

MANEJO SUSTENTADO DA FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO DA AMAZÔNIA CENTRAL SOB CULTIVOS SUCESSIVOS⁽¹⁾

M. S. CRAVO⁽²⁾ & T. J. SMYTH⁽³⁾

RESUMO

Estimativas da área desmatada na Amazônia brasileira, principalmente para a pecuária e agricultura itinerante, já ultrapassam o equivalente à superfície do Estado de Rondônia. Com objetivo de estabelecer o modelo de exaustão de nutrientes do solo e determinar as necessidades de fertilizantes e de calcário para o cultivo sucessivo, após desmatamento e queima da vegetação, foi instalado um experimento em um latossolo amarelo próximo de Manaus (AM). Foram avaliadas respostas às aplicações de N, P, K, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn e calcário, durante oito anos de cultivo. No período de 1981 a 1990, foram feitos 17 cultivos, observando-se respostas ao P, K, calcário e Mg, a partir do primeiro, segundo, terceiro e décimo primeiro cultivos, respectivamente. Para N, só houve resposta nos cultivos de milho, sendo necessário aumentar as aplicações a cada cultivo. Na ausência de adubação e de calagem, houve redução dos teores de N, P, K, Ca, Mg, C e do pH e aumento da saturação de Al, com o tempo de cultivo. O uso de fertilizantes e de calcário, com base na análise do solo, permitiu o cultivo contínuo da mesma área, com uma produtividade média de 4,1 t ha⁻¹ ano⁻¹ de grãos, contra 0,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ na testemunha. Seria necessário cultivar, aproximadamente, 24 ha no sistema itinerante, para se conseguir o total de grãos produzidos em 1 ha, durante oito anos, com manejo adequado de fertilizantes e de calcário.

Termos de indexação: trópico úmido, latossolo amarelo, desflorestamento, agricultura itinerante, agricultura sustentada.

SUMMARY: SOIL FERTILITY MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE CROPPING ON AN OXISOL OF THE CENTRAL AMAZON

Estimates of deforestation in the Brazilian Amazon, primarily for shifting cultivation and pastures, exceed the land area for the State of Rondônia. An experiment was conducted on a Xanthic Hapludox near Manaus, Brazil to establish soil nutrient depletion patterns and fertilizer and lime requirements for continuous cultivation after slash-and-burn clearing. Yield responses

⁽¹⁾ Parte do trabalho apresentado na XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Piracicaba, 1992 e na XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Manaus, 1996. Pesquisa desenvolvida por intermédio do convênio EMBRAPA-CPAA/North Carolina State University (USA). Recebido para publicação em fevereiro e aprovado em setembro de 1997.

⁽²⁾ Pesquisador da EMBRAPA/CPAA, Caixa Postal 319, CEP 69011-970 Manaus (AM).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Estadual de Carolina do Norte (USA), Raleigh, NC 27695-7619.

to N, P, K, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn and lime were evaluated during eight years of cultivation. Seventeen crops were grown during the period from 1981 to 1990, and yield responses were detected for P, K, lime and Mg beginning with the first, second, third and 11 th crops, respectively. Only corn crops responded to N and the requirements increased with each crop. In the absence of fertilizer and lime soil N, P, K, Ca, Mg, C and pH decreased and percent Al saturation increased with time of cultivation. Mean crop yields, with liming and fertilization based on soil analyses, were 4.1 t ha⁻¹ yr⁻¹ as opposed to 0.2 t ha⁻¹ yr⁻¹ in the check treatment. Total grain yields obtained from 1 ha, during eight years with adequate fertilizer and lime management, would correspond to yields from 24 ha of land under shifting cultivation practices.

Index terms: humid tropics, Oxisol, deforestation, shifting cultivation, sustainable agriculture.

INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira vem sofrendo acelerado processo de ocupação, causando intenso corte de suas florestas. Fearnside (1990) estima que a área desmatada corresponde a 7% da região, enquanto, para Cunha (1989), ela representa 5,12% da Amazônia Legal, correspondendo a mais de 250.000 km². Por mais modesta que seja a estimativa, a área desmatada é maior que a superfície do Estado de Rondônia. De acordo com Mahar (1989), as principais causas do desmatamento são a agricultura de pequena escala, a formação de pastagens, a exploração madeireira, as construções de estradas e de hidroelétricas, as atividades de mineração e o crescimento urbano, das quais as duas primeiras são as que mais contribuem para o processo.

A não utilização de adubos e corretivos acarreta um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores da Amazônia - a baixa produtividade, obtida a partir do segundo cultivo após a queima da vegetação florestal. Cultivos na mesma gleba se restringem aos dois primeiros anos, tempo em que os efeitos fertilizantes e corretivos das cinzas ainda permitem colheitas razoáveis. É o que se conhece como sistema de agricultura itinerante. Estudos realizados por Smyth & Bastos (1984), em Manaus, mostraram sensível melhora nas características químicas do solo pelas cinzas, porém, de curta duração.

No ecossistema de terra firme na Amazônia, predominam os latossolos amarelos e os podzólicos vermelho-amarelos, solos altamente intemperizados, com características físicas adequadas ao uso agrícola, mas com fortes limitações nutricionais (Radambrasil, 1975). O P é considerado o elemento mais limitante ao crescimento das culturas, sendo deficiente em 90% dos solos da região, seguido pelo N e pelo K. Além disso, 70% dos solos da região amazônica são ácidos e apresentam toxicidade causada pelo Al (Cochrane & Sanchez, 1982). Entretanto, quando essas limitações de natureza química são superadas pela aplicação de calcário e de nutrientes, as produtividades das culturas passam a ser equivalentes às obtidas em outros solos, quimicamente, melhores (Sanchez & Salinas, 1981).

Para o cultivo contínuo desses solos, como opção para diminuir a taxa de desflorestamento, torna-se necessário definir as exigências nutricionais das culturas, bem como a seqüência de ocorrência de deficiências nutricionais durante o período de

utilização da terra. Estudos dessa natureza foram feitos em podzólicos na Amazônia peruana por Sanchez et al. (1983). Após o primeiro cultivo, esses pesquisadores observaram não só decréscimos no pH e nos teores de Ca, Mg, N, K, P, Cu e Mn no solo, mas também aumento da saturação de Al. A correção dessas deficiências durante 21 cultivos de arroz, milho e soja permitiu manter uma produtividade média de 2,7 t ha⁻¹ de grãos, enquanto a testemunha apresentou produtividade média de 0,5 t ha⁻¹ cultivo⁻¹.

Os objetivos deste trabalho foram: estabelecer o modelo de exaustão de nutrientes de um latossolo da Amazônia central brasileira com o tempo após o desmatamento e queima da vegetação; e, determinar a necessidade de nutrientes e de calcário para o cultivo contínuo e sustentado desse solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi iniciado em 1981, na Estação Experimental da EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental (CPAA), situada 30 km ao Norte de Manaus (AM) (3°8' de latitude sul e 59°52' de longitude oeste, com 50 m de altitude). As médias das temperaturas máximas e mínimas mensais são de 32 e 22°C, respectivamente. A precipitação média anual é de 2.420 mm, com um máximo de 295 mm mensais, em março e em abril, e um mínimo de 105 mm mensais, em agosto e em setembro (EMBRAPA, 1984). O solo foi classificado como latossolo amarelo álico muito argiloso (Rodrigues et al., 1972). As características químicas iniciais do solo (0-20 cm) eram: pH em água = 4,2; CTC efetiva = 23 mmol_c dm⁻³; P, K, Fe, Mn e Zn extraídos com Mehlich-1 = 2; 22; 175; 2 e 1 mg dm⁻³, respectivamente; e saturação de Al = 78% (Smyth & Bastos, 1984). A vegetação da área, que era de floresta equatorial úmida, foi derrubada manualmente e queimada, tendo sido removidos da área os troncos não queimados. Após a destoca, a área foi arada e gradeada para o primeiro plantio e para os plantios subsequentes, preparada com enxada rotativa a uma profundidade de 15 cm.

Sanchez et al. (1983) analisando, em um podzólico da Amazônia peruana, o rendimento de cultivos entre dois tratamentos - uma testemunha absoluta e outro constituído pelo ajuste de uma adubação completa com

base na análise de solo anterior a cada cultivo - encontraram dificuldade em avaliar o comportamento individual dos elementos testados.

Neste trabalho, optou-se por determinar a contribuição de cada nutriente à produtividade, ao longo do período de cultivo. Para isso, foi necessário estabelecer um experimento que permitisse antecipar uma eventual resposta das culturas a cada nutriente e calcário, a partir do momento em que se identificasse deficiência/toxicidade do elemento. O experimento constituiu-se de 35 tratamentos, visando avaliar três ou quatro doses de N, P, K, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn e de calcário, além de uma testemunha absoluta. As doses, fontes, frequência de aplicações e época na qual foram iniciadas as avaliações de cada nutriente e do calcário encontram-se no quadro 1. Incluiu-se o tratamento denominado "resíduos", para avaliar o efeito da remoção de restos vegetais nas colheitas de cada cultivo de arroz e de soja. Nesses cultivos, os restos vegetais foram retornados somente às parcelas do tratamento "resíduos", após a trilha dos grãos. Nos cultivos de caupi e milho, os restos vegetais foram mantidos em todos os tratamentos. Com exceção de N, P, testemunha e o tratamento "resíduos", o início da aplicação do tratamento, para cada nutriente ou calcário, foi baseado na análise de solo do cultivo anterior. Ao verificar possível deficiência de um nutriente, iniciava-se sua correção para o cultivo

subseqüente e, se confirmada a resposta, aplicava-se o nutriente em uma dose básica nos demais tratamentos (exceto na testemunha e no tratamento "resíduos") antes do cultivo subseqüente. Procurou-se, assim, evitar confusão entre respostas a um elemento, com deficiência de outros.

Após o 3º cultivo com soja, que foi o 8º cultivo do experimento, o tratamento "resíduos" foi usado para avaliar o efeito da não aplicação do fertilizante potássico (K₀) nos nove cultivos finais.

O N só foi aplicado para o milho e arroz, com as doses parceladas em três aplicações iguais (no plantio, aos 25 e 55 dias do plantio). A primeira aplicação foi feita a lanço e incorporada com enxada rotativa, e as duas últimas, ao longo das linhas de plantio e incorporadas, manualmente, com enxada, durante o período de capina. Os demais nutrientes e o calcário foram aplicados a lanço, antes do plantio, e incorporados com enxada rotativa. Em alguns plantios de soja e de caupi, foi feita a aplicação de molibdato de amônio na dosagem de 20 g ha⁻¹ de Mo, em mistura com as sementes.

As espécies utilizadas nos 17 cultivos sucessivos foram milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max* (L.) Merrill), arroz (*Oryza sativa*) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), com densidades de 55.000, 200.000, 550.000 e 200.000 plantas ha⁻¹, respectivamente. O período de plantio do milho e arroz variou

Quadro 1. Doses, fontes, frequência de aplicação e número do cultivo relativo ao início de cada tratamento para avaliar os efeitos de nutrientes, calcário e manejo de restos culturais em um latossolo amarelo de Manaus (AM)

Tratamento	Início ⁽¹⁾	Fonte	Doses e frequência e aplicações ⁽²⁾
	nº do cultivo		kg ha ⁻¹
Testemunha	1	-	-
N	1	Uréia	1º cultivo: 30, <u>60</u> e 90 de N; 5º e 7º cultivos: 40, <u>80</u> e 120 de N; 10º e 12º cultivos: 20, <u>40</u> e 80 de N; 14º e 16º cultivos: 80, <u>120</u> e 160 de N
P	1	Superfosfato triplo	<u>50</u> , 100 e 150 de P ₂ O ₅ nos cultivos nº 1, 2, 5, 8, 10 e 14
Resíduos ⁽³⁾	2	-	a partir do 9º cultivo foi convertido em tratamento zero de K (K ₀)
K	2	KCl	30, <u>60</u> e 120 de K ₂ O em todos os cultivos, exceto no 5º e no 17º
Cu	3	Sulfato de cobre	0, <u>1</u> e 2 de Cu no 3º, 7º e 14º cultivos
Calcário	3	47,2% de CaO, 0,96% de MgO, 84,4% de reatividade	0, <u>2000</u> , 4000 e 6000 (PRNT = 100%) no 3º cultivo
S	5	Sulfato de amônio	0, 10, 20 e 30 de S no 5º, 10º, 12º e 14º cultivos
B	7	Bórax	0, 0,5 e 1,0 de B no 7º, 10º, 12º e 14º cultivos
Zn	7	Sulfato de zinco	0, 5 e 10 de Zn no 7º e 14º cultivos
Mn	9	Sulfato de manganês	0, 7,5 e 15 de Mn no 9º e 14º cultivos e 0, 5 e 10 de Mn no 12º cultivo
Mg	10	Sulfato de magnésio	0, 5, 10 e 20 de Mg no 10º cultivo e 0, 20, <u>40</u> e 60 no 12º e 14º cultivos

⁽¹⁾ Houve mais que um cultivo por ano. ⁽²⁾ Valores sublinhados indicam doses básicas de nutrientes e de calcário aplicados em todos os demais tratamentos. ⁽³⁾ Tratamento incluído para avaliar o efeito da remoção de restos vegetais nas colheitas de cada cultivo de arroz e de soja. Nesses cultivos, os restos vegetais foram retornados somente às parcelas do tratamento "resíduos", após a trilha dos grãos. Recebeu 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no terceiro cultivo e, no quarto cultivo, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 120 kg ha⁻¹ de N, 2 kg ha⁻¹ de Cu e 2 t ha⁻¹ de calcário.

de novembro a janeiro e, para soja e caupi, de maio a agosto. A seqüência de culturas e variedades, durante os oito anos de cultivo, desde a derrubada e queima da floresta primária, encontra-se no quadro 2.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas eram de 10 x 5 m, utilizando-se a parte central de 6 x 3 m como área útil para todas as avaliações e amostragens.

No período de floração média de cada cultura, foram tomadas amostras compostas de solo (0-15 cm) em cada parcela, constituídas de 10 subamostras. Por ocasião da colheita, foram determinados o peso dos restos culturais secos e o de grãos, amostrados para análises químicas.

Quadro 2. Seqüência de cultivos e variedades plantadas durante oito anos consecutivos

Cultivo	Cultura	Variedade
nº		
1	Arroz	IAC 47
2	Soja	Tropical
3	Soja	Tropical
4	Caupi	Manaus
5	Milho	BR 5102
6	Caupi	VITA 3
7	Milho	BR 5102
8	Soja	Tropical
9	Caupi	IPEAN V-69
10	Milho	BR 5102
11	Caupi	IPEAN V-69
12	Milho	BR 5102
13	Caupi	IPEAN V-69
14	Milho	BR 5102
15	Caupi	IPEAN V-69
16	Milho	BR 5110
17	Caupi	IPEAN V-69

Para as análises de solo, as extrações de Ca, Mg e Al foram feitas com KCl 1 mol L⁻¹; para K, P, Cu, Mn e Zn, utilizou-se o Mehlich-1. O pH foi determinado em uma suspensão água:solo de 1:2,5, alumínio, por titulação com NaOH; Ca, Mg, Cu, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica; K, por fotometria de chama; P, por colorimetria, usando o método de Murphy & Riley (1962); C, pelo método de Walkley & Black (Allison, 1965); e N, por destilação microKjehldal. Análises de grãos e de resíduos vegetais foram efetuadas por digestão com uma mistura de H₂SO₄ e H₂O₂, determinado-se macro e micronutrientes por meio dos procedimentos utilizados para o solo.

Nos cálculos de rendimento de grãos, a umidade foi ajustada para 13%. Nas estimativas dos níveis críticos (Figuras 2, 6, 7 e 8), objetivaram-se os rendimentos relativos com base na maior produtividade do cultivo em cada ano dentro dos tratamentos considerados. Análises de variância e de regressão dos dados de produção e de análises de solo foram efetuadas por meio do Statistical Analysis System (SAS Institute, Inc., 1988).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dinâmica das características químicas do solo após a queima

O efeito fertilizante e corretivo das cinzas é evidenciado pelo aumento de Ca, Mg, K, Zn e pH e pela redução de Al trocável e de sua saturação entre amostragens de solo ao tempo zero (condições naturais anteriores à queima) e 2,6 meses após a queima (Figura 1). Segundo Smyth & Bastos (1984), a queima da floresta, no local deste experimento, adicionou ao

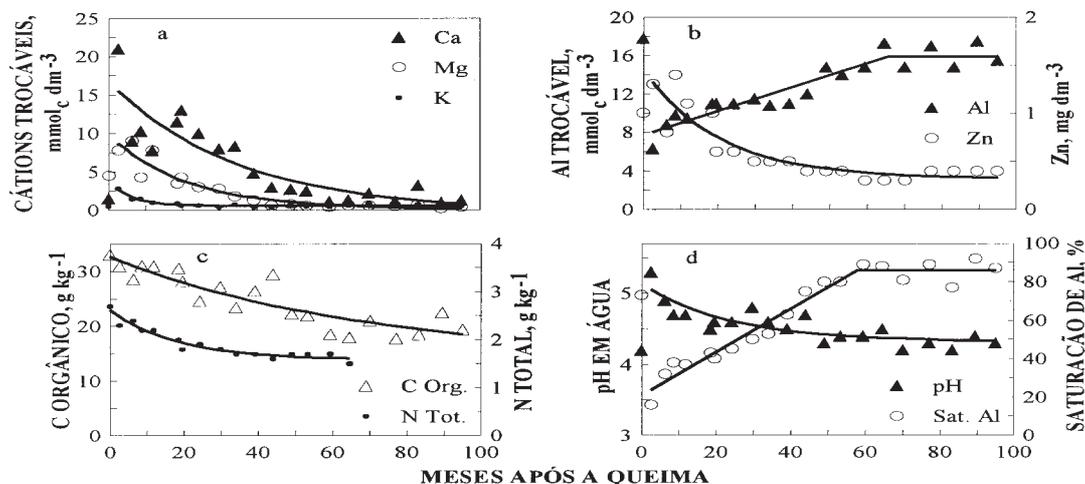


Figura 1. Dinâmica dos teores no solo de Ca, Mg e K trocáveis (a), Al trocável e Zn disponível (Mehlich-1) (b), C orgânico e N total (c) e, acidez e saturação de Al (d) no período de 100 meses após a queima de uma floresta primária em um latossolo amarelo em Manaus (AM). As análises do solo, antes da derrubada e queima da floresta, são indicadas pelos valores ao tempo de zero meses depois da queima. (As equações ajustadas são apresentadas no Quadro 3).

solo 9,2 t ha⁻¹ de cinzas, contendo 80; 82; 22; 19; 6; 2; 0,2; 58 e 2,3 kg ha⁻¹ de N, Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe e Mn, respectivamente. Todavia, o decréscimo de nutrientes e o aumento de acidez, durante o subsequente período de cultivo, demonstraram ser o efeito das cinzas de curta duração. Equações exponenciais e descontínuas usadas para descrever a dinâmica dessas características do solo (Quadro 3) revelaram que os decréscimos de Ca, Mg e K atingiriam 50% do seus valores máximos aos 23, 15 e 5 meses após a queima, respectivamente. Simultaneamente, obtiveram-se acréscimos lineares até 66 meses após a queima para Al e até 58 meses após a queima para a saturação de Al (Figura 1). Esse decréscimo da fertilidade e o aumento da acidez do solo, observados neste trabalho, contribuem para os baixos rendimentos alcançados pelos agricultores, obrigando-os ao desmatamento de novas áreas para os próximos cultivos.

Logo após a queima da floresta, o teor de “P-disponível” (Mehlich-1) no solo foi elevado de 2 para 6 mg dm⁻³. Em todas as subseqüentes amostragens de solo no tratamento-testemunha, o “P-disponível” oscilou entre 2,5 e 4,5 mg dm⁻³ (dados não apresentados).

A dinâmica dessas características foram semelhantes às observadas em um podzólico na Amazônia peruana, após a queima e durante oito anos de cultivo (Sanchez et al., 1983). Apesar de ambos os solos apresentarem decréscimos em C orgânico, a perda de 25% durante o primeiro ano de cultivo no podzólico (Peru) foi consideravelmente superior à taxa de 9,2% no latossolo (Brasil). Durante os 30 meses iniciais de cultivo, as taxas médias anuais de perda do N total nesses solos foram similares (17% para o podzólico e 13% para o latossolo).

Respostas dos cultivos aos tratamentos

Observaram-se, com freqüência, aumentos de produtividade de grãos em resposta às aplicações de

P e K, a partir do segundo cultivo, e à aplicação de calcário, a partir do terceiro cultivo, no transcorrer dos 17 cultivos (Quadro 4). As respostas à aplicação de P foram, significativamente, superiores às da testemunha nos 17 cultivos.

Fósforo: Na ausência de fertilização fosfatada, após o primeiro cultivo, os rendimentos de grãos foram insignificantes (Figura 2). No primeiro cultivo após a queima, o rendimento de grãos de arroz foi aumentado de 1,1 para 2,4 t ha⁻¹, com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. As produções totais de grãos para os 17 cultivos foram de 1,7, 22,5, 28,7 e 35,2 t ha⁻¹, para os respectivos tratamentos-testemunha e doses acumuladas de 300, 600 e 900 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A relação entre a produção de grãos e o “P-disponível” no solo indicou que o nível crítico para milho e soja é de 13 mg dm⁻³ (Figura 3). Em experimento desenvolvido no mesmo solo, Smyth & Cravo (1990) encontraram um nível crítico de P para caupi de 8 mg dm⁻³, para o extrator Mehlich-1, e 12 mg dm⁻³, para o extrator Bray-1.

Nitrogênio: Os rendimentos das culturas que receberam fertilizante nitrogenado, arroz e milho, são apresentados no quadro 5. Dentro da faixa de 30 a 120 kg ha⁻¹ de N, não houve aumento de rendimento nos três cultivos iniciais de arroz e milho. Com a diminuição das doses aplicadas no 3º e 4º cultivos de milho, os rendimentos aumentaram com a dose de 80 kg ha⁻¹ de N. Essas respostas a diferentes doses de N evidenciam a necessidade progressiva de maiores doses de N, de 30 a 80 kg ha⁻¹ de N, durante os oito anos de cultivo.

A mineralização do N orgânico do solo pode ter contribuído para a falta de resposta à adição de N nos três cultivos iniciais de arroz e milho. A redução de 1 g kg⁻¹ de N total na profundidade de 0-15 cm do solo, durante os 40 meses iniciais após a queima (Figura 1), corresponde a uma mineralização de 1.500 kg ha⁻¹ de N. A pequena resposta do milho ao N aplicado pode,

Quadro 3. Equações de regressão ajustadas entre características químicas de um latossolo amarelo de Manaus (\hat{Y}) e tempo (t), em meses, após a queima da floresta, e estimativas de tempo para atingir 50% de redução ou aumento nos valores dessas características

Características	Equação	R ²	Tempo para 50%	
			Redução	Aumento
Meses				
C orgânico, g kg ⁻¹	$\hat{Y} = 13,335 + 19,233e^{-0,014t}$	0,80	134	
N total, g kg ⁻¹	$\hat{Y} = 1,579 + 1,036e^{-0,0546t}$	0,94	(2)	
Ca, mmol _c dm ⁻³	$\hat{Y} = -0,286 + 17,060e^{-0,0289t}$	0,78	23	
Mg, mmol _c dm ⁻³	$\hat{Y} = 0,072 + 9,750e^{-0,0475t}$	0,90	15	
K, mmol _c dm ⁻³	$\hat{Y} = 0,544 + 3,402e^{-0,1677t}$	0,94	5	
Al, mmol _c dm ⁻³	$\hat{Y} = 7,650 + 0,126t$ para t < 66 $\hat{Y} = 15,9$ para t > 66	0,88		33
Saturação de Al, %	$\hat{Y} = 20,53 + 1,1277t$ para t < 58 $\hat{Y} = 86$ para t > 58	0,96		29
pH em água	$\hat{Y} = 4,3161 + 0,8188e^{-0,0425t}$	0,72	(2)	
Zn, mg dm ⁻³	$\hat{Y} = 0,3191 + 1,1397e^{-0,0493t}$	0,82	21	

(1) Significativos ao nível 5%. (2) Excede o valor mínimo do modelo. (3) Modelo descontínuo (platô-linear).

Quadro 4. Efeito do manejo de restos culturais e de doses de nutrientes e calcário sobre a produtividade de grãos de 17 cultivos sucessivos de arroz, milho, soja e caupi em latossolo amarelo de Manaus (AM)

Tratamento	Cultivo ⁽¹⁾																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Resíduos ⁽²⁾	-	ns ⁽³⁾	*	*	*	*	*	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	*	*	ns	*	ns	*
K	-	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cu	-	-	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns						
Calcário	-	-	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
S	-	-	-	-	ns	*											
B	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns
Zn	-	-	-	-	-	-	ns										
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns

⁽¹⁾Ver Quadro 1 para a espécie e variedade correspondente ao número de cultivo. ⁽²⁾ Produtividade deste tratamento comparado à da testemunha absoluta; este tratamento não mais recebeu K, sendo denominado K₀ a partir do nono cultivo. Nos demais tratamentos, foram comparadas diferenças entre doses do nutriente ou calcário. ⁽³⁾ ns = não significativo ao nível de 5%; * = significativo ao nível 5%.

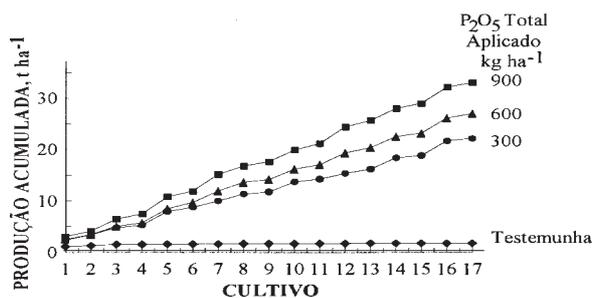


Figura 2. Rendimento acumulado de grãos de 17 cultivos consecutivos no tratamento-testemunha absoluta em comparação com o do tratamento médio de três doses de P aplicadas em um latossolo amarelo em Manaus (AM).

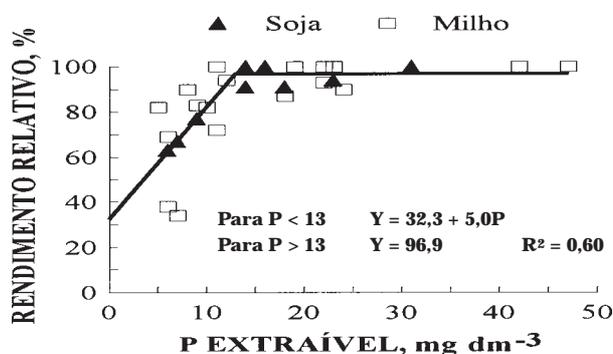


Figura 3. Relação entre rendimentos de três cultivos de soja e seis cultivos de milho em tratamentos com três doses de P e disponibilidade de P no solo pelo extrator Mehlich-1.

também, estar relacionada com o fato de cada cultivo ter sido antecedido por um, dois e até três cultivos de leguminosas (Quadro 2). Estudos realizados no mesmo solo (Smyth et al., 1991) demonstraram que, na média de três anos de cultivo, os resíduos de caupi forneceram às culturas subsequentes de milho quantidade de N equivalente ao fornecido por 26 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. Outro fator que pode ter contribuído para a baixa resposta do milho ao N foi o modo de aplicação do fertilizante. Neste estudo, as doses foram parceladas em três aplicações iguais: no plantio, aos 25 e 55 dias. Melgar et al. (1991) também observaram que as melhores respostas foram obtidas quando toda a dose de N foi aplicada aos 25 dias ou metade aos 25 e o restante aos 55 dias do plantio.

Potássio e Manejo de Resíduos: Em quatro dos cinco cultivos iniciais, a produção de grãos, com o retorno de resíduos de arroz e de soja, foi igual ou superior à obtida com 30 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 4). A análise de K do solo indicou que o retorno de resíduos manteve teores de K no solo iguais ou superiores aos do tratamento de 60 kg ha⁻¹ de K₂O (Quadro 6). Em geral, para milho e soja, houve aumento de produção até a dose de 60 kg ha⁻¹ de K₂O, enquanto, para o caupi, essa dose foi de 30 kg ha⁻¹ de K₂O. Não houve ganhos em rendimento de grãos, por nenhuma cultura, com dose maior do que 60 kg ha⁻¹ de K₂O. Segundo dados de análise de solo (não apresentados), o decréscimo dos rendimentos com 120 kg ha⁻¹ de K₂O deveu-se ao efeito antagônico entre K e Mg. Com essa dose de K, a saturação de Mg trocável no solo diminuiu para menos de 5% e, de acordo com Malavolta (1980), quando a saturação de Mg é menor que 10%, as condições são favoráveis ao aparecimento de deficiência de Mg, induzida pelo excesso de K. Neste trabalho, não foi observado aumento do teor de K no solo, durante os 17 cultivos sucessivos (Quadro 6), devendo ser a aplicação de K nesse solo feita em cada cultivo, de acordo com as exigências das culturas.

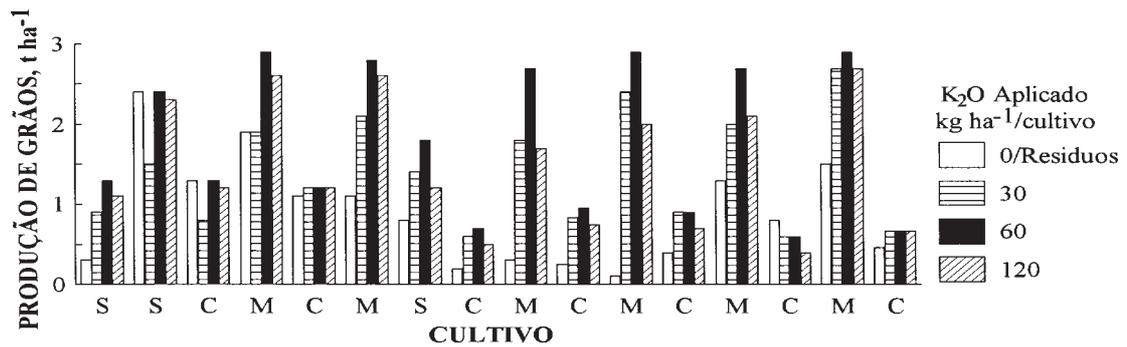


Figura 4. Rendimentos de grãos de 16 cultivos consecutivos de soja (S), milho (M) e caupi (C) em função de três doses de K e manejo de resíduos de culturas em um latossolo amarelo de Manaus (AM).

Calcário: A magnitude de resposta à calagem dependeu tanto da cultura como do tempo após a aplicação do calcário (Figura 5). Sem calagem, houve redução no rendimento de grãos de soja entre o 1^o e 2^o cultivos. Nos quatro cultivos iniciais de milho, não houve aumento significativo em rendimento de grãos para doses maiores que 2 t ha⁻¹ de calcário. Contudo, nos dois cultivos finais de milho, o rendimento com 2 t ha⁻¹ de calcário foi metade do obtido com 4 t ha⁻¹, indicando que o efeito residual de 2 t ha⁻¹ de calcário, nesse solo, deve ser de 3,5 anos. Dada a queda de rendimentos no tratamento de 2 t ha⁻¹ de calcário, foi aplicado, durante o quinto cultivo de milho, 1 t ha⁻¹ de calcário nos demais tratamentos (exceto a testemunha), para complementar a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário aplicada no primeiro cultivo de milho. Ao contrário do milho, a resposta de caupi à calagem foi mais baixa e nunca excedeu à obtida com a dose de 2 t ha⁻¹, o que é compatível com a conhecida tolerância dessa cultura à acidez do solo (Nicholaides & Piha, 1987; Wade et al., 1988).

A correlação entre os rendimentos relativos de milho e soja com a saturação de Al no solo mostrou-se diferente da observada para o caupi. Rendimentos de milho e soja superiores a 80% do máximo só foram obtidos com saturação de Al inferior a 20% (Figura 6). Esses resultados concordam com os de outros estudos realizados nos trópicos (Pearson, 1975; Kamprath, 1980; Sousa et al., 1986; Smyth & Cravo, 1992), cujos rendimentos atingiram 90% da produção máxima com saturação de Al em torno de 20%. Para o caupi, Smyth & Cravo (1992), comparando doses de calcário e gesso, verificaram que a resposta à calagem estava relacionada mais com o efeito do aumento do teor de cálcio do que com a correção da acidez do solo propriamente dita. Neste estudo, rendimentos de caupi superiores a 90% do máximo só foram obtidos com saturação de Ca no solo > 40% (Figura 7). Neste experimento, verificou-se que 40% da saturação de Ca correspondeu a 8,7 mmol_c dm⁻³ de Ca.

Magnésio: a única resposta significativa à aplicação de Mg ocorreu no 15^o cultivo com caupi, onde o rendimento de grãos com 20 ou 40 kg ha⁻¹ de Mg foram superiores ao obtido sem Mg (Quadro 4). Entretanto, a falta de resposta ou o decréscimo de rendimentos com aplicações de 120 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 4) podem ser atribuídos à possível deficiência de Mg induzida

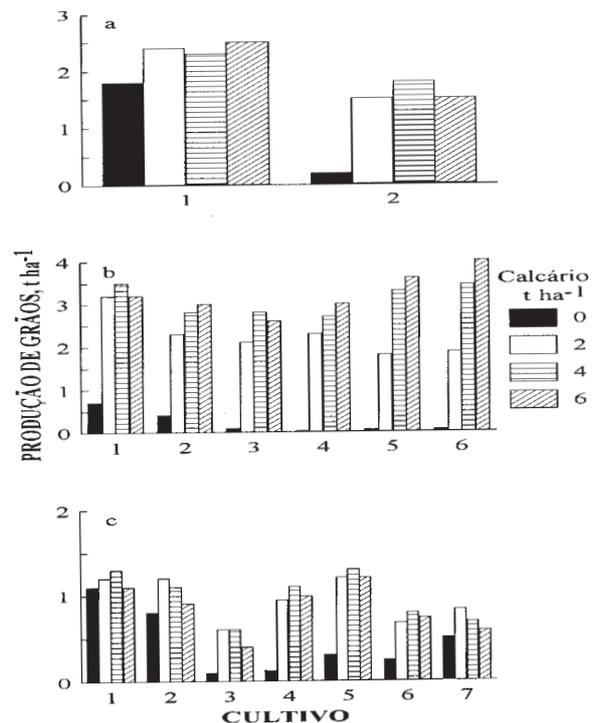


Figura 5. Rendimentos de grãos de soja (a), milho (b) e caupi (c) em função de doses de calcário aplicadas antes do plantio de soja em um latossolo amarelo de Manaus (AM).

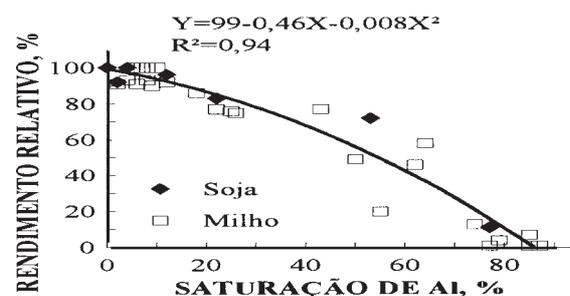


Figura 6. Relacionamento entre rendimento de grãos de oito cultivos de soja e de milho e saturação de Al em quatro doses de calcário, em um latossolo amarelo de Manaus (AM).

Quadro 5. Produções de grãos de um cultivo de arroz e seis cultivos de milho em função de doses de N aplicadas durante oito anos de cultivo em um latossolo amarelo de Manaus (AM)

Aplicado	Arroz	Cultivos de milho					
		1º	2º	3º	4º	5º	6º
kg ha ⁻¹		t ha ⁻¹					
20	-	-	-	1,5	1,5	-	-
30	2,9	-	-	-	-	-	-
40	-	2,7	2,2	1,7	1,7	-	-
60	3,0	-	-	-	-	-	-
80	-	2,5	1,8	2,7	2,2	2,0	2,8
90	2,1	-	-	-	-	-	-
120	-	2,9	2,3	-	-	2,2	3,1
160	-	-	-	-	-	2,0	3,2
DMS 0,05	ns ⁽¹⁾	ns	ns	0,6	0,7	ns	ns

⁽¹⁾ ns = não significativo ao nível de 5%.

Quadro 6. Teores de K em latossolo amarelo de Manaus (AM) para tratamentos de retorno de resíduos de arroz e soja para a área e aplicação de fertilizante potássico durante 16 cultivos

Cultivo	Espécie	Tratamento (kg ha ⁻¹ de K ₂ O)			DMS 0,05	
		Resíduos-K ₀ ⁽¹⁾	30	60		120
nº		K no solo, mg dm ⁻³				
2	Soja	124	61	91	78	40
3	Soja	32	20	26	30	ns
4	Caupi	52	29	48	68	12
5	Milho ⁽²⁾	24	16	19	19	ns
6	Caupi	50	34	50	97	15
7	Milho	21	18	25	64	11
8	Soja	25	23	48	110	15
9	Caupi	38	38	77	154	19
10	Milho	30	26	44	81	11
11	Caupi	23	31	70	119	24
12	Milho	28	31	50	118	13
13	Caupi	42	48	98	120	20
14	Milho	24	28	44	83	12
15	Caupi	27	41	63	89	14
16	Milho	19	22	25	34	13
17	Caupi ⁽²⁾	16	21	28	34	11

⁽¹⁾ Tratamento com retorno dos resíduos vegetais das culturas de soja após a colheita. ⁽²⁾ Cultivos que não receberam aplicações de fertilizante potássico.

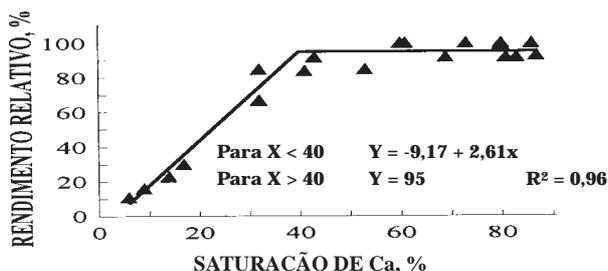


Figura 7. Relacionamento entre rendimento de grãos de sete cultivos de caupi e saturação de Ca em quatro doses de calcário em um latossolo amarelo de Manaus (AM).

por excesso de K no solo. Quando os rendimentos de caupi nos tratamentos de Mg foram avaliados em conjunto com a dose máxima de K, identificou-se o valor de 6,1% de saturação de Mg como critério diagnóstico desse elemento, nos quatro últimos cultivos de caupi (Figura 8). Relações semelhantes entre rendimento de grãos e índices de Mg no solo, durante os quatro cultivos finais de milho, não foram significativas.

A aplicação de calcário calcítico com 0,96% de MgO, aos 18,5 meses após a queima, causou forte redução da saturação de Mg no solo que, eventualmente, atingiu o nível crítico de 6,1%, para o caupi, durante o 11º cultivo (Figura 9). A aplicação de 40 kg ha⁻¹ de Mg, no último cultivo de caupi, corrigiu essa deficiência. Tais resultados indicam que, mesmo na ausência de elevadas doses de K, houve limitações de Mg a partir de 60 meses após a queima.

Enxofre e micronutrientes: Diferenças significativas aos tratamentos de S e de micronutrientes foram esporádicas durante a seqüência de cultivos (Quadro 4). Tais efeitos estavam associados a decréscimos de produtividade por excesso do nutriente, e não por acréscimos.

Comparações com estudos em podzólicos da amazônia peruana

As limitações nutricionais identificadas durante oito anos de cultivo no latossolo amarelo são comparadas com as de Sanchez et al. (1983) em um podzólico vermelho-amarelo álico de textura arenosa/média, em Yurimaguas, Peru (Quadro 7). Todas as limitações nutricionais, no podzólico, ocorreram com menor tempo de cultivo após a derrubada e queima da floresta, com exceção do P, que estava sujeito à maior capacidade de fixação no latossolo de textura muito argilosa. É possível que a precocidade no aparecimento da deficiência de N no podzólico esteja relacionada com a menor frequência de plantio de leguminosas nesse solo. Durante os oito anos de cultivo, a relação média entre o plantio de gramíneas e leguminosas em Yurimaguas e Manaus foi de 3,2 e 1,7, respectivamente.

As produtividades obtidas no latossolo de Manaus e no podzólico de Yurimaguas, durante oito anos de cultivo, encontram-se no quadro 8. Para tais

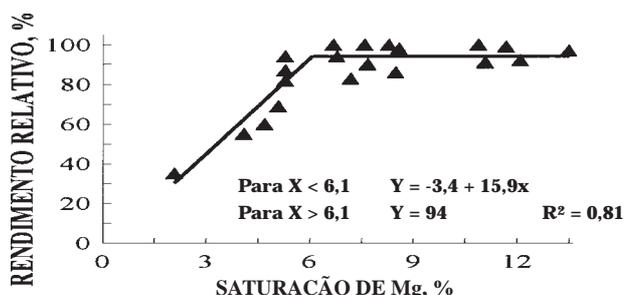


Figura 8. Relacionamento entre rendimento de grãos de quatro cultivos de caupi e saturação de Mg em tratamentos com quatro doses de Mg e a dose máxima de K, aplicadas em um latossolo amarelo de Manaus (AM).

Quadro 7. Cronologia de aparecimento de limitações nutricionais, durante oito anos de cultivo, em latossolo amarelo álico (LAa) de textura muito argilosa em Manaus (AM) e podzólico vermelho-amarelo álico (PVa) de textura arenosa/média em Yurimaguas (Peru)

Limitação Nutricional	Meses após a queima da floresta	
	LAa	PVa ⁽¹⁾
N	37	6
P	1	10
K	9	4
Acidez	18	1
Mg	60	12
S	-	6
B	-	6
Cu	-	1
Mn	-	38
Zn	-	40

⁽¹⁾ Fonte: Sanchez et al. (1983).

comparações, usaram-se as produções obtidas no tratamento de 4 t ha⁻¹ de calcário em Manaus, e no tratamento que recebeu fertilizantes e calcário, em Yurimaguas. Observaram-se produtividades médias de arroz, milho e soja bastante semelhantes em ambos os ecossistemas. A maior produtividade total de grãos durante oito anos de cultivo no podzólico deveu-se, principalmente, ao maior número de cultivos e à ausência de plantios de caupi. Apesar de semelhantes capacidades produtivas em ambos os sistemas, essas comparações entre Manaus e Yurimaguas mostraram que a seqüência e a correção de deficiências nutricionais seriam particulares a cada local.

A produção de grãos no primeiro ano de cultivo no tratamento-testemunha do latossolo amarelo foi de 1,1 t ha⁻¹ de arroz, seguida de 0,2 t ha⁻¹ de soja. Com esse declínio de produtividade no sistema itinerante, seria necessária a abertura de novas áreas de floresta para o cultivo. Sob condições adequadas de adubação e calagem, obteve-se uma média anual de 4,1 t ha⁻¹ de grãos (Quadro 8), que corresponde à produção de, aproximadamente, 3 ha do sistema itinerante. Com base nessas comparações, seria necessário cultivar quase 24 ha no sistema itinerante, em 8 anos, para conseguir o total de grãos produzidos em 1 ha com manejo adequado de fertilizantes e calcário, no mesmo período.

Exportações de N e Mg, superiores ao aplicado, são indicativos da necessidade de maior aporte desses nutrientes para prolongar o período de cultivo (Quadro 9). A remoção de P, equivalente a 56% do P total aplicado, indica eficiência de uso pelo sistema de cultivo e manejo utilizados neste estudo. O superávit de K no solo também confirma a baixa eficiência de uso desse nutriente e sua suscetibilidade à lixiviação nos latossolos do trópico úmido.

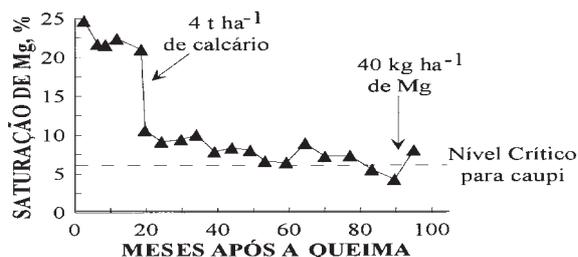


Figura 9. Dinâmica da saturação de Mg do solo no tratamento de 4 t ha⁻¹ de calcário e 60 kg ha⁻¹ de K₂O em um latossolo amarelo de Manaus (AM).

Quadro 8. Produtividade total e média de arroz, milho, soja e caupi durante oito anos de cultivo e manejo adequado de fertilizantes e calcário em latossolo amarelo de Manaus (AM) e em podzólico vermelho-amarelo de Yurimaguas (Peru)

Cultura	Latossolo-amarelo			Podzólico vermelho-amarelo ⁽¹⁾		
	Cultivos	Total	Média	Cultivos	Total	Média
	nº	t ha ⁻¹		nº	t ha ⁻¹	
Arroz	1	1,8	1,8	6	13,6	2,3
Milho	6	18,6	3,1	7	19,3	2,8
Soja	3	5,3	1,8	6	11,1	1,9
Caupi	7	6,8	1,0	-	-	-
Total	17	32,5		19	44,0	

⁽¹⁾ Fonte: Alegre et al. (1991).

Quadro 9. Balanço entre quantidades de N, P, K, Ca e Mg adicionadas e exportadas na colheita de grãos de 17 cultivos no tratamento de 4 t ha⁻¹ de calcário em latossolo amarelo de Manaus (AM)

Nutriente	Adicionado		Exportado
	Por ano	Total	
	kg ha ⁻¹		
N	79	634	1014
P	33	264	148
K	75	600	379
Ca	205	1640	92
Mg	9	72	88

CONCLUSÕES

1. A ordem de ocorrência de limitações nutricionais ao cultivo contínuo, durante oito anos após o desmatamento e queima da vegetação de floresta equatorial úmida, em latossolo amarelo álico muito argiloso, foi de P, seguido de K, acidez, N e Mg.

2. Aplicações de uma dose média anual de 33, 75, 500, 9 e 0,4 kg ha⁻¹ de P, K, calcário (PRNT = 100%), N, Mg (contido no calcário) e Cu, respectivamente, permitiram a manutenção de uma produtividade, na mesma área, durante oito anos, três vezes maior do que a obtida no primeiro ano de cultivo em condições semelhantes às do sistema itinerante.

3. O sistema de cultivo contínuo na mesma área, com uso criterioso de adubação e de calagem, oferece vantagens de aumento de produtividade e redução da necessidade do desflorestamento na Amazônia.

LITERATURA CITADA

- ALEGRE, J.C.; SANCHEZ, P.A. & SMYTH, T.J. Manejo de suelos con cultivos continuos en los trópicos húmedos del Peru. In: SMYTH, T.J.; RAUN, W.R. & BERTSCH, F., eds. Manejo de suelos tropicales en Latinoamérica. Raleigh, North Carolina State University, 1991. p.157-168.
- ALLISON, L.E. Organic carbon. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. Methods of soil analysis. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.1367-1378.
- COCHRANE, T.T. & SANCHEZ, P.A. Land resources, soils properties and their management in the Amazon region: A state of knowledge report. In: HECHT, S.B., ed. Amazon land use research. Cali, CIAT, 1982. p.138-209.
- CUNHA, R.P. Deforestation estimates through remote sensing: the state of the art in the legal Amazon. In: SYMPOSIUM - Amazônia: facts, problems and solutions. Annals. São Paulo, University of São Paulo, 1989. p.240-273.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Boletim Agrometeorológico. Manaus, EMBRAPA - UEPAE, 1984. n.p. (Boletim Agrometeorológico, 6)
- FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazônia. In: WOODWELL, G.M., ed. The earth in transition: patterns and process of impoverishment. New York, Cambridge University Press, 1990. p.211-238.
- KAMPURATH, E.J. Soil acidity in well-drained soils of the tropics as a constraint to food production. In: DROSDOFF, M.; ZANDSTA, H. & ROCKWOOD, W.G., eds. Priorities for alleviating soil - related constraints to food production in the tropics. Los Baños, IRRI, 1980. p.171-187.
- MAHAR, D.J. Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region. Washington, World Bank, 1989. 56p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, Ceres, 1980. 251p.
- MELGAR, R.J.; SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. & SANCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em latossolo amarelo da Amazônia Central. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 15:289-296, 1991.
- MURPHY, J. & RILEY, J.R. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta, Amsterdam, 27:31-36, 1962.
- NICHOLAIDES, J.J. & PIHA, M.I. A new methodology to select cultivars tolerant to Al and with high yield potential. In: workshop on evaluating sorghum for tolerance to Al - toxic tropical soils in Latin America, Cali, 1984. Proceedings Cali, CIAT, 1987. p.103-116.
- PEARSON, R.W. Soil acidity and liming in the humid tropics. Ithaca, Cornell University, 1975. (Cornell Int. Agric. Bull, 30)
- RADAMBRASIL - Ministério das Minas e Energia. Dep. Nac. de Prod. Mineral. Folha SA-21 - Santarém. Rio de Janeiro, Projeto RADAMBRASIL, Lev. de Rec. Nat., 1975. v.101. 510p.
- RODRIGUES, TE.; REIS, R.S.; MORIKAWA, I.K.; FALES, I.C. & SILVA, B.N.R. Levantamento detalhado dos solos do IPEAAOc. DNPEA- Instituto de Pesquisa e Experimentação da Amazônia Ocidental (IPEAAOc), 1972. 63p. (Boletim Técnico, 1)
- SANCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. Adv. Agron., Madison, 34:281-283, 1981.
- SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H. & BANDY, D.E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 47:1171-1178, 1983.
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT user's guide release: 6.03 edition. Cary, North Carolina, 1988, 1028p.
- SMYTH, T.J. & BASTOS, J.B. Alterações na fertilidade de um latossolo amarelo álico pela queima da vegetação. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 8:127-132, 1984.
- SMYTH, T.J. & CRAVO, M.S. Critical phosphorus levels for corn and cowpea in a Brazilian Amazon Oxisol. Agron. J., Madison, 82:309-312, 1990.
- SMYTH, T.J. & CRAVO, M.S. Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian Amazon Oxisol. Agron. J., Madison, 84:834-850, 1992.
- SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. & MELGAR, R.J. Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon Oxisol. Trop. Agric., Trinidad, 68:366-372, 1991.
- SOUZA, D.M.G.; CARVALHO, L.J.C. & MIRANDA, L.N. Correção da acidez do solo. In: GOEDERT, W.J. ed. Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo, Nobel, 1986. p.99-127.
- WADE, M.K.; GILL, D.W.; SUBAGJO, H.; SIDJADI, M. & SANCHEZ, P.A. Overcoming soil fertility constraints in a transmigration area of Indonesia. Raleigh, North Carolina State University, 1988, 60p. (TROPISOILS Bull. 88-01)