

Predição da qualidade da queimada na Transamazônica para simulação do agroecossistema em estimativas de capacidade de suporte humano*

PHILIP M. FEARNSIDE, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA¹.

Recebido em 4/10/1984.

Aceito para publicação em 30/7/1985.

ABSTRACT. *Burn quality prediction for simulation of the agricultural system of Brazil's Transamazon Highway colonists for estimating human carrying capacity.* High variability in burn quality of agricultural fields is critical for crop yields among pioneer settlers occupying 100 hectare lots in Brazil's Transamazon Highway Colonization Area near Altamira, Pará. Prediction of burn qualities, using clearing and burning dates and weather information, forms a part of a larger simulation of the colonists' agroecosystem for estimating human carrying capacity, and particularly the importance of variability in crop yields on carrying capacity.

Colonist pioneer agriculture has been largely based on annual crops such as upland rice, maize, beans, cow peas, and manioc; perennial crops and pasture are now increasing.

Burn qualities of both second growth (at least 8 months uncultivated) and "virgin" forest (uncleared by recent Luso-Brazilian colonists) are predicted using discriminant analysis from precipitation, evaporation, and insolation between cutting and burning, and from precipitation in the 15 days prior to burning. Simulations use two burn categories: good and bad, condensed from a more complete 4-level burn taxonomy. Virgin burn prediction discriminant function correctly classifies 74% of 247 cases; second growth discriminant function correctly classifies 65% of 54 cases. Weather patterns, also modeled in the carrying capacity simulations, are highly unpredictable, making poor burns a major agricultural problem and an important factor affecting human carrying capacity.

RESUMO. A alta variabilidade na qualidade da queimada de roças é crítica para produções das culturas entre os colonos pioneiros estabelecidos em lotes de 100 hectares na área de colonização da rodovia Transamazônica, perto de Altamira, Pará. A predição de qualidades das queimadas, baseada nas datas de derrubada ou roçagem e queima, e em dados meteorológicos, faz parte de uma simulação maior do agroecossistema dos colonos para a estimativa de capacidade de suporte para o homem e, em particular, para avaliar a importância da variabilidade da produção das culturas sobre a capacidade de suporte. A agricultura dos colonos pioneiros tem sido baseada, em grande parte, em culturas anuais, tais como arroz de sequeiro, milho, feijão-do-sul, feijão-de-corda e mandioca. As culturas perenes e pastagens estão aumentando atualmente. As qualidades de queimada, tanto de capoeira (pelo menos 8 meses sem cultivo) quanto de floresta "virgem" (não derrubada por colonos luso-brasileiros recentes), são preditas usando-se análise discriminativa a partir de precipitação, evaporação, e insolação entre o corte e a queimada, e a partir da precipitação nos 15 dias anteriores à queimada. As simulações utilizam duas qualidades de queimada: boa e ruim, resumidas de uma taxonomia de queimadas mais completa com quatro níveis. A função discriminativa para predição de queimadas virgens classifica corretamente 74% de 247 casos; a função para capoeira classifica corretamente 65% de 54 casos. Os padrões meteorológicos, também modelados nas simulações de capacidade de suporte, são bastante imprevisíveis, fazendo com que queimadas ruins sejam um grande problema agrícola e um fator influente sobre a capacidade de suporte para o homem.

* Trabalho apresentado no Simpósio da Sociedade Internacional de Ecologia Tropical (ISTE) sobre "Ecologia e o manejo de recursos nos trópicos", Bhopal, Índia, 5 a 10 de outubro de 1981 (15).

1. Caixa Postal 478, 69.000 Manaus, Amazonas.

INTRODUÇÃO

Na maioria dos estudos de sistemas de agricultura migratória, ou outros sistemas agrícolas semelhantes nas áreas de floresta úmida tropical, também caracterizada pelo aspecto de "corte e queima" da tradicional agricultura migratória, é suposto que as produções das culturas são constantes de ano para ano. A alta variabilidade na produção dessas culturas, como na agricultura pioneira praticada pelos colonos estabelecidos na rodovia Transamazônica, é, por si só, uma característica vital desta forma de agricultura como um meio de suporte para populações humanas. As estimativas da capacidade de suporte para o homem, baseadas nas várias formas da "fórmula de agricultura migratória", por exemplo, geralmente ignoram a variabilidade das produções (e.g. 1, 3, 5, 7, 18), embora seja possível o auxílio de alocações de área adicional para cultura, como uma proteção contra os anos pobres (2). A determinação do efeito da variabilidade sobre a capacidade de suporte para o homem na área da rodovia Transamazônica requereu a derivação de relações quantitativas para a modelagem das causas da variação nas produções agrícolas, e a incorporação destas características em modelos de simulação computadorizado do agroecossistema do colono (8, 9, 13).

Durante dois anos de residência na área de colonização de Altamira, ficou logo evidente a importância da qualidade da queimada como um fator que afeta a produção agrícola do colono. As diferenças no crescimento e produção das culturas entre roças com queimadas boas e ruins, ou entre pequenos pedaços com queimadas, melhores ou piores, dentro de uma única roça, são facilmente visíveis. Na escala da área de colonização de Altamira como um todo, as chuvas durante o período normalmente seco de julho-setembro em 1973, resultaram, em 1974, no fracasso de muitos colonos em obter queimadas adequadas, com a consequência de eles serem ou incapazes de plantar ou colherem uma pobre produção por área, frequentemente em uma área reduzida também.

É necessária uma boa queimada na área de modo a remover o estorvo físico da vegetação derrubada, reduzir as perdas por pragas e ervas daninhas, e principalmente aumentar a fertilidade do solo, especialmente pela elevação do pH com a consequente redução da concentração tóxica dos íons de alumínio e aumento na abundância e disponibi-

lidade do fósforo. Um levantamento de solos sob floresta "virgem" (não derrubada por colonos lusobrasileiros recentes, como distinção de possível uso passado por grupos ameríndios) indica que 78,5% da área estudada tinha pH abaixo de 5,0 e 33,0% tinha pH abaixo de 4,0, enquanto que 83,8% tinha fósforo total menor que 1 ppm (11, 13).

Na maioria das outras partes do mundo onde se efetuaram estudos de sistemas de agricultura migratória ou similar, o pH do solo virgem e os caracteres associados são substancialmente mais favoráveis para agricultura que no caso da Amazônia brasileira. Os solos são melhores neste aspecto, por exemplo, nos locais de estudos sobre agricultura migratória em várias localidades na África (20), América Central (22, 23), Ceilão (19), e Nova Guiné (4, 25: 244-45). Em muitos solos africanos, a queimada tem efeitos deletérios, elevando o pH a níveis suficientemente altos para que os concomitantes decréscimos nas concentrações de ferro no solo resultem em deficiência deste elemento (27). Embora muitas avaliações de sistemas de agricultura migratória não façam menção da qualidade variável da queimada como um problema, esta é de importância fundamental em algumas áreas (e.g. 17:97 para Sarawak, Malásia).

A queimada normal em solos amazônicos é benéfica, embora ocasionalmente uma queima possa ser tão intensa que grandes árvores sejam totalmente transformadas em cinzas, resultando no impedimento do crescimento da cultura nos locais onde as árvores foram queimadas. A sucessão posterior em um local sobrequeimado é também afetada, às vezes resultando em moitas de samambaias em vez de capoeira com árvores.

Existe pouca informação sobre a variabilidade na qualidade da queimada, ou os efeitos desta característica de sistemas de agricultura migratória. A clássica revisão bibliográfica de Nye e Greenland (20: 67) sobre agricultura migratória menciona que "na medida em que é completa a queimada poderá também determinar, até certo ponto, as quantidades de nutrientes adicionados ao solo", mas não forneceu nenhum dado para quantificar as diferenças. A revisão de Sánchez (26: 365) afirma simplesmente: "a intensidade da queimada é sem dúvida a principal variável para a adição de nutrientes ao solo. Infelizmente nenhum dado é disponível sobre este aspecto".

O efeito da qualidade da queimada sobre as mudanças na fertilidade do solo foi incluído em pro-

gramas de simulação para o agroecossistema da rodovia Transamazônica. As qualidades da queimada entram em regressões, para prever as mudanças de fertilidade sob queimadas, com variáveis *dummy* (8, 13). É necessária a predição das qualidades da queimada a partir de dados meteorológicos e de informações sobre o comportamento de derrubada e queimada dos colonos para o fornecimento de insumos, para estes cálculos de mudança da fertilidade do solo.

ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi efetuado em uma área de 23.000 ha, com lotes de 100 ha no Projeto Integrado de Colonização de Altamira (PIC-ALTAMIRA), no trecho Altamira-Itaituba da rodovia Transamazônica (BR-320). A área de estudo está centralizada na Agrovila Grande Esperança, 50 km a oeste da cidade de Altamira, a 3°22' de latitude sul e 52°38' de longitude oeste. A área está no município de Prainha, estado do Pará, Brasil, com uma altitude de aproximadamente 100 m. O clima é classificado como Aw pelo sistema Köppen (24), com uma média de precipitação anual de 1,7 m em 36 anos (72: 11). A maior parte do solo é pobre, podzólico vermelho-amarelo (ULTISOL), porém existem alguns trechos de terra roxa (ALFISOL), muito melhor. Os colonos cortam e queimam a floresta virgem de uma maneira semelhante àquela sob agricultura migratória tradicional, e derrubam capoeiras de todas as idades. Eles não deixam a terra alqueivar (descansar em capoeira) por longos períodos, com a intenção de continuar com futuros ciclos de culturas anuais, alternando com o alqueive como uso da terra a longo prazo.

MÉTODOS

Os dados de precipitação foram fornecidos pela estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) localizada a 23 km a oeste de Altamira (27 km da área de estudo). Foram usados dados da Estação do Departamento de Meteorologia em Altamira para uns poucos dias cujos dados faltaram na estação da Embrapa. As informações sobre insolação e evaporação são da estação de Altamira. Uma série de programas FORTRAN fez os cálculos preliminares, incluindo pre-

cipitação total e outras medidas entre as datas de derrubada e queimada (14).

As qualidades da queimada e as datas de derrubada e de queimada foram obtidas dos colonos através da aplicação de questionários em associação com amostras de solo. Qualquer informação relativa à qualidade da queimada observada no campo na época da amostragem foi também registrada. Os questionários usados no estudo foram aplicados entre junho de 1974 e agosto de 1976, mas as respostas dos colonos incluem informações sobre queimadas começando com o início do estabelecimento na área, em 1971. A memória dos colonos sobre estas informações dos primeiros anos de colonização era bastante boa. Visitas regulares à área de estudo, entre junho de 1978 e novembro de 1981, confirmaram que o padrão observado de variabilidade na qualidade da queimada continua.

Tabela 1 - Classificação da qualidade da queimada para queimadas virgem.

Qualidade da queimada	Definição
nenhuma	Nenhuma queimada foi tentada (conseqüentemente nenhuma data de queimada)
0	Queimada tentada (conseqüentemente com data de queimada), sem sucesso. Alguma casca de árvore chamuscada e folhas queimadas podem estar presentes, mas a terra permanece "crua". Geralmente os colonos não podem plantar. "Não queimou".
1	Queimada ruim. Somente folhas e pequenos galhos queimaram. Somente milho pode ser plantado sem uma considerável coivara (retirada do material não queimado para limpar a terra para o plantio). "Queimou ruim", "Sapecou as folhas".
2	Queima irregular. Uma mistura de pedaços de classes 1 e 3 onde o fogo queimou com intensidade variada. Pode ser plantado com coivara. "Mais ou menos queimou". "Queimou variado".
3	Queimada boa. Queimou madeira assim como também galhos e folhas, embora grandes troncos estejam invariavelmente só parcialmente queimados. Pode ser plantado com arroz com pouca ou nenhuma coivara. "Queimou bem".
4	Sobrequeimado. Grandes troncos queimados até cinzas. Isto "queima a terra" e resulta em culturas definhadas. "Queimou até que queimou a terra".

Tabela II – Distribuição mensal da derrubada de floresta virgem.

Item	Mês								Total
	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
Número	1	2	16	31	180	82	37	14	363
Porcentagem	0,3	0,6	4,4	8,5	49,5	22,6	10,2	3,9	100

Tempo médio, em dias, entre a derrubada e a queimada = 44,1 (DP = 65,3; N = 138).

Entrevistas com velhos residentes na área agrícola tradicional próxima de Altamira revelam um padrão semelhante, datando desde os anos 30.

As qualidades da queimada foram classificadas por tipo e qualidade. Os tipos de queimada foram: floresta virgem, capoeira (definida como pelo menos oito meses sem cultivo), palhada (definida como entre dois e oito meses sem cultivo) e pastagem. As qualidades da queimada foram divididas em seis níveis, incluindo duas categorias não-queimadas (Tabela I). Na análise dos dados e simulação estas qualidades da queimada foram condensadas em duas categorias: "boa" (classes 2 e 3) e "ruim" (classes 0 e 1).

Os dados foram analisados usando-se análise discriminativa (24), com o Michigan Interactive Data Analysis System (16). A modelagem subsequente usa o programa KPROG2 para estimativa da capacidade de suporte para o homem (9).

RESULTADOS E MODELAGEM

Queimadas de Floresta Virgem

As qualidades da queimada em roças derrubadas a partir de floresta virgem podem ser preditas com

base nas condições atmosféricas entre as datas de derrubada e queimada. Os meses de derrubada são mostrados na Tabela II, junto com a distribuição nos dias entre derrubada e queimada.

Em simulação, as qualidades da queimada podem ser preditas usando-se os dados meteorológicos simulados para a área de Altamira, e as funções discriminativas de Fisher para queimadas "boas" (qualidades 2-3 da Tabela I) e queimadas "ruins" (qualidades 0-1). A análise discriminativa com as duas equações é mostrada na Tabela III. Quando valores apropriados de tempo são substituídos nestas duas equações e a equação da queimada "boa" fornece um valor maior que a equação da queimada "ruim", prevê-se uma queimada "boa". Com isto pode-se prever corretamente a qualidade de queimada em 74% dos casos (Tabela IV). Nos restantes 26% dos casos, ocorre a qualidade da queimada oposta.

Queimada de Capoeira

As queimadas em roças de capoeira podem ser previstas de um modo semelhante àquele usado para queimadas virgens. A distribuição de datas de corte e queimada é apresentada na Tabela V, junto com a distribuição dos dias entre corte e queimada.

Tabela III – Análise discriminante da predição da qualidade da queimada virgem.

Variável	Coeficientes	
	Queimada boa	Queimada ruim
constante	-6,1617	-7,5752
chuva entre a derrubada e a queimada (mm)	0,0032459	0,0012662
evaporação entre derrubada e queimada (mm)	-0,0035933	-0,000052735
insolação entre derrubada e queimada (horas)	0,0034929	0,0025793
chuva nos 15 dias anteriores à queimada (mm)	0,076949	0,88626
evaporação nos 15 dias anteriores à queimada (mm)	0,15809	0,01827
insolação nos 15 dias anteriores à queimada (horas)	0,038381	0,081593
varianças gerais	$2,43 \times 10^{22}$	$2,26 \times 10^{20}$
tamanho das amostras	76	171

Igualdade de covariâncias: $g_1=21$, 83234 $F=22,47$ $p < 0,0001$

distância Mahalanobis: $D^2 = 0,686$

$F = 5,89$

$P < 0,0001$

Tabela IV – Qualidades observadas e previstas da queimada virgem.

Qualidade da queimada prevista	Qualidade da queimada observada		Total
	ruim ⁽¹⁾	boa ⁽²⁾	
ruim ⁽¹⁾	15 (83,3%)	3 (16,7%)	18 (100%)
boa ⁽²⁾	61 (26,6%)	168 (73,4%)	229 (100%)
Totais	76	171	247

O número corretamente previsto é de 183 dos 247 casos ou 74%.

(1) queimada "ruim" são queimadas virgem das classes 0 e 1 agrupadas.

(2) queimada "boa" são queimadas virgem das classes 2 e 3 agrupadas.

As funções discriminativas para queimadas de capoeira "boa" (classe 2 e 3) e "ruim" (classe 0 e 1) são apresentadas na Tabela VI. Estas equações predizem corretamente 65% de 54 casos de queimadas de capoeira. Como em queimadas virgens, a fração restante dos casos é prevista incorretamente. Na simulação deste processo, e na proporção em que cada resultado é previsto incorretamente, os casos selecionados aleatoriamente são atribuídos à qualidade de queimada oposta (Tabela VII).

DISCUSSÃO

Embora uma parte substancial da variabilidade da queimada seja explicada em termos das variáveis meteorológicas usadas nestas análises, muito da variabilidade permanece inexplicada. Informações meteorológicas de uma localidade próxima das roças estudadas aumentariam, sem dúvida, as predições de qualidade da queimada, uma vez que

a precipitação e outras características meteorológicas na área mostram bastante heterogeneidade espacial em pequena escala. Infelizmente, o desaparecimento de uma remessa de pluviômetros tornou isso impossível no presente trabalho. Informações sobre características meteorológicas adicionais, tal como a velocidade do vento, poderiam também ser de ajuda, mas a obtenção de informações mais localizadas, especialmente sobre precipitação, é uma prioridade maior. As três características usadas (precipitação, evaporação e insolação) são altamente intercorrelacionadas, embora todas contribuam para a predição. Informação específica de uma única variável de fácil medição tal como precipitação para o local da roça, poderia produzir melhores resultados do que informações mais completas de uma estação meteorológica mais distante.

Muitos outros fatores contribuem para a variabilidade na qualidade da queimada. A força e direção do vento no momento da queimada parece ser importante, como também o tamanho da área derrubada. Derrubadas maiores queimam melhor que as menores. Um colono quase sempre tem que queimar toda a sua roça em cada ano na mesma época de modo a maximizar a área que está sendo queimada ao mesmo tempo, e também para minimizar a chance de o fogo inadvertidamente entrar em áreas que foram cortadas, mas ainda não prontas para serem queimadas (tornando assim a posterior queimada adequada virtualmente impossível). O resultado é que os colonos esperam, tanto quanto podem arriscar, antes da estação chuvosa começar, para queimar, de modo que tanta área quanto possível possa ser roçada dentro do tempo disponível. A complicação institucional de empréstimos bancários para a derrubada, que geralmente são liberados depois do período apropriado, contribui para a tendência de se queimar tarde na estação. Uma vez que a estação chuvosa da área não

Tabela V – Distribuição mensal do corte e queimada de capoeira.

Item	Mês								Total
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	
Corte									
número	1	8	8	39	24	20	10	1	111
percentagem	0,9	7,2	7,2	35,1	21,6	18,0	9,0	0,9	100
Queimada									
número	0	0	4	10	50	37	13	5	119
percentagem	0	0	3,4	8,4	42,0	31,1	10,9	4,2	100

Período médio entre o corte e a queimada = 52,6 dias (DP = 96,1; N = 79).

Tabela VI – Análise discriminante da predição da queimada de capoeira.

Variável	Coeficientes	
	Queimada ruim	Queimada boa
constante	-0,32692	-1,0033
chuva entre o corte e a queimada (mm)	0,00048378	-0,0033761
evaporação entre o corte e a queimada (mm)	-0,013939	-0,020641
insolação entre o corte e a queimada (horas)	0,0029030	0,00060930
varianças gerais	$8,92 \times 10^{11}$	$1,29 \times 10^{13}$
tamanho de amostra	31	23

Igualdade de covariâncias: $g_1=6, 15499$ $F=5,78$ $p < 0,0001$
 distância Mahalanobis: $D^2 = 0,566$
 $F = 2,39$
 $P = 0,0793$

começa em uma data que possa ser prevista com qualquer precisão, em contraste, por exemplo, com muitos climas de monção asiáticos, os colonos freqüentemente esperam até que o período ótimo para queimada tenha passado. Os colonos devem esperar o suficiente depois do corte, antes de queimar, para a vegetação secar. O limite de tempo que se pode esperar é imposto pelas folhas que caem das árvores derrubadas, tornando a queimada mais difícil se a espera é muito longa. A destreza do colono na programação do tempo e na execução da queimada pode ser importante. Queimadas melhores são obtidas pela derrubada em um padrão circular, de modo que os limites da área roçada secam mais e o fogo converge para o centro, onde a vegetação está mais verde.

O tamanho das árvores, especialmente nas capoeiras, pode ser importante, porém tentativas

para quantificar este efeito até agora foram infrutíferas.

Existem diferenças entre queimadas de capoeira (pelo menos com oito meses de existência) e palhadas (entre dois e oito meses de existência). A qualidade da queimada de palhada pode ser predita por uma análise discriminativa semelhante, mas a subrotina da predição da qualidade de queimada de palhada foi retirada do programa de simulação da capacidade de suporte, quando os dados adicionais de solo revelaram que nestes casos a qualidade da queimada deixou de ter um efeito significativo sobre as mudanças da fertilidade do solo. A queima de palhadas, que ocorreu em 27,1% dos 48 casos, tem um efeito significativo sobre os solos quando comparada com os casos de não queimada (13).

As queimadas de pastagem não estão explicitamente modeladas, mas a queima regular de pastagens com intervalos de 2–3 anos está implícita nas mudanças do solo que ocorrem sob pastagem na região (10).

A importância da variabilidade da produção da cultura para a capacidade de suporte humano torna o efeito da variável qualidade da queimada um fator chave no agroecossistema dos colonos, até agora grandemente baseado em culturas anuais. À medida que as tendências atuais estão levando à substituição de culturas comerciais anuais pelas pastagens e culturas perenes na área (12), a qualidade da queimada terá um papel menor no futuro. Plantações de culturas anuais de subsistência na área da rodovia Transamazônica, e a cultura anual que caracteriza a agricultura pioneira na fronteira agrícola em rápida expansão em toda a Amazônia, assegura que a variável qualidade da queimada con-

Tabela VII – Qualidades observadas e preditas da queimada de capoeira.

Qualidade da queimada predita	Qualidade da queimada observada		Total
	ruim(1)	boa(2)	
ruim(1)	26 (65,0%)	14 (35,0%)	40 (100%)
boa(2)	5 (35,7%)	9 (64,3%)	14 (100%)
Totais	31	23	54

Número corretamente predito é de 35 dos 54 casos ou 65%.

(1) queimadas "ruim" são queimadas de capoeira das classes 0 e 1 agrupadas.

(2) queimadas "boas" são queimadas de capoeira das classes 2 e 3 agrupadas.

tinuará a ser uma das mais importantes preocupações dos agricultores nestas áreas.

CONCLUSÕES

1. A qualidade da queimada em roças agrícolas preparadas a partir de floresta virgem e capoeira pode ser simulada a partir de informações sobre o comportamento de derrubada ou roçagem e de dados meteorológicos.

tamento de derrubada ou roçagem e de dados meteorológicos.

2. A qualidade da queimada representa um importante elo entre os padrões meteorológicos altamente variáveis na área da rodovia Transamazônica e a grande variabilidade notada nas produções das culturas obtidas pelos colonos. Estas produções variáveis, por seu turno, mostraram que afetam a capacidade de suporte da área para populações humanas.

REFERÊNCIAS

- Allan, W. 1949. Studies in African land usage in Northern Rhodesia. *Rhodes Livingstone Papers*, No. 15.
- Allan, W. 1965. *The African husbandman*. Nova York, Barnes and Noble, 505 p.
- Carneiro, R. L. 1960. Slash-and-burn agriculture; a closer look at its implications for settlement patterns. In Wallace, A. F. C. (compilador) *Men and cultures: selected papers of the Fifth International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences, September 1956*. Philadelphia, University of Pennsylvania Press, p. 229-234.
- Clarke, W. C. 1971. *Place and people: an ecology of a New Guinea community*. Canberra, Australian National University Press, 265 p.
- Conklin, H. C. 1959. Population-land balance under systems of tropical forest agriculture. *Proceedings of the Ninth Pacific Science Congress (Bangkok, 1957)*, 7: 63.
- Falesi, I. C. 1972. *Solos da Rodovia Transamazônica*. Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Norte (IPEAN) *Boletim Técnico* Nº 55, Belém, 196 p.
- Fearnside, P. M. 1972. An estimate of carrying capacity of the Osa Peninsula for human populations supported on a shifting agriculture technology. In Organization for Tropical Studies (OTS), *Report of Research Activities Undertaken during the Summer of 1972*. San José, Costa Rica, OTS, p. 486-529.
- Fearnside, P. M. 1978. *Estimation of carrying capacity for human populations in a part of the Transamazon Highway Colonization Area of Brazil*. (Dissertação de Ph.D. em ciências biológicas. University of Michigan, Ann Arbor, Michigan) Ann Arbor, University Microfilms International, 624 p.
- Fearnside, P. M. 1979. *A simulação da capacidade de suporte para populações agrícolas nos trópicos úmidos: programa de computador e documentação*. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 546 p.
- Fearnside, P. M. 1980. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia brasileira: consequências para a sustentabilidade de produção bovina. *Acta Amazônica*, 10(1): 119-132.
- Fearnside, P. M. 1981. Condições iniciais de qualidade de solo na Transamazônica e a sua simulação em modelos para a estimativa de capacidade de suporte humano. *Ci. e Cult.*, 33(7) (suple.): 507 (resumo).
- Fearnside, P. M. 1982. Alocação do uso da terra dos colonos da Rodovia Transamazônica e sua relação à capacidade de suporte humano. *Acta Amazônica*, 12(3): 549-578.
- Fearnside, P. M. 1986. *Human carrying capacity of the Brazilian rainforest*. Nova York, Columbia University Press, 293 p.
- Fearnside, P. M. s/d-a. Pacote de manejo de dados para estimativas de capacidade de suporte nos trópicos úmidos. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) (em preparação).
- Fearnside, P. M. s/d-b. Burn quality prediction for simulation of the agricultural system of Brazil's Transamazon Highway colonists for estimating human carrying capacity. In Misra, K. C., Pandey, H. V. e Govil, G.V. (compiladores) *Ecology and resource management in the tropics*. Varanasi, Índia, Bhargava Book Depot (no prelo).
- Fox, D. J. e Guire, K. E. 1976. *Documentation for MIDAS. 3rd ed. September 1976*. Ann Arbor, Michigan, University of Michigan Statistical Research Laboratory, 203 p.
- Freeman, J. D. 1955. *Iban agriculture, a report on the shifting cultivation of hill rice by the Iban of Sarawak*. Londres, Inglaterra, Colonial Research Studies, vol. 18, 148 p.
- Gourou, P. 1966. *The tropical world: its social and economic conditions and its future status, 4th ed.* Nova York, Longman, 196 p.
- Joachim, A. W. R. e Kandiah, S. 1948. The effect of shifting (Chena) cultivation and subsequent regeneration of vegetation on soil composition and structure. *Tropical Agriculturalist*, 104: 3-11.
- Nye, P. H. e Greenland, D. J. 1960. *The soil under shifting cultivation*. Harpenden, Inglaterra, Commonwealth Agricultural Bureaux of Soils, Technical Communication, nº 51, 156 p.
- Pereira, F.B. e Rodrigues, J. de S. 1971. *Possibilidades agroclimáticas do Município de Altamira (Pará)*. Belém, Pará, Departamento de Assuntos Universitários, Escola de Agronomia da Amazônia, Boletim, nº 1, 46 p.
- Popenoe, H. 1959. The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America.

Proceedings of the Ninth Pacific Science Congress (Bangkok 1957), 7: 72-77.

23. Popenoe, H. 1960. *Effects of shifting cultivation on natural soil constituents in Central America*. (Dissertação de Ph. D. em Agronomia, Gainesville, Florida, University of Florida), 154 p.
24. Rao, C. R. 1973. *Linear statistical inference and its applications*. 2nd. ed., Nova York, John Wiley and Sons.
25. Rappaport, R. A. 1968. *Pigs for the ancestors: ritual in the ecology of a New Guinea people*. New Haven, Connecticut, Yale University Press, 311 p.
26. Sánchez, P. A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. Nova York, John Wiley and Sons, 618 p.
27. Sánchez, P. A. e Buol, S. W. 1975. Soils of the tropics and the world food crisis. *Science*, 188: 598-603.

AGRADECIMENTOS

Recursos para o projeto do qual este trabalho é uma parte vieram do auxílio para aperfeiçoamento de dissertação GS-42869 da National Science Foundation, uma bolsa de estudo de pré-doutoramento da Resources for the Future, e duas bolsas de estudo do Institute for Environmental Quality, da University of Michigan, e do Programa do Trópico Úmido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Agradeço à Ford Foundation pelos recursos para a viagem que possibilitaram a apresentação destes resultados. Agradeço ao International Society for Tropical Ecology (ISTE) pela permissão para publicar esta tradução. Agradeço a Luiz Carlos Joels e Maria Flora G. Telles pela revisão do português. Nenhum dos pontos de vista expressos aqui são da responsabilidade das organizações que apoiaram o projeto.