimado em 70 milhões de kW, ou seja, mais de 40% do potencial total estimado para o Brasil, o vasto sistema hidrográfico, com cerca de 19.000 quilômetros de rios permanentes navegáveis, as reservas de gás natural, principalmente na bacia do rio Urucu (PANDOLFO, 1979) e a baixa população da região, estimada em 15 milhões de habitantes, o que equivale a uma densidade de três pessoas por km² (IBGE, 2000)

O sistema de ocupação na região vem ocorrendo basicamente nas margens das rodovias, principalmente na Belém-Brasília - BR 153, Cuiabá-Santarém - BR 163, Transamazônica - BR 230 e a Cuiabá-Porto Velho - BR 364. Atualmente, a área desmatada é de aproximadamente 65,16 milhões de hectares, o que equivale a 12,65% da área total da Amazônia Legal (Tabela 1). Das áreas desmatadas, a soja, cultura de maior expansão na região, com destaque, atualmente, para as franjas da Amazônia Legal, é responsável por um quinto da produção agrícola brasileira e ocupa 5,7 milhões de hectares, o que corresponde a 57% da área plantada com grãos. Com uma taxa média de crescimento de área cultivada com essa cultura em torno de 15% ao ano, seriam necessários oito anos para ocupar toda área com

pastagens degradadas, sem haver a necessidade de novos desmatamentos. Contudo, torna-se imperioso um levantamento agroecológico para que essa ocupação ocorra de forma sustentável, atendendo não só os interesses nacionais como os da população local.

Tabela 1. Valores estimados de áreas ocupadas por atividades agrícolas na Amazônia Legal brasileira.

Atividades	Área Ocupada
Pastagem não degradada	35.000.000 ha
Pastagens degradadas	17.500.000 ha
Vegetação secundária (Cerrados)	25.000.000 ha
Cultivos Perenes:	1.060.000 ha
Café	230.000 ha
Reflorestamento	130.000 ha
Seringueira	60.000 ha
Cacau	100.000 ha
Dendê	60.000 ha
Coco	25.000 ha
Cupuaçu	25.000 ha
Pimenta do Reino	20.000 ha
Pupunha	5.000 ha
Culturas anuais:	10.000.000 ha
Soja	5.700.000 ha
Arroz, Feijão, Milho, Algodão, etc.	4.300.000 ha
Outros	600.000 ha

Fonte: Modificado de Sá (2005)

2.2 Clima

O clima predominante na região amazônica é o trópico úmido, que pode ser dividido em *Afi*, *Ami* e *Aw*, de acordo com a classificação de Köppen (VIEIRA & SANTOS, 1987; DEMATTÊ, 1988). O tipo *Afi* se caracteriza por apresentar chuvas relativamente abundantes durante todo o ano. Ocorre na maior parte do Estado do Amazonas, em torno da cidade de Belém, Estado do Pará e partes do Estado do Amapá. O *Ami* possui regime pluviométrico igual ou superior a 2000 mm, com curta estação seca de um a dois meses, e encontra-se na parte central da Amazônia, abrangendo parte dos estados do Pará, do Amapá, do Amazonas, do Acre e de Roraima. Por último, o tipo climático *Aw*, com ocorrência principalmente nos estados do Mato Grosso, e de Tocantins, norte de Roraima e oeste do Maranhão, ocupa grande parte da Amazônia (cerca de 40%), se caracterizando com estações nítidas de seca de três a cinco meses e índice pluviométrico inferior a 2000mm.

A temperatura média anual varia pouco na faixa central caracterizada pela planície amazônica. Os valores tendem em aumentar à medida que avança para o oeste. Em Belém (1°20' S e 48°30' W), a temperatura média de novembro, o mês mais quente, é igual a 26,9°C, enquanto que no mês mais frio (março) a temperatura é de 24,5°C. Em Manaus (3°07' S e 60°02' W), a maior temperatura média é de 27,9°C, em setembro, e a menor, em fevereiro (25,8°C). Na cidade de Iquitos no Peru (3°46' S e 73°11' W), o maior valor da temperatura média mensal ocorre em novembro (32° C) e a de menor valor em julho, sendo igual a 30° C (SALATI et al., 1991).

2.3 Ciclagem de Nutrientes

A floresta primária normalmente está em equilíbrio dinâmico (Figura 1) e a ciclagem de nutrientes é o processo mais importante para esse fenômeno. Com as atividades antrópicas, em que o uso da terra consiste no desmatamento, na remoção da madeira de importância econômica e na posterior utilização de queimadas, seguidas da introdução de culturas anuais, perenes ou formação de pastagens, esse processo é severamente afetado (ANDREUX & CERRI, 1989). Vários estudos relatam alterações no conteúdo de C e N do solo, no aumento no pH, nos teores de cátions trocáveis e na redução da acidez trocável decorrentes do desmatamento e da queima da floresta natural (MARTINS et al., 1991).

Com a remoção da floresta, há diminuição da atividade da biomassa microbiana, principal responsável pela introdução de nutrientes no sistema e pelo fluxo de energia dentro do solo (ANDREUX & CERRI, 1989; DALAL, 1998). Mensurações da biomassa microbiana têm sido usadas em estudos do fluxo de C e N, da ciclagem de nutrientes e da produtividade das plantas, em diferentes ecossistemas terrestres. Essas medidas permitem a quantificação da biomassa microbiana viva presente no solo, em um determinado tempo. Possibilita, também, a associação da quantidade de nutrientes imobilizados e a atividade da biomassa microbiana com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo, servindo de base para estudos de formação e ciclagem da matéria orgânica. A biomassa microbiana constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica, sendo, conseqüentemente, mais sensível que o C orgânico e o N total tem grande potencial para aferir as mudanças nos níveis de matéria orgânica do solo causadas pelo manejo e pelas práticas de cultivo (PAUL & CLARK, 1989).

No Estado do Amazonas, observou-se que, com o desmatamento e o posterior reflorestamento com plantas nativas da região, mesmo após 10 anos de cultivo, o estoque de carbono no solo foi cerca de 60% inferior ao da floresta primária, enquanto que o C da biomassa microbiana foi 67% menor (MOREIRA & COSTA, 2004). Da mesma forma, com a sucessão floresta primária e cupuaçuza de três anos e sucessão floresta primária e

cupuaçu de três anos, cultivado em área anteriormente com pastagem de *Brachiaria humidicola*, mantida por oito anos, reduziram o C da biomassa microbiana em 33,3% e 24,4%, respectivamente (MOREIRA & MALAVOLTA, 2004).

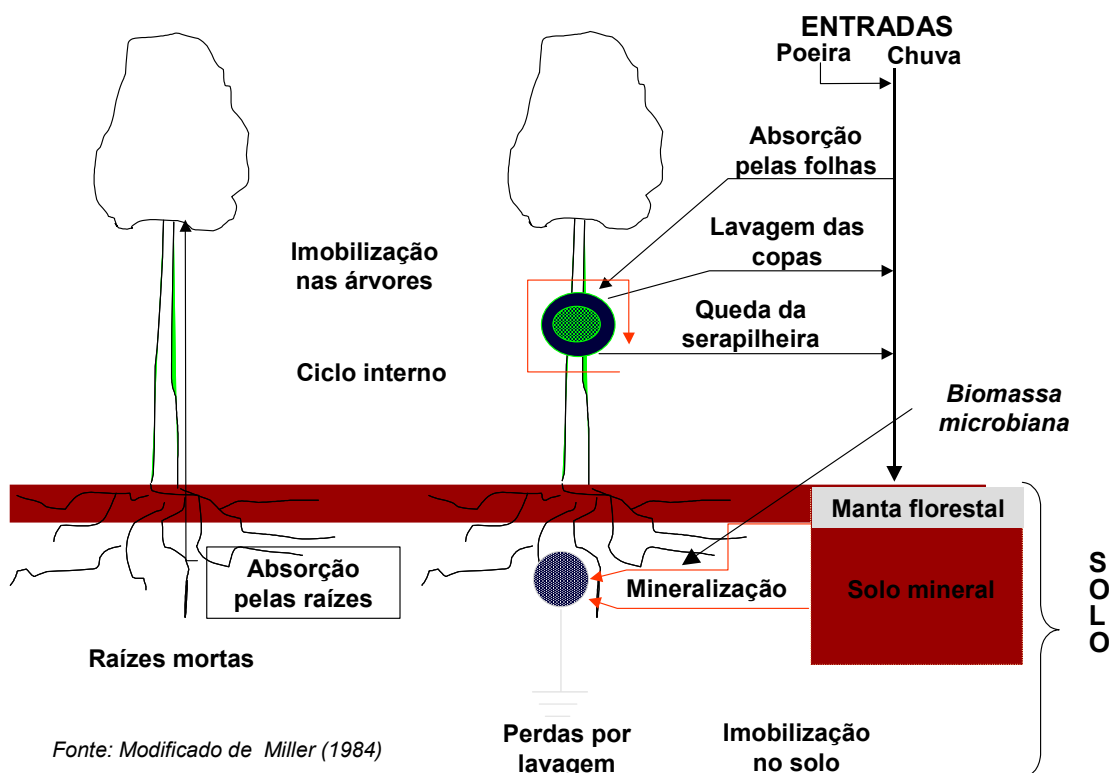


Figura 1. Esquema da dinâmica de nutrientes em um ecossistema em equilíbrio

Em condições de equilíbrio, a deposição da matéria orgânica nos solos amazônicos (maior fonte de nutrientes) varia de acordo com o tipo de vegetação, estando diretamente relacionado com o conteúdo depositado proveniente, principalmente, da sua parte aérea e das raízes. Na parte tropical úmida (estados do Acre, do Amazonas, do Pará, de Rondônia e do Amapá), os solos de floresta recebem altas quantidades de folhas, ramos, entre outros, aumentando consideravelmente o seu conteúdo de material orgânico na camada superficial. O

mesmo não ocorre em áreas de Cerrados da região (parte dos estados de Roraima, do Mato Grosso, de Tocantins e do Maranhão), cobertas, predominantemente, com gramíneas, arbustos e árvores de pequeno porte, em que o acúmulo superficial de matéria orgânica é bastante influenciado pelo menor aporte de material vegetal e pelas condições climáticas, com períodos secos prolongados.

Com a seringueira, planta nativa da região, a restituição de nutrientes ao solo se dá predominantemente pela queda de folhas, ramos e frutos. A deposição anual sob seringais varia de 5 a 7 toneladas de serapilheira por hectare ano. Dados recentes não publicados, obtidos na Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus, registraram, em seringal com copa enxertada de *Hevea pauciflora*, a queda de 5,1 toneladas de folhas por hectare ano, o que deve corresponder, com a inclusão de ramos e frutos, a mais de 6 toneladas/ha/ano.

Em seringais cultivados na Costa do Marfim, embora o equilíbrio da matéria orgânica do solo tenha sido rompido com a queimada, no preparo da área para plantio, foram observados que em cultivos com 20 anos, a relação entre o ácido fúlvico, pouco estável, e o ácido húmico, estável, volta a apresentar valor idêntico ao da floresta, com a restituição da capacidade de troca de cátions e de retenção de água. Por outro lado, até essa idade, o teor de matéria orgânica do solo sob o seringal era 70% do solo sob a floresta (Bi & OMONT, 1987).

No Campo Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental (3°8' S e 59°52' W) em Manaus, foi observado que os teores de matéria orgânica eram mais altos sob seringais de cultivo de 17 anos, do que sob a maioria dos solos de floresta primária. Em amostras de 0 a 10 cm de profundidade, foi encontrado o teor de MO de 38,1 g kg⁻¹; de 10 a 20 cm 29,4 g kg⁻¹; de 20 a 40 cm, 17,4 g kg⁻¹ e de 40 a 60 cm, 12,6 g kg⁻¹, o que equivalem ao estoque de aproximadamente 23 toneladas de carbono por hectare (MORAES & MOREIRA, 2003).

Os dados da Tabela 2 extraídos do livro Principles of Plant Nutrition de MENGEL & KIRKBY (1987), mostram uma característica importante da produção da borracha natural, ou seja, o produto extraído das áreas de cultivo, por ser essencialmente hidrocarboneto, corresponde à exportação muito baixa de nutrientes, em comparação com outros cultivos tropicais. Devido o alto custo dos insumos aliado à tradição da região na produção de borracha e novos clones de copa resistentes ao *Microcyclus ulei* (mal das folhas), essa cultura mostra ter um grande potencial para região tropical úmida.

Nesse mesmo contexto, os sistemas agroflorestais mostraram ser outra boa alternativa para a restituição da matéria orgânica do solo, principalmente, em sistemas que utilizam leguminosas arbustivas (*Erythrina*, *Inga edulis* e *Cajanus cajan*), que ao crescerem acumulam nutrientes, principalmente N, e ao serem podadas e aplicadas como cobertura morta retornam grande parte dos mesmos para o solo numa forma mais assimilável para as plantas.

Tabela 2. Exportação de nutrientes por diferentes culturas tropicais.

Cultivo	Produção	Exportação de nutrientes, em quilos				
		N	P	K	Ca	Mg
Dendê	2,5 t de óleo	102	30	207	36	38
Coco	1,4 t de copra	62	25	56	6	12
Cana	80 t de colmos	45	25	121	-	-
Banana*	41 t de frutos	447	37	385	13	23
Borracha	1,1 t	7	1	4	-	-

* Cultivar Thap Maeo (espaçamento 3m x 2m) – segundo ciclo (Moreira & Almeida, 2005).

Na Amazônia, conforme o bioma estudado, a matéria orgânica é basicamente formada a partir da decomposição de resíduos vegetais de mesma composição. Entretanto, devido às diversidades climáticas e pedológicas, existem diferenças na quantidade, haja vista que o clima interfere nos processos de humificação e na taxa de renovação do

carbono do solo. Segundo CERRI et al. (1996), o estoque de carbono em diferentes localidades (Pará, Rondônia e Amazonas) mostra pequena variação, sendo o valor de aproximadamente $1,98 \pm 0,31 \text{ kg m}^{-2}$. Em decorrência da fragilidade existente no ecossistema, o desmatamento e a conseqüente remoção da floresta para fins agrícolas pode causar quebra dos ciclos do carbono e dos nutrientes no solo.

Do ponto de vista da agricultura e do manejo do solo, as perdas de matéria orgânica e de nutrientes proveniente da floresta e a taxa de substituição desta, devido à introdução de outras culturas, interferem significativamente na ciclagem de nutrientes, sendo assim, importante para estimar a longevidade da fertilidade do solo. Estudos mais aprofundados sobre a dinâmica da matéria orgânica são importantes para a compreensão desses agroecossistemas.

2.4 Solos

A região amazônica mostra grande diversidade geológica, com a presença de rochas sedimentares, metamórficas e magmáticas, de idade e origem muito diferentes (MALAVOLTA, 1987). Grande parte é coberta por extensos sedimentos do período Cretácio-Quaternário, de natureza diversa, distribuídos no sentido leste-oeste da Amazônia, recobrando a bacia do Acre – Formação Solimões (Terciário); a sub-bacia do Alto Amazonas – Formação Ica (Quaternário) e as sub-bacias do Médio e Baixo Amazonas – formação Alter do Chão (Cretáceo). Em ambos os lados do grande vale do Amazonas (Solimões), há ocorrência de sedimentos mesozóicos, podendo aparecer um pouco diabásico. As características químicas dos solos da Amazônia são, em sua maioria, ditadas pela natureza do material de origem. Existindo áreas extensas de solos ricos e eutróficos onde há influência atual (planície aluvial) ou pretérita (terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas) de

sedimentos andinos; ou, ainda, onde afloram rochas de riqueza química maior (calcários e margas em Monte Alegre-Ererê; basaltos e diabásicos em Roraima, Pará e Amapá), de modo geral, nas demais áreas, as condições bioclimáticas atuais, as características do material de origem e as geoformas levam à formação de solos profundos e intemperizados (LIMA, 2001).

Na Tabela 3, retirado de RODRIGUES (1996), observa-se à distribuição aproximada dos tipos de solos da Amazônia. Dentre as principais classes encontradas na Amazônia Legal, os Latossolos (Oxisols) e Argissolos (Ultisols) representam cerca de 75% dos solos da região. Quimicamente, a maioria dos solos da região são distróficos ($V\% < 50$) ou álicos ($m\% > 50$), com a soma dos teores de Ca e Mg menores que $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Os teores das bases (K, Ca e Mg) e do P estão abaixo dos valores críticos utilizados na interpretação da análise do solo, os quais, juntamente com o elevado teor de Al representam as maiores dificuldades para o desenvolvimento radicular, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas (DEMATTE, 1988).

Segundo SCHAEFER et al.(2000), a distribuição dos solos amazônicos é marcada pelo controle geomorfológico: geoformas colinosas e residuais aplainados de baixos platôs estão comumente associados a Latossolos Vermelho-Amarelos em áreas de rochas cristalinas ou Latossolos Amarelos nas áreas de sedimentos terciários; nos terços médio e inferior das colinas ou residuais aplainados ocorrem Argissolos, apresentando ou não plintita ou petroplintita, Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos. Na planície aluvial (várzea) dos rios de águas brancas, predominam-se Gleissolos e Neossolos Flúvicos. Plintossolos e solos com caráter plíntico são predominantes nas terras baixas do Alto Amazonas, nos interflúvios Madeira/Purus/Juruá e Solimões/Japurá.

Tabela 3. Distribuição aproximada das principais classes de solos da Amazônia.

Classificação Brasileira	Classificação Norte Americana	Superfície na Amazônia	
		km ²	%
Distróficos (V% < 50%)			
Latosolos	Oxisols	2.097.160	40,87
Argissolos	Ultisols	1.559.850	30,40
Plintossolos	Alfisols, Oxisols, Inceptisols	359.650	7,00
Espodossolos	Spodsols	99.950	1,95
Gleissolos	Entisols	44.050	0,86
Neossolos	Entisols	246.540	4,80
Eutróficos (V% > 50%)			
Latosolos	Oxisols	6.280	0,12
Argissolos	Ultisols	202.510	3,94
Nitossolos	Alfisols	23.900	0,46
Plintossolos	Alfisols, Oxisols, Inceptisols	17.610	0,34
Cambissolos	Inceptisols	40.250	0,78
Gleissolos	Entisols e Inceptisols	270.400	5,27
Neossolos	Entisols	133.150	2,59
Outros solos	-	28.380	0,55
Total		5.130.680	100,00

Os solos da Amazônia estão situados basicamente em dois ecossistemas, denominados “várzea” e “terra firme”. Denomina-se várzea às planícies de inundação fluvial de deposição holocênica (rios de águas barrentas ricas de material em suspensão, tais como o Solimões, o Purus e o Madeira, no Amazonas) e sujeitas a inundações sazonais (LIMA, 2001). De acordo com IRIONDO (1982), compreende grandes faixas de terras marginais aos rios de águas brancas, compondo uma planície aluvial que pode alcançar até 100 km de largura, formando um sistema complexo de canais, lagos, ilhas e diques marginais, sendo que abrange uma área de aproximadamente 60.000 km², com grande potencial de utilização na produção de alimentos. Apesar de os solos serem heterogêneos, devido ao desenvolvimento ter sido iniciado a partir da deposição de sedimentos de diferentes composições granulométricas, mineralógicas e orgânicas, são ricos em minerais, provenientes de rochas calcárias da Cordilheira dos Andes (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de algumas propriedades químicas dos solos de várzea dos rios Madeira, Solimões e Amazonas, em nove municípios do Estado do Amazonas.

Municípios	pH	P	K	Ca	Mg	Al
	-- H ₂ O --	---- mg dm ⁻³ ----		----- cmol _c dm ⁻³ -----		
Barreirinha (AM) ⁽¹⁾	4,7	32	92	3,7	2,6	2,5
Castanho (AM) ⁽¹⁾	5,9	92	139	9,4	3,5	0,4
C. da Várzea (AM) ⁽³⁾	6,4	-	90	12,5	2,8	0,1
Irاندuba (AM) ⁽²⁾	5,9	116	130	11,5	2,3	0,2
Manacapuru (AM) ⁽¹⁾	5,2	84	108	9,7	3,0	0,6
Manaquiri (AM) ⁽¹⁾	4,7	39	91	9,0	2,3	2,9
Parintins (AM) ⁽¹⁾	4,9	206	61	5,1	3,0	1,9
Coari (AM) ⁽⁴⁾	5,0	104	166	9,7	2,2	0,1
Tabatinga (AM) ⁽⁴⁾	6,0	7,3	134	2,0	2,5	0,1

Fontes: ⁽¹⁾ EMBRAPA (1984a); ⁽²⁾ CRAVO et al. (2002); ⁽³⁾ ALFAIA & FALCÃO (1993); ⁽⁴⁾ MOREIRA et al. (dados não publicados).

Na várzea, os solos normalmente possuem teores elevados de silte e de areia fina. São, predominantemente, eutróficos, com elevada capacidade de troca de cátions e elevados teores de cátions trocáveis, especialmente cálcio, magnésio e, em alguns casos, sódio e alumínio. Em contraste aos solos bem drenados de terra firme, apresentam reação menos ácida, níveis mais elevados de nutrientes, menores teores relativos de alumínio trocável e argila de atividade alta (LIMA, 2001). Na várzea está concentrada a maior faixa contínua de solos férteis da Amazônia. Pelas características de seus solos, proximidade dos rios, que servem como canal de transporte, e dos lagos altamente piscosos, a várzea é a parte da Amazônia mais intensamente utilizada para a pesca e a agricultura. Todavia, a drenagem mais restrita e a variação anual do nível dos rios, que pode chegar a 10 m entre os picos de cheia e de vazante (IRION, 1986), o que limita o cultivo a alguns meses do ano.

Dentro do sistema várzea existem duas divisões de acordo com a posição em relação à calha do rio. As várzeas altas, também denominadas de “restinga”, que são as partes mais elevadas que recebem depósitos de sedimentos maiores e que estão em suspensão nas águas e

apresentam melhor drenagem, são inundadas por um curto período de tempo e são as mais cultivadas. As várzeas baixas são de dois tipos, as mais afastadas das margens dos rios e que se caracterizam por ser menos férteis por receber, no início das enchentes, as águas provenientes dos igapós pobres em sedimentos e nutrientes e as mais próximas dos rios, com alta fertilidade, porém recomendadas somente para culturas de ciclo curto (CRAVO et al., 2002).

Deve ser ressaltado que os rios de água “preta” (como o rio Negro) ou clara (como o rio Tapajós) não formam várzeas. As que eventualmente ocorrem são formadas por influência da invasão das águas barrentas dos rios maiores, por ocasião das grandes enchentes. Os solos dessas várzeas, por sofrerem grande influência das águas pretas ou claras que são ácidas e pobres em sedimentos, apresentam baixa fertilidade natural. Na Amazônia, os solos de terra firme abrangem grande variedade de solos, sendo utilizado para denominar, principalmente, as áreas de terra situadas acima das áreas de influência dos rios não sofrem hidromorfismo,. Nessas áreas, a predominância de acidez e toxicidade de Al elevadas são as restrições mais comuns sobre a fertilidade dos solos da região (Tabela 5). Apesar de a grande maioria dos solos desse ecossistema apresentar baixa fertilidade, existem manchas de Terra Roxas (Nitossolos e Argissolos) de elevada fertilidade que, embora pequenas em termos amazônicos, são bastante representativas em valores absolutos.

Os solos bem drenados de terra firme da bacia sedimentar do Amazonas são formados a partir de sedimentos terciários da formação Alter do Chão/Barreiras originados de material pré-intemperizado dos escudos cristalinos das Guianas e do Brasil Central. São solos ácidos, pobres em nutrientes, com teores relativamente elevados de alumínio trocável e baixos valores de soma de bases e de capacidade de troca de cátions (FALESI, 1986; VIEIRA e SANTOS, 1987; RODRIGUES, 1996). As características do material de origem, as boas

condições de drenagem, o tempo de exposição e a atuação dos agentes bioclimáticos resultaram em solos profundos e em avançado estágio de intemperismo (LIMA, 2001).

Merecem, também, menção os solos antrópicos, vulgarmente chamados de “Terra Preta do Índio”, denominação dada aos solos de origem antropogênica existentes na região Amazônica (WOODS, 2003). Esses solos localizam-se, geralmente, próximos aos rios e na sua maioria são distribuídos em áreas de dois a cinco hectares (TEIXEIRA & MARTINS, 2003), apresentando maiores níveis de nutrientes, principalmente Ca e P, maiores teores de matéria orgânica e maior atividade biológica do que os solos adjacentes, na sua maioria cauliniticos e fortemente intemperizados (Tabela 5).

Tabela 5. Fertilidade dos solos antrópicos e de outras classes de solos encontradas na Amazônia e coletadas na profundidade de 0-20 cm⁽¹⁾.

Municípios	pH H ₂ O	P			K M1	Ca	Mg KCl	Al
		M1	M3	Bray 1				
		----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----			
Irاندuba ⁽²⁾ (AM)	4,11	292	231	264	12	2,7	1,3	0,11
Irاندuba ⁽³⁾ (AM)	4,23	1093	475	318	26	3,5	5,4	0,11
Irاندuba ⁽⁴⁾ (AM)	5,03	86	97	45	16	1,3	0,2	0,21
Manacapuru ⁽⁵⁾ (AM)	4,76	549	471	556	183	10,9	4,1	0,03
Manacapuru ⁽⁵⁾ (AM)	5,72	339	274	334	38	9,1	1,1	0,11
Barreirinha (AM) ⁽¹⁾	5,70	244	-	-	137	10,2	2,7	0,01
Rio P. da Eva (AM) ⁽¹⁾	4,11	117	110	87	12	2,7	1,3	0,11
Rio P. da Eva (AM) ⁽¹⁾	4,28	254	186	220	26	3,5	5,4	0,11
Rio P. da Eva (AM) ⁽¹⁾	4,36	269	178	183	40	9,5	6,3	0,12
Parintins (AM) ⁽¹⁾	4,66	936	491	816	38	24,6	5,6	0,11
Latossolo Amarelo	3,79	5	2	4	21	0,05	0,10	2,13
Argissolo	4,34	5	3	2	13	0,03	0,04	0,85
Espossolo	4,67	29	28	10	6	0,04	0,04	0,62
Cambissolo	4,72	5	6	3	2	0,03	0,04	0,47

⁽¹⁾ MOREIRA, A. (dados não publicados); ⁽²⁾ EMBRAPA (1984a); ⁽³⁾ CRAVO et al. (2002); ⁽⁴⁾ ALFAIA & FALCÃO (1993); ⁽⁵⁾ EMBRAPA (1984b).

A Terra Preta é caracterizada por um horizonte A antrópico de cor escura sobre Latossolos, Argissolos e Cambissolos. Muitos aspectos de sua origem ainda não estão elucidados, tendo sido formado provavelmente pelo homem pré-colombiano e abandonado depois da invasão dos europeus (KERN & KÄMPF, 1989). Porém, muitas dúvidas permanecem sem resposta, entre elas destaca-se a alta capacidade de manutenção da fertilidade com uso contínuo da terra, mesmo nas condições edafoclimáticas locais.

2.4.1 Ocupação dos solos

O desenvolvimento de diversas civilizações e o acúmulo de riquezas em diversas regiões do mundo ocorreu, principalmente, em decorrência dos solos férteis. Porém, com o avanço da pesquisa científica, outros caminhos foram traçados para a utilização desses recursos naturais, assim, terras com baixa fertilidade puderam ser racionalmente utilizadas, paralelamente solos desgastados puderam ter sua produtividade recuperada. Entretanto, a pesquisa científica não pode ser generalista, pois cada solo de diferentes áreas tem suas potencialidades. Dessa forma, faz-se necessário à avaliação da fertilidade dos solos através de métodos químicos e biológicos e da organização dos conhecimentos para a melhor utilização dos diversos tipos de solos, evitando a utilização errônea desses recursos. O referido estudo, em suma, tem grande importância no âmbito de conservação, manejo e principalmente de um zoneamento agroecológico-econômico dos solos do Estado do Amazonas.

2.4.2 Dinâmica dos nutrientes no solo

A natureza de um solo está relacionada ao clima, topografia e pelas características da rocha matriz, que através da decomposição e desintegração de seus elementos, cede matéria

prima para sua formação e por isso constitui fator de relevante valor na determinação das qualidades desse solo. Os nutrientes são encontrados primariamente na natureza como componentes das rochas (Ígneas, Sedimentares e Metamórficas), dentre os quais encontram-se alguns dos macronutrientes e os micronutrientes que através de intemperismos químico, físico e/ou biológico dão origem ao solo (TISDALE & NELSON, 1985).

Para que ocorra a absorção e o uso desses nutrientes pelas plantas, estes devem encontrar-se na solução do solo que em contato com as raízes são absorvidos. O sistema solo-planta é um sistema aberto onde os elementos (M) são constantemente removidos de um lado, fase sólida do solo e acumulados no outro, a planta (MELLO et al., 1989). Segundo MALAVOLTA et al. (1974), uma vez na solução dos solos nutrientes são absorvidos através de três processos:

- a) **Difusão** – o elemento M caminha por distâncias curtas dentro de uma fase aquosa estacionária, indo de uma região de maior concentração para outra de concentração menor na superfície da raiz;
- b) **Fluxo de Massa** – consiste no movimento do elemento em uma fase aquosa móvel (solução do solo), de uma região mais úmida, distante da raiz, até outra mais seca (próximo ao sistema radicular);
- c) **Intercepção Radicular** – à medida que as raízes crescem, entram em contato com as partículas do solo e, portanto, com os nutrientes presos à fase sólida, são capazes de absorver os nutrientes que estabelecem combinações químicas suficientemente estáveis ou trocados por íons produzidos pela planta.

2.4.2.1 Fósforo (P)

Por ser altamente reativo, o fósforo elementar não é encontrado em estado puro na natureza, e sim, combinado a outros elementos químicos. Grande parte do P encontrado no solo é oriundo da intemperização da apatita, tendo ainda como outras fontes a matéria orgânica, húmus, microrganismos e outras formas de vida em decomposição (MELLO et al., 1989).

Segundo RAIJ (1991), o fósforo encontra-se na solução do solo como íons ortofosfato, forma derivada do ácido ortofosfórico (H_3PO_4), na fase sólida se combina, principalmente com metais como o ferro, alumínio e cálcio, ocorrendo, também, na matéria orgânica. Sendo que os teores totais de fósforo em solos variam de pouco mais de zero, em solos muito arenosos, até valores de 2000-3000 μg^{-1} ou (0,2 a 0,3% de P). O fator condicionante principal é o material de origem. No que diz respeito à absorção o P depende da difusão para chegar até a raiz.

2.4.2.2. Potássio (K)

De acordo com RAIJ (1991), o K é o segundo macronutriente em teor contido nas plantas e depois do P, o nutriente mais consumido como fertilizante na agricultura. Sendo muito abundante em rochas e solos (podendo chegar a 1% em solos bem supridos), os minerais primários mais importantes são os feldspastos e duas micas (muscovita e biotita) e os minerais secundários são as argilas 2:1, illita e vermiculita. O potássio encontra-se em três formas no solo: o K não disponível, encontrado nas rochas; o K medianamente disponível retido na lâmina de certas argilas e o K disponível encontrado na solução do solo. Dentre as mais importantes fontes de K destacam-se a silvinita, a silvita e a langbeinita (MALAVOLTA

et al., 1997). Encontra-se na solução do solo na forma iônica K^+ , sendo que sua absorção depende principalmente da difusão do elemento através da solução do solo.

2.4.2.3. Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

É um cátion dominante no solo (Ca^{+2}), estando presente na solução do solo e retido nos colóides do solo sob a mesma forma. As maiores fontes de cálcio do solo são as rochas ígneas as dolomitas, calcitas, apatitas e os feldspatos (MALAVOLTA et al.,1997). Segundo RAIJ (1991), em solos ácidos e clima úmido esses minerais são intemperizados e o Ca é, em parte, perdido por lixiviação.

O magnésio do solo é oriundo das rochas magnesianas, homblenda, dolomita e clorita. É um cátion (Mg^{+2}) e está muito sujeito a lixiviação e ao processo de troca iônica. As fontes mais comuns são: o calcário dolomítico, calcário magnesiano, sulfato de magnésio, óxido de magnésio, escórias básicas sulfato de potássio e magnésio e termofosfatos (MALAVOLTA et al., 1997).

2.4.3 Fatores que afetam a disponibilidade dos nutrientes no solo

A análise do solo, isoladamente, não é suficiente para avaliar a disponibilidade de nutrientes em solos. Contudo, diversas propriedades de solos afetam a solubilidade desses nutrientes e podem, então, ser usadas em conjunto com os resultados da análise de solo (RAIJ, 1991; KOHNKE & FRANZMEIR, 1995, TOMÉ JÚNIOR, 1997).

A proporção relativa do fósforo é condicionada pelo pH e pelo tipo de e quantidade de minerais existentes na fração argila. De um ponto de vista conceitual, quatro são os fatores que afetam a disponibilidade de P para as plantas: Fator intensidade: representado pela concentração de P na solução; Fator quantidade: representado pelo P que pode passar da solução do solo para a forma lábil; Fator capacidade : condição do solo de poder manter ou restabelecer o fósforo o fósforo em solução , em níveis adequados, através da dissolução do elemento da fase sólida (RAIJ, 1991). As raízes das plantas são capazes de absorver fosfato de soluções com concentrações muito baixas desse ânion (LONERANGAN & ASHER, 1967). Geralmente o conteúdo de fosfato nas células das raízes e na seiva do xilema é cerca de 100 a 1000 vezes maior que o da solução do solo. Isso mostra que o fosfato é absorvido pelas células da planta, contra um gradiente de concentração muito grande e, portanto, a absorção é ativa. As plantas podem absorver o fósforo tanto na forma de ânion monovalente H_2PO_4^- quanto bivalente HPO_4^{2-} , chamado íon ortofosfato. Uma vez que a primeira forma é a mais abundante na faixa de pH requerida pela maioria das plantas cultivadas, ela é a principal forma absorvida pelas plantas.

Estudos realizados com algumas plantas têm mostrado que no sistema radicular, há um número de sítios de absorção para H_2PO_4^- dez vezes maior do que para HPO_4^{2-} . Na realidade, a absorção de H_2PO_4^- é maior em condições de baixo pH, enquanto que a absorção de HPO_4^{2-} é maior em condições de pH elevado. Alguns fatores como a infecção de fungos micorrízicos, podem afetar a absorção de fósforo pelas raízes. Um dos principais fatores responsáveis pela maior absorção de fósforo pelas raízes infectadas por fungos micorrízicos é a maior afinidade por fósforo dos sítios de absorção das hifas micorrízicas.

Para o potássio, dois fatores merecem destaques: o efeito do teor de água do solo e a relação de K com os elementos Ca e Mg. A diminuição do teor de água afeta a difusão do elemento e, conseqüentemente, dificulta a absorção, ao se reduzir esse teor de água, os teores

de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) aumentarão mais rapidamente que a do potássio (K^+). Dessa forma, existe uma maior absorção de K com o aumento da umidade do solo (RAIJ, 1991). Além da absorção passiva de potássio, comandada pela atividade da ATPase, um processo de absorção ativa de potássio foi relatado por CHEESEMAN & HANSON (1979), e ocupa papel importante em concentrações baixas de potássio ($< 0,5 \mu\text{m}$) na solução externa.

Segundo MELLO et al. (1989), os fatores de maior importância na disponibilidade são: a saturação do Ca do complexo coloidal: quanto maior a saturação maior o nutriente será cedido às plantas; a natureza do colóide: o tipo de argila influi sobre o grau de disponibilidade (o tipo 2:1 requer maior saturação que a 1:1); natureza dos outros íons: se uma argila contém dois tipos de íons e um terceiro íon é introduzido, os íons das argilas são substituídos dependendo das energias relativas com as quais são adsorvidos. A maior parte do Ca absorvido é transportada no xilema, embora parte possa fazê-lo pelo floema. O movimento ascendente se dá através de trocas de vasos condutores mais do que por fluxo de massa: o Ca^{+2} é deslocado dos sítios de troca por outros cátions como Mg, Mn, e Zn (MALAVOLTA, 1980).

A quantidade de Mg absorvida depende do teor disponível no solo, do grau de saturação desse elemento, do tipo de argila e da natureza de outros íons trocáveis (TISDALE & NELSON, 1985). Sendo favorecida sua disponibilidade em solos ácidos, devido às elevadas quantidades de compostos solúveis de Mg e de argila do tipo 2:1, a expansão e a contração desse mineral aprisionam os íons Mg^{2+} . A presença de NH_4^{2+} e de K^+ inibe a absorção do Mg^{2+} , enquanto a presença de P é importante para a absorção do Mg^{2+} e vice-versa (MALAVOLTA, 1980).

2.4.4 Método Químico de Avaliação da Fertilidade do Solo

Segundo MELLO et al. (1989), vários são os métodos para avaliação da fertilidade dos solos, dentre os quais encontra – se a Análise de terra tradicional: Baseia-se na determinação dos teores disponíveis de nutrientes de plantas, de elementos tóxicos, sobretudo Al em solos ácidos e de outros componentes da fertilidade do solo (SB, pH, CTC, índice de saturação por bases, H, C). Conforme RAIJ (1991), é possível, por meio de uma análise de solo bem feita, avaliar o grau de deficiência de nutrientes e determinar as quantidades a serem aplicadas nas adubações.

3. Objetivos

3.1 Principal

- a) Caracterizar e quantificar a fertilidade do solo dos 62 Municípios do Estado do Amazonas (Figura 2).

3.2 Específicos

- a) Avaliar possíveis diferenças existentes entre os solos;
- b) Definir as localizações do Estado do Amazonas com solos com maior fertilidade;
- c) Utilização dos dados num futuro zoneamento agroecológico-econômico do Estado.

4. Material e Métodos

Foram utilizados resultados de análises de 3340 amostras de terra, realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Amazônia Ocidental (1975-2005), oriundas de áreas de produtores da região e coletadas, predominantemente na profundidade de 0-20 cm. Para a complementação dos dados em localidades com poucas análises, objetivando abranger os 62 municípios do Estado (Figura 1), utilizou-se também, os levantamentos realizados por FALESI et al. (1969 e 1972), SILVA et al. (1970), ALMEIDA & SOUZA (1972), PROJETO RADAM BRASIL (1976, 1977abc e 1978), EMBRAPA (1983 e 1984ab) e CETEC (1986abc).

As coletas foram realizadas basicamente nos dois ecossistemas dominantes na região (várzea e terra firme), consistindo na retiradas de amostras simples e posterior homogeneização das mesmas formando as amostras compostas, perfazendo um total de 10 amostras compostas.

Após a coleta foram feitas as seguintes análises: acidez (pH em água), alumínio trocável (Al), H + Al, cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MOS), fósforo (P) e potássio (K), em seguida calcularam-se a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC), a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m) de acordo com as metodologias descritas em EMBRAPA (1997) e EMBRAPA (1999).



- | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|
| 1 - Manaus | 22 - Codajás | 43 - Nova Olinda do Norte |
| 2 - Alvarães | 23 - Eirunepé | 44 - Novo Airão |
| 3 - Amaturá | 24 - Envira | 45 - Novo Aripuanã |
| 4 - Anamá | 25 - Fonte Boa | 46 - Parintins |
| 5 - Anori | 26 - Guajará | 47 - Pauni |
| 6 - Apuí | 27 - Humaitá | 48 - Presidente Figueiredo |
| 7 - Atalaia do Norte | 28 - Ipixuna | 49 - Rio Preto da Eva |
| 8 - Autazes | 29 - Iranduba | 50 - Santa Isabel do Rio Negro |
| 9 - Barcelos | 30 - Itacoatiara | 51 - Santo Antônio do Içá |
| 10 - Barreirinha | 31 - Itamarati | 52 - São Gabriel da Cachoeira |
| 11 - Benjamin Constant | 32 - Itapiranga | 53 - São Paulo de Olivença |
| 12 - Beruri | 33 - Japurá | 54 - São Sebastião di Uatumã |
| 13 - Boa Vista dos Ramos | 34 - Juruá | 55 - Silves |
| 14 - Boca do Acre | 35 - Jutai | 56 - Tabatinga |
| 14 - Borba | 36 - Lábrea | 57 - Tapauá |
| 16 - Caapiranga | 37 - Manacapuru | 58 - Tefé |
| 17 - Canutama | 38 - Manaquiri | 59 - Tonantins |
| 18 - Carauari | 39 - Manicoré | 60 - Uarini |
| 19 - Castanho | 40 - Marãa | 61 - Urucará |
| 20 - Careiro da Várzea | 41 - Maués | 62 - Urucurituba |
| 21 - Coari | 42 - Nhamundá | |

Figura 2. Municípios do Estado do Amazonas.

4.1 Municípios estudados

Após a coleta e análises de todas as amostras de solos, as mesmas foram analisadas separadamente e conjuntamente por mesoregiões, sendo distribuídos como:

- a) Alto Solimões (Tabatinga, Atalaia do Norte, Benjamin Constant, São Paulo de Olivença, Amaturá, Santo Antônio do Içá, Tonantins, Jutai, Japurá e Fonte Boa);
- b) Médio Solimões (Anamá, Anori, Alvarães, Uarini, Beruri, Tefé, Coari, Maraã, Codajás, Caapiranga, Manacapuru, Manaquiri, Iranduba e Juruá);
- c) Baixo Amazonas (Careiro da Várzea, Boa Vista dos Ramos, Itacoatiara, Silves, Urucurituba, Nova Olinda do Norte, Parintins, Castanho, Barreirinha, Nhamundá, Urucará, São Sebastião do Uatumã, Itapiranga, Maués);
- d) Alto Rio Negro (São Gabriel da Cachoeira, Santa Isabel do Rio Negro, e Barcelos);
- e) Baixo Rio Negro (Manaus, Rio Preto da Eva, Presidente Figueiredo, Novo Airão);
- f) Região do Madeira (Autazes, Humaitá, Apuí, Manicoré, Novo Aripuanã e Borba);
- g) Região do Purus (Eirunepé, Guajará, Ipixuna, Itamarati, Envira, Paiuní, Boca do Acre, Tapauá, Carauari, Canutama e Lábrea).

4.2 Amostragem

Na ausência de coordenadas geográficas, foi assumido que as amostragens foram realizadas aleatoriamente nos municípios. Depois de tabulados, os valores foram classificados de acordo com a faixa de interpretação muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, definidas por ALVAREZ VENEGAS et al. (1999), e agrupados em três intervalos de frequência: 0-40%, 40-80% e 80-100% de probabilidade de ocorrência em cada município ou região do Estado. Devido à dimensão do histórico de fertilidade, as amostras identificadas como solos de várzeas, foram separadas e, posteriormente, definido o teor médio dos atributos químicos estudados.

4.3 Variáveis analisadas

As variáveis estudadas foram: pH(água), P disponível (extrator Mehlich 1 ou duplo ácido), K disponível (Extrator Mehlich 1 ou duplo ácido), Ca trocável ($\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$), Mg trocável ($\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$), Al trocável ($\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$), Soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de Al (m%) e saturação por bases (V%).

A caracterização química das amostras de solo foram realizadas pelos seguintes métodos:

- a) **pH em água** – determinado em potenciômetro com eletrodo de vidro, empregando-se a relação solo: solução (v:v) 1:2,5 (Embrapa 1997);
- b) **Matéria orgânica** – pelo método titulação, utilizando sulfato ferro amoniacal $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Embrapa, 1997), dag kg^{-1} ;
- c) **P e K disponível** – extrator duplo ácido ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,025 \text{ mol L}^{-1}$) ou Mehlich 1, sendo o P determinado por fotolorimetria e o K por fotometria de

chama (Embrapa, 1997), mg dm^{-3} . O potássio disponível foi convertido em trocável dividindo pelo fator 392;

- d) **Ca, Mg e Al trocável** – extraído com KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (1:5), sendo o Ca e Mg determinado por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulometria com uma solução de NaOH $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ padronizada, usado o azul de bromotimol como indicador (Embrapa, 1997), $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$;
- e) **H+Al trocável** – Determinado por titulação em solução de acetato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Embrapa, 1997), $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$;
- f) **Soma de bases (SB)** – soma dos cátions trocáveis (K+Ca+Mg) (ALVARES VENEGAS & RIBEIRO, 1999);
- g) **Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCefetiva)** – Soma de bases+Al, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (ALVARES VENEGAS & RIBEIRO, 1999);
- h) **Capacidade de troca de cátions em pH 7,0 (CTC)** – Soma de bases+H+Al, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (ALVARES VENEGAS & RIBEIRO, 1999);
- i) **Saturação de alumínio (m%)** – $[\text{Al}/(\text{SB}+\text{Al})]*100$, % (ALVARES VENEGAS & RIBEIRO, 1999);
- j) **Saturação por bases (V%)** – $(\text{SB}/\text{CTC})*100$ (ALVARES VENEGAS & RIBEIRO, 1999).

4.4 Análises estatísticas

Nessas amostras realizaram-se análises descritivas (média, mediana, moda, quartil inferior, desvio padrão, quartil superior, máximo, mínimo, variância, coeficiente de curtose, coeficiente de assimetria e coeficiente de variação) de acordo com COSTA NETO (1977) e VIEIRA (1997 e 2000).

Posteriormente, as variáveis analisadas de cada município ou mesoregião do Estado foram distribuídas em porcentagem (%) de amostras dentro da classe de interpretação da fertilidade do solo utilizada para os mesmos extratores, de acordo com Alvarez Venegas *et al.*(1999).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 pH em água

Os dados do pH do solo não tiveram significância e apresentaram média, moda e mediana semelhantes (Tabela 06), caracterizando a presença de distribuição normal (RIBEIRO JÚNIOR, 1995). Os valores de mínimo e máximo variaram de 3,0 a 7,0, ficando a média e desvio padrão em $4,4 \pm 0,6$ (Tabela 5). De acordo com a classe de interpretação de ALVAREZ VENEGAS et al. (1999), independentemente do ecossistema, 96,46% das amostras ficaram dentro da classe baixo e muito baixo (Tabela 7). A ocorrência de 80-100% de valores de maiores que 5,4 estão restritas, quase que na sua totalidade, aos solos de várzeas e sítios arqueológicos de origem antrópica. A correlação positiva do Al trocável e $H + Al$ era esperada pelo fato de a acidez potencial ($H + Al$) referir-se ao total de H em ligação covalente, mais o Al, ou seja, a soma da acidez não-trocável e trocável. Da mesma forma, a correlação negativa com pH em água do solo deve-se à relação inversa entre pH e Al^{3+} .

Segundo MALAVOLTA (1987), a idade dos solos (sedimentos do período Cretácio-Quaternário) e a decomposição rápida e contínua da matéria orgânica ocasionada pelas altas temperaturas e elevada umidade liberando íons H^+ para o complexo de troca são as principais causas da presença dos baixos valores de pH. Corroborando os resultados de FAGERIA et al. (1994), em estudo sobre a caracterização de solos de várzea de alguns Estados brasileiros, no presente levantamento, também foram observadas a ocorrência de correlações significativas e positivas entre o pH com Ca trocável e saturação por bases e negativa com o Al trocável (Tabela 8).

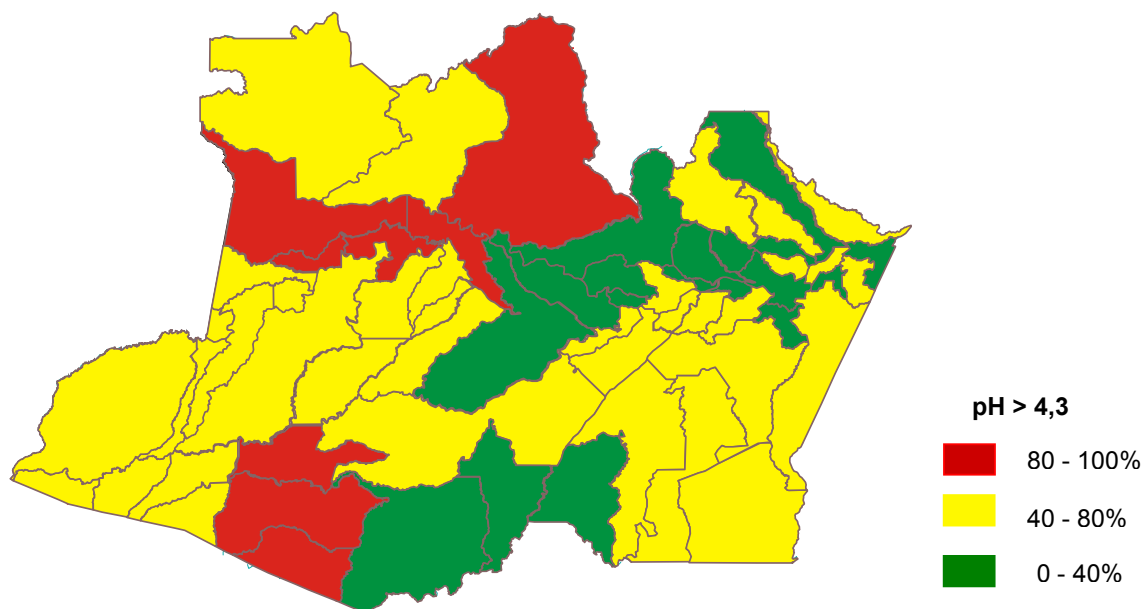


Figura 3. Mapa da distribuição aproximada do índice $\text{pH}_{(\text{água})}$ nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

5.2 Matéria orgânica

Os teores de MOS não apresentaram distribuição normal, sendo caracterizados pela grande variação, com os valores de mínimo e máximo de $0,07 \text{ dag kg}^{-1}$ a $8,77 \text{ dag kg}^{-1}$, respectivamente e coeficiente de variação de 43,63% (Tabela 6). De acordo com a classe de interpretação estabelecida por ALVAREZ VENEGAS et al. (1999), 53,3% dos solos estão situados dentro das classes bom e muito bom (Tabela 7). Para RAIJ et al. (1997), além da ciclagem de nutrientes, que mantêm o conteúdo de MOS estável no solo, condições especiais, como por exemplo, má drenagem, acidez elevada e condições edafoclimáticas típicas da região também podem resultar em altos teores de matéria orgânica.

Tabela 6. Estatística descritiva e características químicas dos solos do estado do Amazonas. (N = 3340)

Estatística	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	CTC	V
	H ₂ O	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³								%
Média	4,4	3,53	5,1	0,09	0,71	0,41	0,92	1,91	8,83	10,69	8,38
Moda	4,3	1,70	1,0	0,08	0,20	0,10	1,00	1,00	11,27	10,22	10,51
Mediana	4,4	2,67	2,9	0,07	0,25	0,20	0,49	1,44	8,27	9,98	5,42
Mínimo	3,0	0,07	0,06	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,88	1,60	0,29
Máximo	7,0	8,77	271	2,30	16,17	20,0	22,40	16,24	20,94	52,60	83,46
Desvio Padrão	0,49	1,54	13,66	0,10	1,48	0,81	1,63	1,63	4,09	2,73	9,35
CV%	11,04	43,63	267,85	162,07	208,92	168,93	177,53	85,52	46,27	25,50	111,58
Kolmogorov-Smirnov	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*
Várzea	5,4	3,14	85,0	0,23	6,60	2,20	8,80	0,80	4,40	13,43	67,00

significativo a 5%, ^{ns} não significativo.

Tabela 7. Resultados de amostras de terra coletadas no Estado do Amazonas¹. (N = 3340)

	pH (água)		P (Mehlich 1)		K		Al		Ca		Mg	
	-	%	mg dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%
Muito Baixo	< 4,5	55,26	≤ 2,7	50,25	≤ 0,04	21,44	≤ 0,20	3,96	≤ 0,40	64,58	≤ 0,15	42,21
Baixo	4,5 - 5,4	41,20	2,8 - 5,4	32,48	0,05 - 0,10	54,45	0,21 - 0,50	8,97	0,41 - 1,16	23,81	0,16 - 0,45	32,12
Médio	5,5 - 6,0	2,76	5,5 - 8,0	8,19	0,11 - 0,18	15,92	0,51 - 1,00	18,56	1,17 - 2,32	6,72	0,46 - 0,90	17,40
Alto	6,1 - 7,0	0,78	8,1 - 12,0	4,85	0,19 - 0,31	6,17	1,01 - 2,00	43,46	2,33 - 4,06	2,48	0,91 - 1,50	4,19
Muito Alto	> 7,0	-	> 12,0	4,23	> 0,31	2,02	> 2,00	25,05	> 4,06	2,41	> 1,50	4,08
		Matéria Orgânica		Saturação de Al*		H+Al*		CTC		V		
		cmol _c dm ⁻³	%	dag kg ⁻¹	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	cmol _c dm ⁻³	%	
Muito Baixo	≤ 0,45	47,26	4,4	≤ 0,70	5,59	≤ 1,00	3,36	≤ 1,60	-	≤ 20,0	93,48	
Baixo	0,46 - 1,65	42,60	17,1	0,71 - 2,00	5,55	1,01 - 2,50	1,40	1,61 - 4,30	-	20,1 - 40,0	5,90	
Médio	1,66 - 3,30	7,77	25,2	2,01 - 4,00	12,31	2,51 - 5,00	14,00	4,31 - 8,60	4,47	40,1 - 60,0	0,62	
Alto	3,31 - 5,50	1,71	40,3	4,01 - 7,00	30,03	5,01 - 9,00	38,37	8,61 - 15,00	93,63	60,1 - 80,0	-	
Muito Alto	> 5,50	0,66	13,0	> 7,00	46,52	> 9,00	42,87	> 15,00	1,90	> 80,0	-	

¹Classificação das características do solo baseada em Alvarez Venegas *et al.* (1999). A interpretação destas características nestas classes deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom.

Tabela 8: Coeficientes de correlação entre as características químicas do solo do Estado do Amazonas. (N = 3340)

Propriedad	pH	MOS	P	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	CTC
es										
pH	-									
MOS	0,06ns	-								
P	0,19ns	0,08ns	-							
K	0,19ns	0,08ns	0,60**	-						
Ca	0,48*	0,07ns	0,33ns	0,30ns	-					
Mg	0,24ns	-0,12ns	0,18ns	0,72***	0,59**	-				
Ca+Mg	0,33ns	-0,09ns	0,28ns	0,30ns	0,72***	0,58**	-			
Al	-0,45*	0,16ns	-0,08ns	0,09ns	0,12ns	0,10ns	0,07ns	-		
H+Al	0,29ns	0,15ns	0,11ns	-0,03ns	0,10ns	-0,02ns	0,09ns	0,69**	-	
CTC	0,05ns	0,06ns	0,09ns	0,30ns	0,32ns	0,31ns	0,52*	0,65**	0,18ns	-
V%	0,49*	0,08ns	0,25ns	0,41ns	0,67**	0,53*	0,24ns	-0,19ns	-0,55*	0,37ns

*, ** e *** significativo a 10%, 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, ^{ns} não significativo.

Os altos teores refletem, mesmo com a temperatura e umidade elevada, que o grande acúmulo de folhas, ramos, raízes e galhos, estes últimos de difícil decomposição no sistema, além de resultar em baixo pH, ajuda a tamponar a velocidade de reação de mineralização (MALAVOLTA, 1987), mantendo a quantidade de MOS estável. Os solos com 80-100% de valores menores que $2,0 \text{ dag kg}^{-1}$ estão situados, na sua maior parte, na região norte do Estado (Barcelos, Santa Isabel do Rio Negro e São Gabriel da Cachoeira), nas margens dos rios de águas negras, caracterizados pela ausência de sedimentos (CRAVO et al., 2002), enquanto que os solos de várzea localizados nos rios de água barrenta, apresentaram, em média, $3,14 \text{ dag kg}^{-1}$.

VITORELLO *et al.* (1989), em levantamento realizado sob floresta primária, também observaram grande variação no conteúdo de MOS em função do local amostrado; o mesmo também foi relatado por FAGERIA *et al.* (1994), em solos de várzeas de alguns locais das regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste. Apesar de alguns atributos do solo atuar na formação e na manutenção da MOS, o seu teor não correlacionou significativamente com nenhuma variável estudada (Tabela 8).

5.3 Fósforo disponível e potássio trocável

Adotando os critérios definidos por PIMENTEL GOMES & GARCIA (2002), a fim de verificar a dispersão dos dados, verificou-se que o P disponível apresentou os maiores valores do coeficiente de variação (267,85%), quando comparado com as outras variáveis (Tabela 5), estando o nutriente na faixa de $0,06 \text{ mg dm}^{-3}$ a 271 mg dm^{-3} , com desvio padrão de 13,66. As diferenças observadas nos valores de média, moda e mediana, 5,1, 1,0 e $2,9 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente, e significância estatística, indicam a não presença de distribuição normal dos dados (Tabela 5).

Na Tabela 7 e Figura 4, verificou-se que 82,73% dos solos do Estado do Amazonas apresentaram teores de P menores que $5,4 \text{ mg dm}^{-3}$, ficando esses solos dentro do intervalo de frequência de 80-100% de probabilidade de ocorrência. Observou-se também, que os baixos teores de P estão situados, na sua maior parte, em um arco inclinado para o leste que se estende de norte a sul do Estado, compreendendo, principalmente, os municípios situados às margens dos rios Madeira, Negro, Solimões e Japurá. Os solos que apresentaram as menores frequências (0-40%) estão situados em áreas de várzea (municípios do Careiro da Várzea, Anori, Juruá e Alvarães) (Figura 4) e nos sítios arqueológicos, denominados de Terra Preta do Índio, solos esses caracterizados por altos teores de P (LEHMANN *et al.*, 2004).

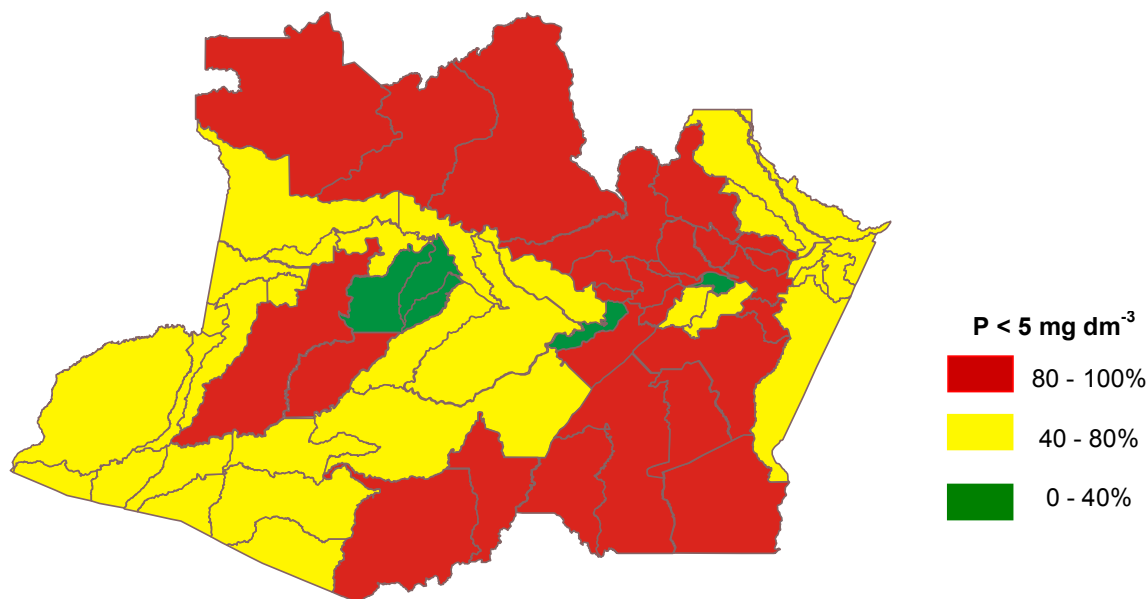


Figura 4. Mapa da distribuição aproximada do fósforo disponível, extrator Mehlich 1, nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

SANCHEZ & SALINAS (1981) estimaram que 96% dos solos da Amazônia são deficientes em P, com o teor total do elemento, geralmente, menor que 200 mg dm⁻³; desse total, 60-80% estão contidos na matéria orgânica do solo (MOS). À semelhança do encontrado por FAGERIA et al. (1994), o P disponível apresentou correlação significativa e positiva somente com o K trocável (Tabela 8), isso, desde que nenhum dos dois elementos seja limitante no solo. Segundo ADAMS (1980), cerca de 12 compostos são oriundos da interação P-K que atuam na precipitação do Al, Ca, Mg ou Fe no solo.

O teor de K trocável variou de 0,01 cmol_c dm⁻³ a 2,30 cmol_c dm⁻³, ficando na média, em 0,09 cmol_c dm⁻³ (Tabela 6), valor esse aquém da classe de interpretação indicada por ALVAREZ VENEGAS et al. (1999) como baixa (0,10 a 0,18 cmol_c dm⁻³) (Tabela 7). Os altos valores do desvio padrão e do coeficiente de variação (0,10% e 162,07%) indicam grande variabilidade na disponibilidade de K nos solos do Estado.

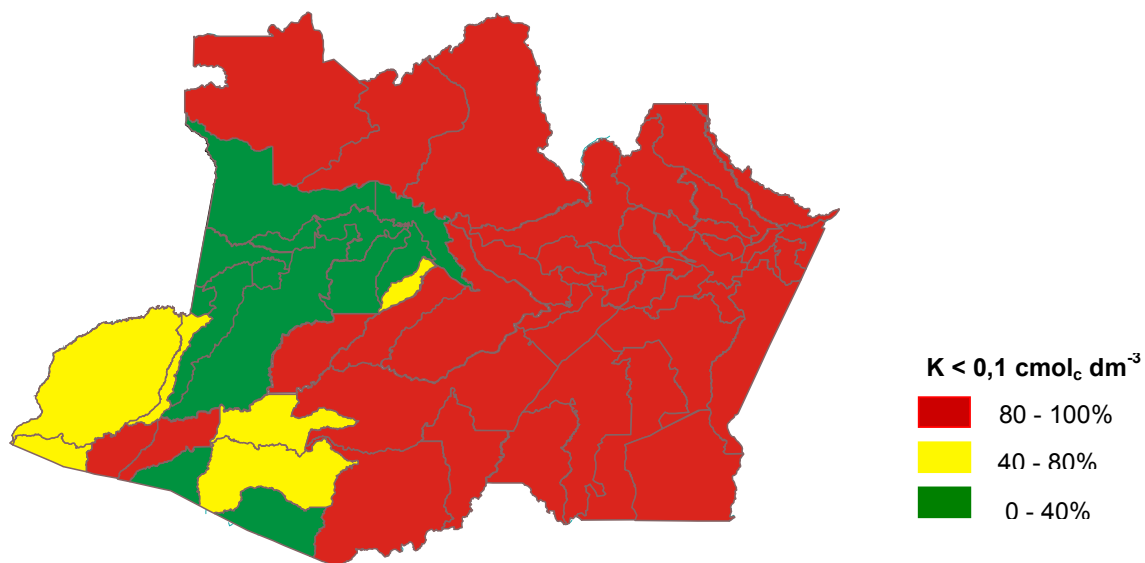


Figura 5. Mapa da distribuição aproximada do potássio trocável, extrator Mehlich 1, nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

Exceto as regiões oeste e sudoeste, que apresentaram de 0 a 40% e 40 a 80% de valores menores que $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (20% da área), o restante do Estado, independentemente do ecossistema (várzea, $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ou terra firme, $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), foram caracterizados por teores médios e baixos de K (Tabelas 6 e 7 e Figura 5), nos quais 75,89% das amostras ficaram dentro das faixas baixo e muito baixo. Os elevados teores de K nas amostras em algumas regiões deveram-se a presença de quantidades apreciáveis de minerais primários, tais como: feldspatos, micas e cloritas (MARQUES et al., 2002).

5.4 Cálcio e magnésio trocável

Os teores de Ca, Mg e Ca+Mg variaram de 0,01, 0,01 e 0,02 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 16,17, 20,0, 22,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. A significância obtida pelo método de Kolmogorov-Smirnov (5%), as diferenças entre a média, moda e mediana e os altos desvios padrões e coeficientes de variação indicaram a ausência de normalidade dos dados (Tabela 6).

Os solos da Amazônia são caracterizados, na sua maior parte, por baixos níveis de Ca e Mg (ALFAIA & MURAOKA, 1997), o que são confirmados pelos 88,39% e 74,33% abaixo dos teores de 1,17 e 0,46 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ considerados médios por ALVAREZ VENEGAS et al. (1999), para o Ca e Mg, respectivamente (Tabela 7). Verificou-se que, exceto o município do Careiro da Várzea, localizado às margens do rio Solimões, na região central do Estado (Figuras 2 e 6), com apenas 0-40% da sua área com teores menores que 1,17 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos demais municípios, os teores ficaram dentro das faixas de 40-80% e 80-100% de frequência de ocorrência.

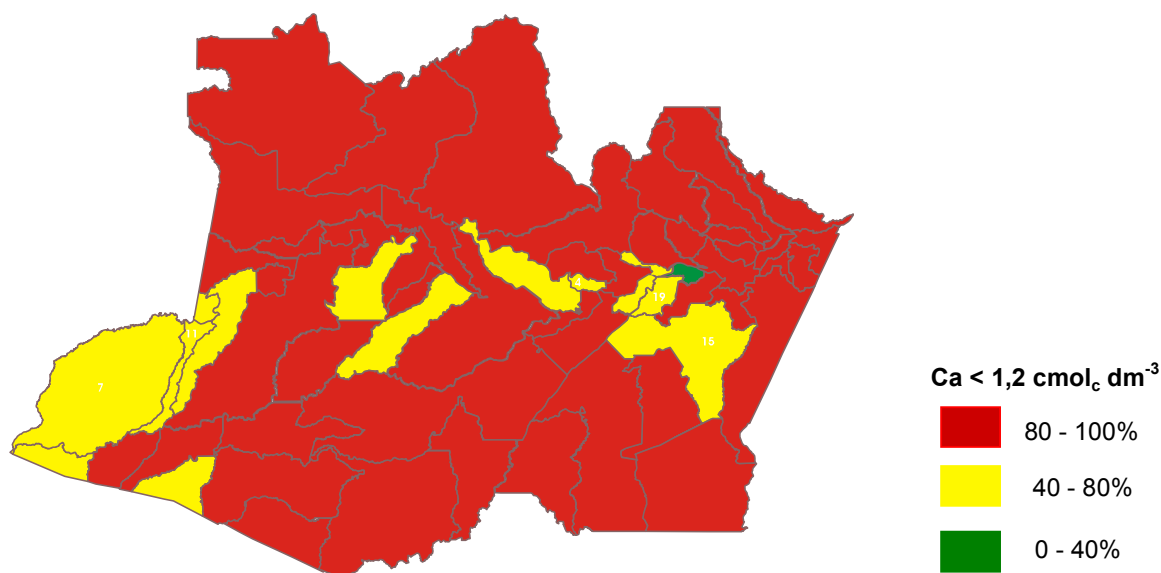


Figura 6. Mapa da distribuição aproximada do cálcio trocável, extrator KCl 1,0 mol L⁻¹, nos 62 Municípios do Estado do Amazonas

Com relação ao Mg e Ca+Mg, todas as amostras ficaram dentro das faixas 40-80% e 80-100%, com teores abaixo de 0,46 e 1,7 cmol_c dm⁻³, respectivamente (Figuras 7 e 8).

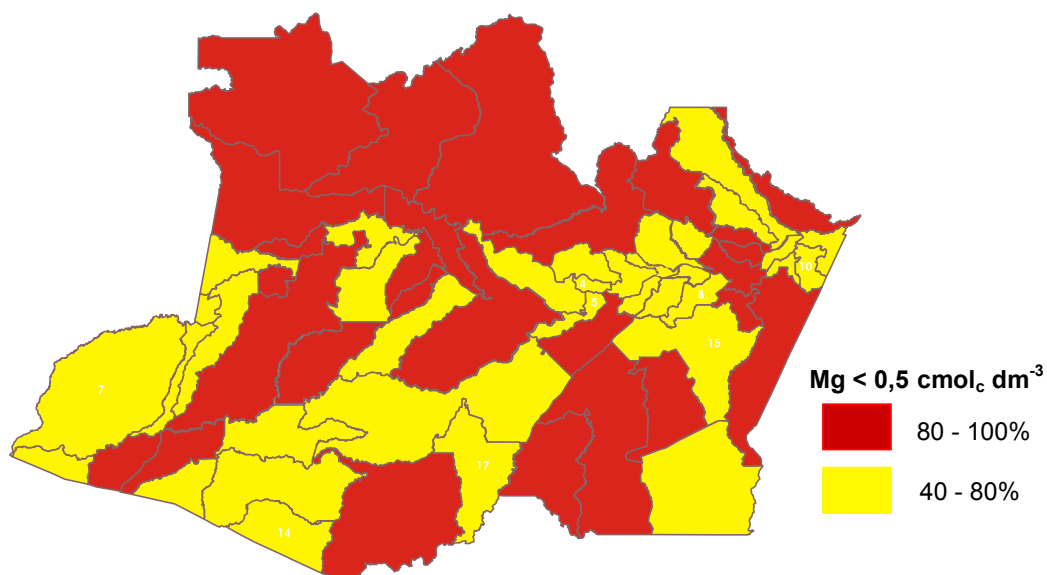


Figura 7. Mapa da distribuição aproximada do cálcio trocável, extrator KCl 1,0 mol L⁻¹, nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

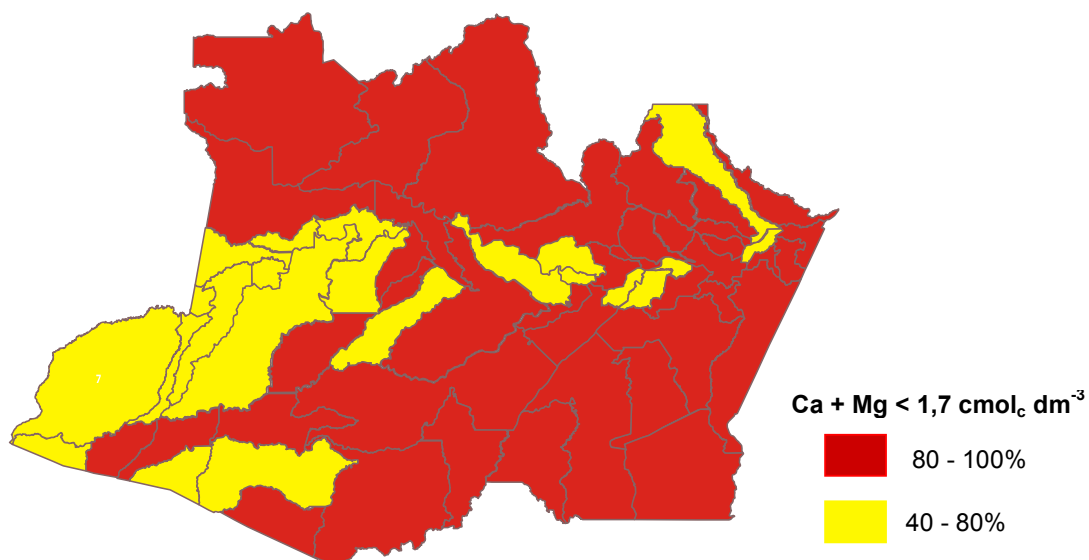


Figura 8. Mapa da distribuição aproximada do cálcio+magnésio trocável, extrator KCl 1,0 mol L⁻¹, nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

O Ca trocável apresentou correlação significativa e positiva com o pH e os teores de Mg e Ca+Mg trocáveis (Tabela 8). As correlações observadas com o Mg indicam que, em condições de média a alta fertilidade, ao aumentar o teor de um dos dois elementos, verifica-se o crescimento da disponibilidade do outro, corroborando a revisão de Tome Júnior (1997).

5.5 Al trocável, H+Al trocável, capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%)

Os teores de Al, H+Al e a saturação por bases (V%) não apresentaram distribuição normal, variando de 0,01 a 16,24 cmol_c dm⁻³, 0,88 a 20,94cmol_c dm⁻³ e 0,29 a 83,46%, respectivamente (Tabela 6). Em média, exceto os solos de várzea, os teores de Al e H+Al encontrados são considerados tóxicos para a maioria das culturas (ALVAREZ VENEGAS et al., 1999). Observou-se também, a existência de alta saturação de alumínio, com 76,55% das amostras com valores acima de 50% (Tabela 7).

O Al trocável correlacionou-se positivamente com a CTC e o H+Al apresentou correlação negativa com o pH, enquanto que, o H+Al correlacionou-se significativamente com a saturação por bases (Tabela 8). Com relação a frequência, os teores de Al trocável ficaram situados, na sua totalidade, dentro da faixa de 40-80% e 80-100% das amostras abaixo de $1,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 9). O teor de H+Al trocável, exceto nos municípios de São Gabriel da Cachoeira e Careiro da Várzea (Figuras 2 e 10), ficou também, em 40-80% e 80-100% das amostras, abaixo de $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A estatística descritiva e a distribuição percentual da CTC são apresentadas nas Tabelas 6 e 7. Os dados apresentaram distribuição normal, com a média, moda e mediana semelhantes e baixo coeficiente de variação (RIBEIRO JUNIOR, 1995; PIMENTEL GOMES & GARCIA, 2002). Observou-se que exceto a várzea, existe pequena contribuição da soma de bases na CTC (Tabela 7 e Figura 11), havendo a predominância de H+Al no complexo de troca (MALAVOLTA, 1987).

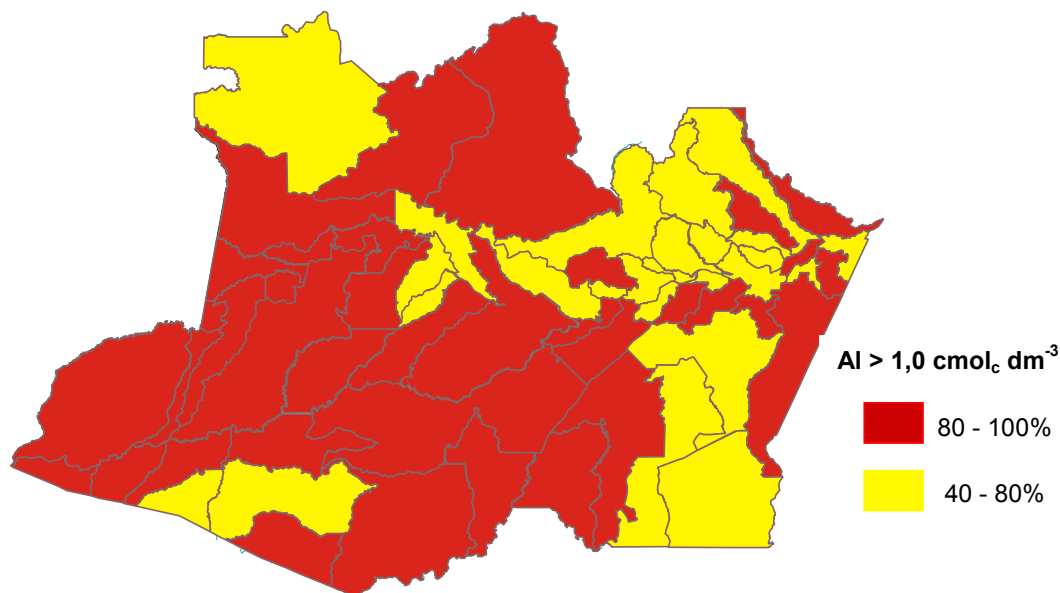


Figura 9. Mapa da distribuição aproximada do alumínio trocável, extrator $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$, nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

O baixo percentual de saturação por bases, com 99,38% das amostras com valores abaixo de 40%, estão aquém dos 50 e 60% considerados adequados para o cultivo de cereais, e de 60 a 70% para as leguminosas (FAGERIA et al., 1994). Semelhante ao observado por FAGERIA et al. (1994), a saturação por bases correlacionou-se positivamente com o pH e com os teores de Ca e Mg e negativamente com o H+Al trocável (Tabela 7).

Exceto no município de São Gabriel de Cachoeira (Figura 2), localizado sobre Neossolos distróficos ou ácidos (VIEIRA & SANTOS, 1987), no restante do Estado, as amostras ficaram dentro das frequências 0-40% e 40-80% de ocorrência de CTC acima de $8,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 11), enquanto que a totalidade das amostras apresentaram saturação por bases dentro das faixas de 40-80% e 80-100% de valores menores que 20% (Figura 12).

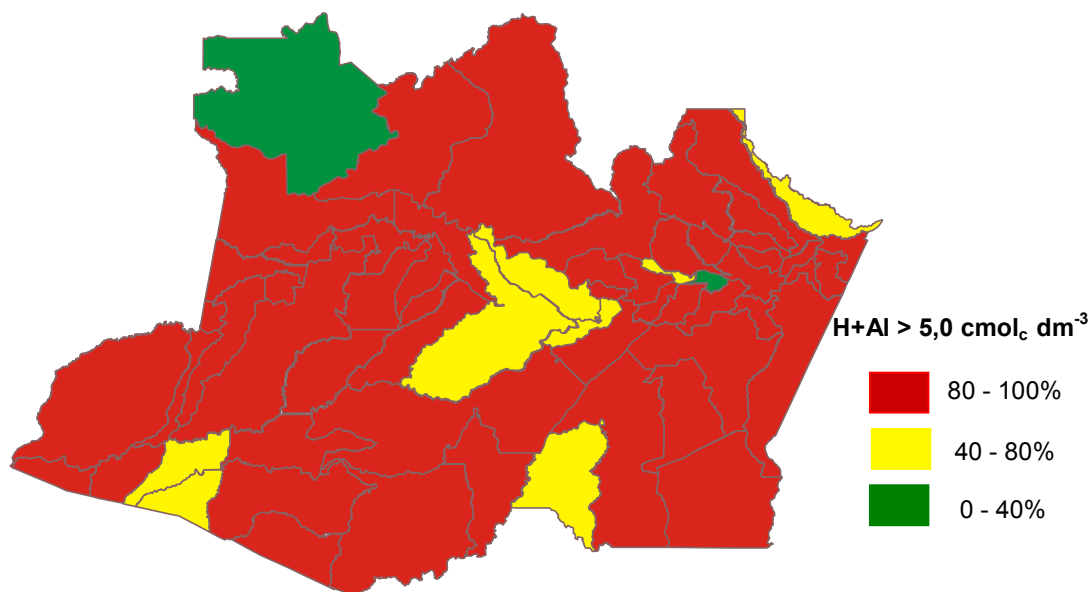


Figura 10. Mapa da distribuição aproximada H+Al trocável, extrator acetato de cálcio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

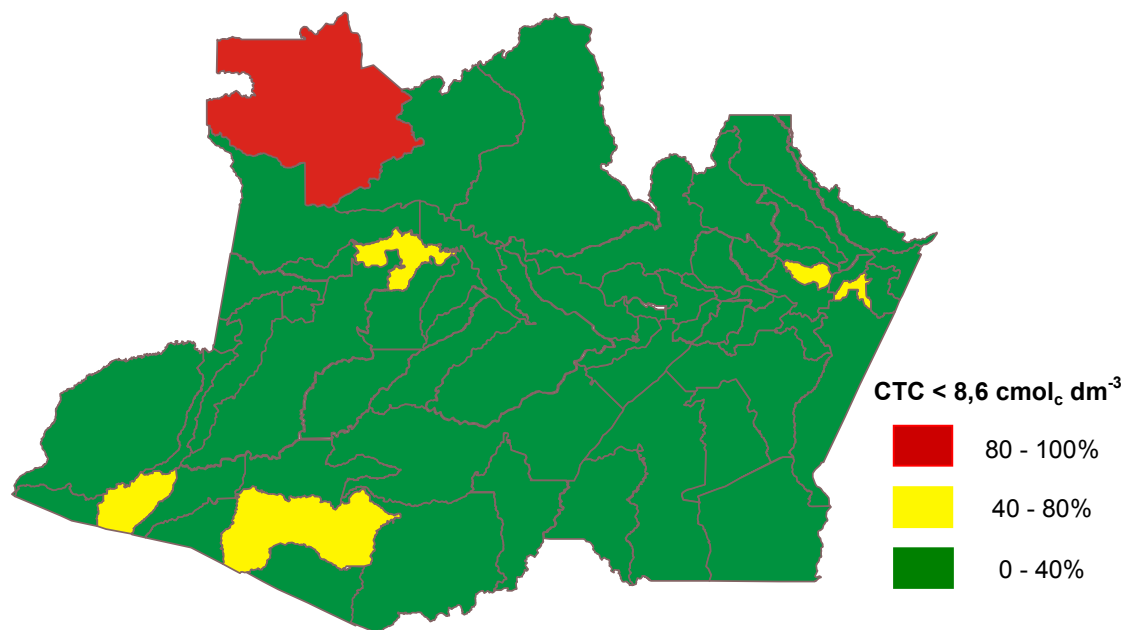


Figura 11. Mapa da distribuição aproximada da CTC (K+Ca+Mg+H+Al), nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

Os resultados aqui apresentados indicam que são necessários estudos, com ênfase ao melhoramento genético e a fertilização, para a utilização racional dos solos do Estado do Amazonas para fins agrícolas.

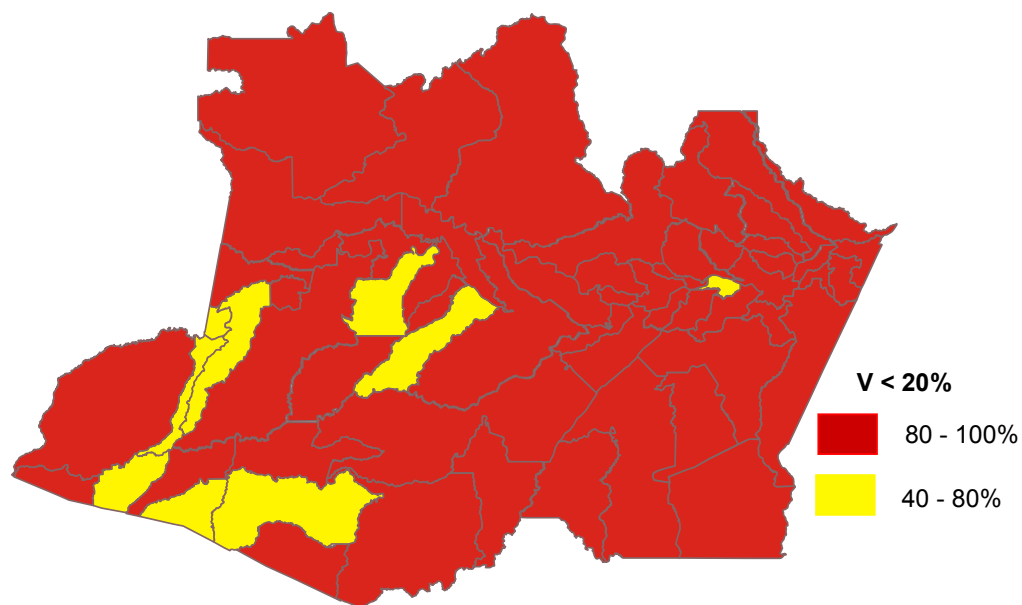


Figura 12. Mapa da distribuição aproximada da Saturação por bases (V%), nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

5.6 Soma de bases (S), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva) e saturação por alumínio (m)

De acordo com o levantamento e o mapa de distribuição dos dados (Figura 13), cerca de 70% a 80% do Estado apresenta baixa soma de bases ($> 1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto a CTC efetiva (Figura 14), devido os altos teores de Al, ficou dentro da classe alto e muito alto (Alvarez Venegas et al. (1999). De acordo com as Tabelas 6 e 7 e corroborando a Figura 9, os solos da região são caracterizados por altos teores de Al.

Com relação a saturação por Al (m%), exceto os municípios de Uarini, Envira e Careiro da Várzea (Figura 15), margeados pelos rios Solimões e Juruá, os com maiores áreas de terra firme apresentaram teores altos e muito altos ($> 50\%$) (Alvarez Venegas et al., 1999), com saturação por Al acima de 75%.

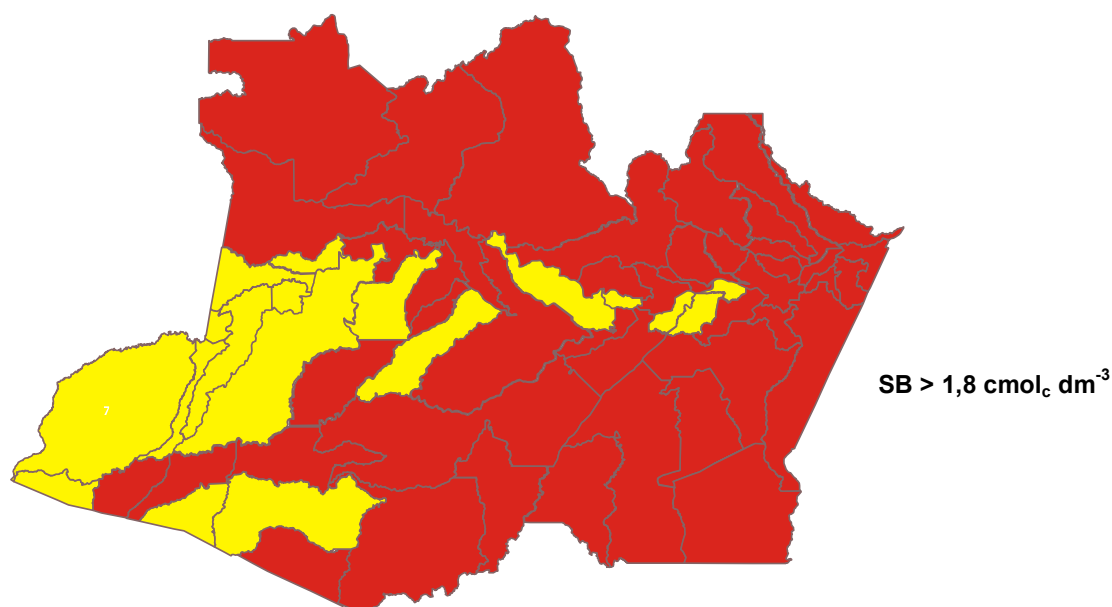




Figura 13. Mapa da distribuição aproximada da soma de bases (K+Ca+Mg) nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

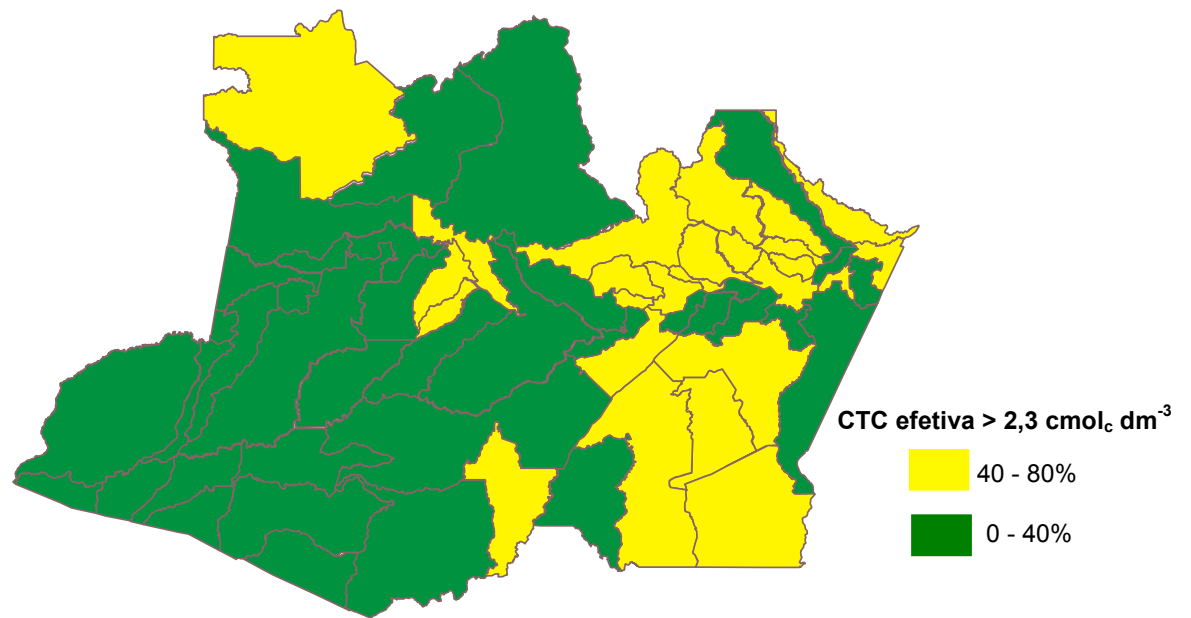


Figura 14. Mapa da distribuição aproximada da capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva (K+Ca+Mg+Al), nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

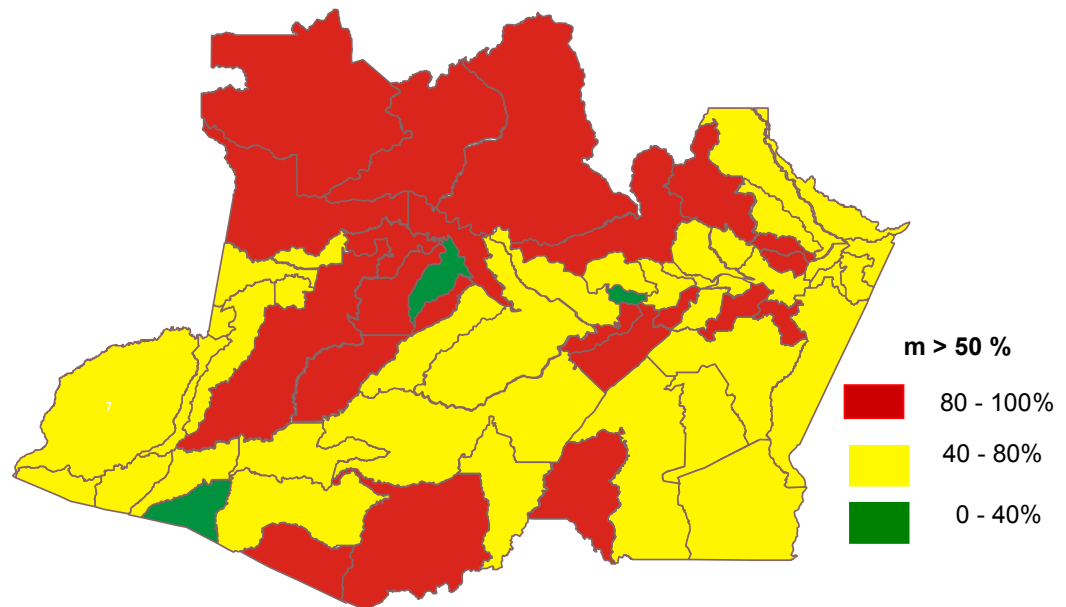


Figura 15. Mapa da distribuição aproximada da saturação por alumínio (m%), nos 62 Municípios do Estado do Amazonas.

6. Conclusões

1. Exceto o pH e a CTC, os atributos químicos dos solos (P, K, Ca, Mg, Al e H+Al) apresentam grande variabilidade na sua composição;
2. Exceto os solos de várzea e os antropogênicos, os demais tipos de solos do Amazonas são caracterizados pela elevada acidez, teores intermediários de MOS, baixos teores de P, K e Mg e altos teores de H e H+Al trocável;
3. Em geral, a saturação por bases é menor que 20%, valor considerado baixo para a maioria das culturas;
4. A utilização de culturas perenes nativas da região (guaraná, pupunheira, seringueira, castanheira, mogno, etc.), adaptadas às características do solo podem apresentar bom potencial produção;
5. Os resultados obtidos no levantamento da fertilidade do solo poderão ser utilizados para o zoneamento agroecológico-econômico do Estado do Amazonas.

7. Referências Bibliográficas

ADAMS, F. Interactions of phosphorus with other elements in soils and in plants. In:

KHASAWNWEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p.655-680. 1980.

ALFAIA, S.; MURAOKA, T. Efeito residual de calagem e micronutrientes e Latossolo Amarelo sob rotação de culturas. **Acta Amazonica**, v.27, n.3, p.153-162, 1997.

ALFAIA, S.S.; FALCÃO, N.P. Estudo da dinâmica de nutrientes em solos de várzea da Ilha do Careiro no Estado do Amazonas. **Amazoniana**, v.12, n.3/4, p.485-493, 1993.

ALLEN, B.L.; HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Eds). Mineral in soil environments. Madison: **Soil Science Society of America**, 1989. p.199-278.

ALMEIDA, L.A.; SOUZA, A.F. **Prospecção de solos no Município de Maués-Amazonas**. Manaus: IPEAAOc, 1972. 21p.

ALVAREZ VENEGAS, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.

ALVAREZ VENEGAS, V.H.; RIBEIRO, A.C.. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

ANDREUX, F.; CERRI, C.C. Current trends in the research on soil changes due to deforestation, burning and cultivation in the Brazilian tropics. **Toxicological Environmental Chemistry**. v.20/22, p.275-283, 1989.

BI, T.T.; OMONT, H. Étude des sols de parcelles d'hévéa em Basse Cote d'Ivoire. **Revue Générale dès Caoutchoucs et Plastiques**, n.674, p.111-116, 1987.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J.L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p.61-69.

CETEC. **Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM – Município de Parintins**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1986a. 169p.

CETEC. **Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM – Município de Barreirinha**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1986b. 177p.

CETEC. **Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola em áreas abrangidas pelo PDRI, AM – Município do Careiro**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1986c. 125p.

CHEESEMAN, J.M.; HANSON, J. B. Energy linked potassium influx as related to cell potential in corn roots. **Plant Physiology**, v.64, p.842-845,1979.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264p.

CRAVO, M.S.; SMYTH, T.J. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.4, p.607-616, 1997.

CRAVO, M.S.; XAVIER, J.J.B.N.; DIAS, M.C.; BARRETO, J.F. Características, uso agrícola atual e potencial das várzeas no Estado do Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v.32, n.3.p.351-365, 2002.

DALAL, R.C. **Soil microbial biomass – what do the number really mean?** Australian Journal of Experimental Agriculture, v.38, p.649-665, 1998.

DEMATTE, J.L.I. **Manejos de solos ácidos dos trópicos úmidos – Região Amazônica.** Campinas : Fundação Cargill, 1988. 215p.

DUKE, A.; BLACK, A.G. Photogeographic notes on the Brazilian Amazon. **Acadêmia Brasileira de Ciências**, v.25, p.1-14, 1953.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de 21000 hectares no Município de Tefé, Estado do Amazonas.** Rio de Janeiro: SNLCS-EMADE, 1983. 117p.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão das terras da área do pólo Trombetas, PA.** Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1984. 440p.(a)

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: CNPS/EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Relatório técnico anual da unidade de execução de pesquisa de âmbito estadual de Manaus – 1982/1983.** Manaus: Embrapa UEPAE de Manaus, 1984. 360p.(b)

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. ZIMMERMANN, F.J. Caracterização química e granulométrica de solos de várzea de alguns estados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.2, p.267-274, 1994.

FALESI, I.C. Estado atual de conhecimentos de solos da Amazônia brasileira. Simpósio do trópico úmido, 1. Belém, 1984. **Anais...** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1986. p.168-191.

FALESI, I.C. **Estado atual dos conhecimentos dos solos da Amazônia Brasileira.** Belém : IPEAN, 1966. 29p.

FALESI, I.C.; CRUZ, E.S.; PEREIRA, F.B.; LOPES, E.C. **Os solos da área de Manaus – Itacoatiara**. Belém: IPEAN, 1969. 116p.

FALESI, I.C.; RODRIGUES, T.E.; REIS, R.S.; MORIKAWA, I., K.; SILVA, B.N.R. **Levantamento detalhado dos solos do IPEAAOc**. Manaus: IPEAAOc, 1972. 63p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; senso demográfico**. Rio de Janeiro, 2000 (www.ibge.gov.br).

IRION, G. Quaternary geology of amazonian lowland. Simpósio do trópico úmido, 1. Belém, 1984. **Anais...** Belém, EMBRAPA-CPATU, 1986. p.494-498.

IRIONDO, M.H. Geomorfologia da planície amazônica. In: Simpósio do Quaternário do Brasil, 4. **Anais...** p.323-348. 1982.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.219-225, 1989.

KOHNKE, H.; FRANZMEIR, D.P. **Soil science simplified**. Long Grove: Waveland Press, 1995. 162p.

LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GERMAN, L.A.; McCANN, J.; MARTINS, G.C.; MOREIRA, A. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths; origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.105-124.

LIMA, H.N.. **Gênese, Química, Mineralogia e Micromorfologia de Solos da Amazônia Ocidental**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. 2001.

LONERANGAN, J.F.; ASHER, C.J. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II Rate of phosphate absorption and its relation to growth. **Soil Science**, v. 103, p.311-318, 1967.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia. In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. (Eds.). **Amazônia; seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p.374-416.

MALAVOLTA, E. **Manual de Calagem e Adubação das principais Culturas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1987. 430p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M.O.C.B. **Nutrição Mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Editora Pioneira, 1974. p.15-17.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S.A.. **Avaliação do estado nutricional das plantas princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MARQUES, J.J.; TEIXEIRA, W.G.; SCHULZE, D.G.; CURTI, N. Mineralogy of soils with unusually high exchangeable Al from the western Amazon Region. **Clay Minerals**, v.37, p.651-661, 2002 .

MARTINS, P.F.S; CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F.; CHAUVEL, A. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian Ecosystem. **Forest Ecology and Management**, v.38, p.173-182, 1991.

MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M.O.C.B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETO, A.; KIEHJL, J.C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Editora Nobel, 1989. 400p.

MENGEL, K.; KIRKBY, P.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash

Institute, 1987. 687p.

MILLER, H.G. Nutrient cycles in birchwoods. **Proceeding of the Royal Society of Edinburg**, v.853, p.83-96, 1984.

MORAES, V.H.F.; MOREIRA, A. **Potencial de contribuição da cultura da seringueira para conservação do ambiente no trópico úmido**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2003. 18p.

MOREIRA, A.; ALMEIDA, M.P. **Efeito de N e K e da densidade de plantio sobre a produção e pós-colheita de cultivares de bananeira no Estado do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005. 105p.

MOREIRA, A.; COSTA, D.G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.10, p.1013-1020, 2004.

MOREIRA, A.; GONÇALVES, J.R.P. Available phosphorus and potassium status of soils of Amazonas State. **Better Crops with Plant Food**, v.90, n.1, p.30-32, 2006.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1103-1100, 2004.

PANDOLFO, C. **Amazônia brasileira e suas potencialidades**. Belém: SUDAM, 1979. 74p.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**, California: Academic Press, 1989. 275p.

PEREIRA FILHO, M. Desenvolvimento e preservação das áreas de várzea da Amazônia brasileira. In: VAL, A.L.; FIGLIVOLO, R.; FELDBERG, E. (Eds.). **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia; fatos e perspectivas**. Manaus: Inpa, 1991. p.55-64.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a elementos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PROJETO RADAM BRASIL. 1976. Rio de Janeiro: DNPM., 458p. (Levantamento dos recursos naturais, 12).

PROJETO RADAM BRASIL. 1977a. Rio de Janeiro: DNPM., 413p. (Levantamento dos recursos naturais, 13).

PROJETO RADAM BRASIL. 1977b. Rio de Janeiro: DNPM., 430p. (Levantamento dos recursos naturais, 15).

PROJETO RADAM BRASIL. 1977c. Rio de Janeiro: DNPM., 446p. (Levantamento dos recursos naturais, 14).

PROJETO RADAM BRASIL. 1978. Rio de Janeiro: DNPM., 617p. (Levantamento dos recursos naturais, 18).

RADAMBRASIL. FOLHA SA20 MANAUS. Vol. 18. Pedologia. p.245-410. Rio de Janeiro, 1978. Ministério das Minas e Energia – **Departamento Nacional da Produção Mineral**. Levantamentos de Recursos Naturais.

RAIJ, B. van.. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos. 1991, 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; ABREU, C.A. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1997. p.1-13.

RIBEIRO JÚNIOR, P.J. **Métodos geostatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**, 99f. Dissertação (Mestrado em estatística) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1995.

RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o**

desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p.19-60.

SÁ, T.D.A. **Processos de degradação e recursos naturais na Amazônia brasileira; prioridade para intervenção.** In: Simpósio sobre Sistemas Agroflorestais, Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005 (Compact disc).

SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G.; ABSY, M.L.; NELSON, B.W. Clima na Amazônia: presente, passado e futuro. In: VAL, A.L.; FIGLIUOLO, R.; FELDBERG, E. (Eds.) **Base científica para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia: fatos e perspectivas.** Manaus: Inpa, 1991. p.21-34.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low input management technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Agronomy Journal**, v.34, p.279-406, 1981.

SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N.; VALE JÚNIOR, J.F., MELLO, J.W.V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciência da Terra, v.12, p.63-104, 2000.

SILVA, B.N.R.S.; ARAÚJO, J.V.; RODRIGUES, T.E.; FALESÍ, I.C.; RÊGO, R.S.; GUIMARÃES, G.A. **Os solos da área Cacau Pirêra-Manacapuru.** Belém: IPEAN, 1970. 198p.

STARK, N. Nutrient cycling: nutrient distribution in some Amazonian soils. **Tropical Ecology**, v.12, n.1, p.24-50, 1970.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths; origin, properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.271-286.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizer.** New York: Macmillan Pub. Company, 1985. 754p.

TOMÉ JUNIOR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Editora Agropecuária. 1997. 247p.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. **Amazônia; seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo : Editora Ceres, 1987. 416p.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. p.2-54.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas. **Bragantia**, v.56, n.1, p.181-190, 1997.

VITORELLO, V.A.; CERRI, C.C.; FELLER, E.; VITORIA, R.L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forest and cultivated oxisols. Soil Science Society of American Journal, v.53, p.773-778, 1989.

WOODS, W.I. Development of antrosol research. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths; origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p.3-14.