

The text that follows is a TRANSLATION
O texto que segue é uma TRADUÇÃO

Fósforo e a capacidade de suporte humano na Amazônia brasileira

Please cite the original article:
Favor citar o trabalho original:

Fearnside, P.M. 1998. Phosphorus and Human Carrying Capacity in Brazilian Amazonia. pp. 94-108
In: J.P. Lynch and J. Deikman (eds.) *Phosphorus in Plant Biology: Regulatory Roles in Molecular, Cellular, Organismic, and Ecosystem Processes*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland. 401 pp.

Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br>

FÓSFORO E A CAPACIDADE DE SUPORTE HUMANO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Philip M. Fearnside
Instituto Nacional de Pesquisas
da Amazônia (INPA)
C.P. 478
69011-970 Manaus-Amazonas

Fax: (92) 642-8909
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

02 de abril de 2003

ÍNDICE

RESUMO	
I.) CAPACIDADE DE SUPORTE HUMANO	
II.) DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO	
III.) FOSFATO COMO UM FATOR LIMITANTE	
A.) AGRICULTURA	
B.) MANEJO FLORESTAL.....	
C.) PAPEL AMBIENTAL DA FLORESTA	
IV.) LIÇÕES DE LIMITAÇÕES DE FOSFATO	
V.) PRIORIDADES DE PESQUISA FUTURAS	
VI.) AGRADECIMENTOS	
VII.) LITERATURA CITADA	
LEGENDAS DAS FIGURAS	

Resumo

A estimativa de capacidade de suporte humano fornece informações necessárias para formular políticas racionais sobre população, consumo e desenvolvimento. Na Amazônia brasileira, o desenvolvimento tem sido dominado pela conversão de florestas tropicais em pastagens que degradam dentro de alguns anos sob o manejo normal, mas que podem produzir mais se mantidas com aplicação de fertilizantes de fosfato. Pouco emprego é gerado pela pastagem; este também é o caso da soja, que é atualmente promovida por meio de programas governamentais. O fosfato representa um fator limitante na agricultura, na pecuária e, possivelmente, também no manejo florestal. Sob a suposição improvável de que o Brasil fosse dedicar toda a sua reserva de fosfatos à Amazônia, a área desmatada até agora (uma área do tamanho da França) poderia ser mantida sob pastagem durante 81 anos, enquanto que, se o resto da floresta fosse desmatada, a pastagem poderia ser mantida durante apenas 11 anos. O fósforo está entre os fatores que afetam o papel da Amazônia nas mudanças globais, tanto em áreas florestadas como em áreas desmatadas. A lição a ser aprendida das limitações de fosfato sobre a intensificação da agricultura e da pecuária na Amazônia é a necessidade de enfrentar a natureza finita do potencial dessas atividades, e de adaptar adequadamente as políticas que afetam a população e o desenvolvimento. Prioridades para pesquisas futuras incluem o fortalecimento do nosso conhecimento destes limites e das suas implicações para a capacidade de suporte.

I.) CAPACIDADE DE SUPORTE HUMANO

O termo “capacidade de suporte” tem sido usado por pesquisadores em biologia, antropologia, geografia, manejo de pastoreio, pesca, manejo de vida selvagem, e administração empresarial com significados relacionados, mas diferentes. O termo sempre se refere ao número de indivíduos que podem ser sustentados em uma determinada área, mas o nível de consumo em que eles serão sustentados e o tempo que a área é capaz de fornecer este sustento varia com a definição. O termo, às vezes, é usado para uma relação instantânea entre os recursos disponíveis e as exigências de consumo de uma população, por exemplo na equação logística, da biologia de populações (por exemplo, Wilson & Bossert, 1971). No atual trabalho, no entanto, o termo é usado exclusivamente com referência aos níveis sustentáveis de população e consumo. A capacidade de suporte, no caso presente, se refere ao número de pessoas que podem ser sustentadas por um período indefinido, dado as suposições feitas sobre a tecnologia de produção os níveis e padrões de consumo da população.

A capacidade de suporte não é fixa, mas tampouco é infinitamente expansível (Arrow *et al.*, 1995; Cohen, 1995). A capacidade de suporte pode ser aumentada por mudanças nos modos em que os recursos são usados e distribuídos. A capacidade de suporte também pode diminuir por causa da degradação ambiental, aumento da desigualdade na distribuição dos recursos, e a adoção de padrões ineficientes de uso da terra, tais como a pastagem. Todas estas mudanças desfavoráveis estão acontecendo hoje na Amazônia.

Roger Revelle (1976) calculou que a Terra pudesse sustentar 40 bilhões de pessoas, presumindo que hajam grandes aumentos nos rendimentos por hectare e que seja aproveitada toda a terra que ele pensava ser "disponível" (inclusive a Amazônia). As suposições de Revelle relativo à agricultura de altos insumos na Amazônia estão discrepantes com as várias limitações conhecidas na região (veja Revelle, 1987). A Organização de Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO) sugeriu, em 1971, que a Terra pudesse sustentar 36 bilhões se as áreas não cultivadas (inclusive a Amazônia) fossem convertidas para agricultura no mesmo nível de intensidade dos E.U.A. (Pawley, 1971).

II.) Desenvolvimento Amazônico

Até hoje, a característica predominante do desenvolvimento na Amazônia brasileira (Fig. 1) tem sido a conversão de floresta em pastagem (Fearnside, 1990a). Pastagem é o uso da terra que causa o máximo de impacto na floresta, enquanto apenas sustenta uma população humana muito escassa (Fearnside, 1983). Iniciativas novas podem alterar este cenário significativamente. A soja está sendo promovida pelos governos nacionais e estaduais. As primeiras grandes plantações estão localizadas em campos naturais perto de Humaitá, Amazonas. A Hidrovia do Rio Madeira, aberta em março de 1997, diminuiu o custo de transporte desta parte da região para um terço do seu custo anterior, assim mudando radicalmente o quadro econômico para a agricultura mais intensiva. Um armazém de 90.000 t foi inaugurado em Itacoatiara, Amazonas,

na foz do Rio Madeira, e um segundo armazém igual é esperado em uma fase subsequente. A soja já representa uma cultura importante no Mato Grosso e na parte oriental de Rondônia. A expansão no cultivo da soja em Roraima é planejada. Pouco emprego resulta desse cultivo, que é mecanizado.

[Figura 1 aqui]

Decisões sobre o uso da terra baseadas em permitir a intensidade máxima que as condições físicas permitem pode ultrapassar limites rapidamente em outras esferas quando as alocações individuais do zoneamento são consideradas juntas. Pode examinar cada cela em uma malha, usando um sistema de informação geográfica (GIS), comparando o solo, chuva, etc., com as demandas de uma determinada cultura agrícola, e concluir que cada cela individual pode ser alocada ao uso em questão, e ainda chegar a uma conclusão global que é completamente irreal.

A Organização de Alimentação e de Agricultura das Nações Unidas (FAO), em colaboração com o Fundo das Nações Unidas para Atividades de População (UNFPA) e o Instituto Internacional para Análise de Sistemas Aplicada (IIASA) estimaram a capacidade de suporte na Amazônia e em outras áreas tropicais do mundo (FAO, 1980, 1981, 1984; Higgins *et al.*, 1982). Vale a pena examinar o estudo da FAO/UNFPA/IIASA, uma vez que a ilusão embutida nele é de que a Amazônia pode ser transformada em um grande celeiro--uma idéia que antecipa em muito tempo a FAO/UNFPA/IIASA--é um persistente e pernicioso fator no planejamento brasileiro para a região. Os resultados do estudo contêm numerosas inconsistências óbvias com a realidade, indicando que tais esforços precisam estar baseados em mais verdade terrestre. A Amazônia brasileira é toda indicada no estudo da FAO/UNFPA/IIASA como capaz de sustentar entre meia e uma pessoa por hectare ao atual baixo nível de insumos tecnológicos, e entre cinco e dez pessoas por hectare com altos insumos (fertilizantes, mecanização e uma ótima mistura de culturas não irrigadas). Estes cálculos conduzem à conclusão de que o Brasil pode sustentar uma incrível população de 7,1 bilhões de pessoas, se altos níveis de insumos forem aplicados (Higgins *et al.*, 1982: 104). A possibilidade implícita de converter a região em uma vasta área de agricultura mecanizada com altos insumos vai contra os limites de disponibilidade de recursos para suprir os insumos, especialmente de fosfato.

Um dos fatores que conduzem aos altos valores da capacidade de suporte que o estudo apontou para a Amazônia é a suposição de que a qualidade do solo em áreas ainda não cultivadas é igual à qualidade nas áreas já cultivadas. O estudo vai tão longe que alega que "há evidência de que a produtividade das reservas pode ser mais alta, mas, por causa de simplicidade, é presumido que a produtividade em potencial da terra nova esteja igual à da terra já sob cultivo" (FAO, 1984: 43). Infelizmente, como também é verdade na maior parte do Planeta, as melhores terras são aproveitadas primeiro para o cultivo, com a qualidade da terra diminuindo progressivamente nas novas áreas de assentamento, até que apenas terras muito marginais permanecem.

No início dos anos 1970, quando os programas de incentivos fiscais para pastagens amazônicas estavam se expandindo rapidamente, a agência que hoje é EMBRAPA informava

que o pasto melhorava o solo. Falesi (1974: 2.14) comparou solos sob floresta virgem e sob pastagem de várias idades em Paragominas (na Rodovia Belém-Brasília, no Pará) e na Fazenda Suiá Missu (no norte do Mato Grosso):

Logo após a queima [da floresta] a acidez é neutralizada, com mudança de pH de 4 para acima de 6 e o alumínio desaparecendo, persistindo esta situação nas diversas idades de pastos, tendo a pastagem mais velha a idade de 15 anos, localizada em Paragominas. Os elementos nutrientes tais como cálcio, magnésio e potássio elevam-se na composição química do solo, e permanecem estáveis no decorrer dos anos. O nitrogênio baixa logo após a queimada, mas no entanto em poucos anos volta apresentar o teor semelhante ao existente na mata primitiva.... A formação de pastagens em latossólos e podzólicos de baixa fertilidade é uma maneira racional e econômica de ocupar e valorizar essas extensas áreas (Falesi, 1974: 2.14-2.15)

O fósforo não constava entre os caracteres de solo indicados como melhorando devido à pastagem, nas publicações originais de EMBRAPA (Falesi, 1974, 1976), mas foi acrescentado à lista por outras pessoas quando os resultados foram divulgados para o mundo (por exemplo, Alvim, 1981). A própria EMBRAPA reconheceu que o fósforo era necessário, e em 1977 mudou a sua posição de que o pasto melhora o solo, passando a recomendar que a produtividade seja mantida aplicando 200-300 kg/ha de fertilizante de fosfato (50% superfosfato simples, 50% hiperfosfato) (Serrão & Falesi, 1977: 55), fornecendo 50 kg/ha de P_2O_5 (Serrão *et al.*, 1978: 28). Isto foi modificado, subseqüentemente, para 25-50 kg/ha de P_2O_5 (Serrão *et al.*, 1979: 220), mas recomendações mais recentes têm sido de 50 kg/ha (Corrêa & Reichardt, 1995).

Embora possa parecer que a controvérsia sobre o solo sob pastagem é apenas um engano passado que pode ser consignado ao lixo da história, as suas ramificações ainda representam uma força no desenvolvimento amazônico até os dias de hoje. A noção de que a pastagem estava melhorando o solo era coincidente com o lançamento de um grande programa de incentivos fiscais para promover a conversão de floresta em pastagem. Incentivos fiscais eram um forte motivo para desmatamento nos anos 1970. Em 25 de junho de 1991, um decreto suspendeu a concessão de incentivos novos. No entanto, os incentivos velhos (*i.e.*, já aprovados) ainda continuam, ao contrário da impressão popular nutrida por numerosas declarações feitas por funcionários do governo dizendo que os incentivos haviam terminados. Os mais de 400 projetos de pecuária já aprovados excedem em muito o pequeno número de projetos adicionais que seriam acrescentados à lista a cada ano se as aprovações de novos projetos tivessem continuado.

As mudanças do solo notadas por Falesi (1974, 1976) não conduzem à conclusão de que as pastagens serão sustentáveis (Fearnside, 1980). Não podem ser sustentados rendimentos altos de capim se o crescimento estiver sendo restringido por baixa quantidade de certos nutrientes, tais como o fósforo, mesmo que a quantidade de outros nutrientes esteja suficiente. Usando dados de experiências de adubação de pastagens em Belém (Serrão *et al.*, 1971), pode ser mostrado que a falta de fósforo limita o crescimento do capim (veja Fearnside, 1979). Baixos

níveis de fósforo também foram identificados como limitantes do crescimento de capim em Paragominas (Serrão *et al.*, 1978, 1979). Os dados do estudo de Falesi na Rodovia Belém-Brasília (1974, 1976) mostram uma forte tendência descendente no nível de fósforo disponível, depois do pico inicial que resulta da queima da floresta virgem. O fósforo disponível (P_2O_5) cai de um máximo de 4,18 mg/100 g de solo seco em pastagem nova, para um patamar mais baixo depois de cinco anos. O solo sob pastagem com cinco anos tem um conteúdo de P_2O_5 de 0,46 mg/100 g, e, com algumas pequenas variações, ainda tem 0,46 mg/100 g no décimo ano (Falesi, 1976: 42-43), ou seja, um nível mais baixo do que no solo sob floresta virgem na mesma área (0,69 mg/100 g).

Grande parte do debate sobre as mudanças do solo sob pastagens é irrelevante à questão da manutenção da produtividade do pasto. A pergunta de importância é: os baixos valores até os quais os níveis de fósforo caem sob pastagem são adequados para sustentar a produção? A resposta é que não são adequados, como é confirmado pelos rendimentos pobres obtidos em plantações, tanto experimentais como comerciais, onde os fertilizantes não são aplicados.

Problemas que limitam o uso de fertilizantes à base de fosfato são o custo dos suprimentos de fosfato e os limites absolutos dos estoques mineráveis deste mineral. Um relatório sobre as jazidas de fosfato no Brasil, publicado pelo Ministério das Minas e Energia, indica uma única jazida pequena na Amazônia (de fato, duas jazidas pertos uma da outra: Serra Pirocua e Ilha Trauíra), situada na costa atlântica perto da divisa entre Pará e Maranhão (de Lima, 1976; também ver Fenster & León, 1978) (Fig. 2). Além do tamanho pequeno da jazida, o seu fósforo tem a desvantagem de ser complexado com o alumínio, dificultando o seu uso agrícola, embora não seja impossível desenvolver tecnologias novas para fabricação de fertilizantes (dos Santos, 1981: 178). Uma jazida adicional foi descoberta no Rio Maecuru, perto de Monte Alegre, Pará, com a estimativa do seu tamanho ainda incompleta (Beisiegel & de Souza, 1986). Quase todos os fosfatos do Brasil estão no Estado de Minas Gerais, um local muito distante da maior parte da Amazônia.

[Figura 2 aqui]

O Brasil não é dotado de um estoque particularmente grande de fosfato; os Estados Unidos, por exemplo, tem depósitos aproximadamente 20 vezes maiores (de Lima, 1976: 26). Em uma escala global, a maioria das jazidas de fosfatos fica situada na África (Sheldon, 1982). A continuação das tendências prevaletentes desde a Segunda Guerra Mundial, em uso de fosfato, esvaziaria os estoques mundiais até os meados do século XXI (Smith *et al.*, 1972; E.U.A., CEQ & Department of State, 1980). Embora uma extrapolação simples destas tendências seja questionável devido aos limites sobre a continuação do aumento da população humana às taxas passadas (Wells, 1976), a conversão de uma porção significativa da Amazônia em pasto fertilizado aceleraria em muito o término do fosfato no Brasil e no mundo. Para o Brasil, seria sábio ponderar cuidadosamente se os seus estoques remanescentes deste recurso limitado devem ser alocados a pastagens amazônicas.

Um cálculo grosseiro pode ser feito da suficiência das reservas brasileiras de fosfato para sustentar pastagens na Amazônia. Reservas brasileiras de rocha de fosfato totalizam $780,6 \times 10^6$ t, com um conteúdo de P_2O_5 médio de 12% (de Lima, 1976: 24), não contando a jazida de Maecuru, ainda sendo avaliada. Descontando perdas de 8% de P_2O_5 na transformação da rocha em fertilizante de fosfato (de Lima, 1976: 10), isto representa $86,2 \times 10^6$ t de P_2O_5 . Os $53,0 \times 10^6$ ha de floresta desmatada até 1997 na Amazônia Legal (Brasil, INPE, 1998) consumiriam anualmente $1,06 \times 10^6$ t de P_2O_5 se mantidos sob pastagem. Isto presume que são fertilizadas as pastagens uma vez a cada 2,5 anos (Serrão *et al.*, 1979: 220), à dose de 50 kg/ha de P_2O_5 , considerando o nível crítico mínimo como sendo de 5 ppm de P_2O_5 no solo (em vez do nível crítico tradicional de 10 ppm, o que exigiria doses anuais de fertilizante para ser mantido). Se fossem fertilizados todos os 400×10^6 ha de área originalmente florestada na Amazônia Legal à taxa recomendada para pastagem, requereria anualmente $8,00 \times 10^6$ t de P_2O_5 . Se todas as reservas de fosfato do Brasil fossem dedicadas a este propósito, elas durariam 81 anos para manter sob pastagem a área atualmente desmatada (uma área do tamanho da França), e só 11 anos se o resto da área originalmente florestada também fosse convertido em pastagem. No entanto, as jazidas de fosfatos do Brasil já são quase totalmente comprometidas para manter a produção agrícola fora da Amazônia Legal.

III.) Fosfato como um Fator Limitante

A.) Agricultura

O fósforo é baixo em praticamente todos solos na Amazônia brasileira, até mesmo incluindo os tipos relativamente férteis, tais como nas ocorrências de terra roxa (Alfisol) nas áreas de colonização ao longo de partes da Rodovia Transamazônica no Pará e da Rodovia BR-364 na Rondônia. Na Rodovia Transamazônica, ao oeste de Altamira, uma área de estudo de 23.600 ha, um estudo baseado em 187 amostras de solo em floresta virgem indicou que 83% da área tem solo com < 1 ppm de P disponível nos 20 cm superiores do solo, e 91% tem P total ≤ 2 ppm, determinado usando a solução extratora de Carolina do Norte, que é o procedimento padrão para determinações de fósforo disponível no Brasil (Fearnside, 1984).

Uma variedade de características e processos do solo determina a quantidade de fósforo disponível. A disponibilidade de fósforo em Ultisols geralmente é muito baixa porque a maioria do P se encontra em compostos altamente insolúveis de ferro (Fe) e de alumínio (Al) (Kamprath, 1973: 139). Valores de pH abaixo de 5,5 são, geralmente, associados à diminuição marcada na disponibilidade do fósforo (Young, 1976: 299; veja revisão em Jordan, 1985: 79). Carbono orgânico e Fe_2O_3 são ambos relacionados positivamente ao fósforo disponível em Oxisols brasileiros (Bennema, 1977: 43). Micorrizas são importantes na mobilização do P em formas disponíveis (St. John, 1985). Associações de micorrizas foram encontradas em muitas, mas não em todas, das poucas espécies de árvores amazônicas que têm sido examinados (St. John, 1980).

Quando o P está em formas disponíveis, o processo de fixação converte isto em complexos indisponíveis com Fe e Al. Geralmente não é considerado que Oxisols na Amazônia

sejam fortes fixadores de P (Cochrane & Sánchez, 1982: 153). A fixação de fósforo depende das características do solo: a matéria orgânica impede a fixação de P, enquanto valores baixos de pH favorecem a fixação (Bennema, 1977: 44). A taxa de fixação de fósforo (em seis horas a 100 ppm de P) varia de 26,8 a 51,6% em solos representativos da Amazônia brasileira (Fassbender, 1969). Estas taxas não são altas pelos padrões de muitos Oxisols e Ultisols tropicais, porém mais fósforo é perdido por meio da fixação quando as taxas de aplicação de fertilizante são baixas (*i.e.*, nos níveis mais prováveis de aplicação). Em terra roxa (Alfisol) em Altamira, Pará, o melhor tipo de solo de terra firme na região (fora das ocorrências, muito pequenas, de terra preta antropogênica), até 83% do P aplicado são fixados em sete dias a uma taxa baixa de aplicação (53 ppm P) (Dyenia *et al.*, 1977). A toxicidade do alumínio age, em parte, por meio do P, já que o alumínio tende a acumular nas raízes e impede a absorção e translocação de P e Ca até as porções aéreas das plantas (Sánchez, 1976: 231).

B.) MANEJO FLORESTAL

As baixas perspectivas de sustentar grandes áreas de pastagens são uma razão para o manejo florestal da madeira ser freqüentemente sugerido como o melhor uso de grandes áreas de floresta. Apesar de tais recomendações, barreiras econômicas impeçam a manutenção de floresta sob sistemas de manejo sustentáveis ao longo de uma sucessão de ciclos (Fearnside, 1989b). Precisa-se considerar se o P é um limite adicional.

Freqüentemente tem sido presumido que o nitrogênio limita o crescimento da floresta. Por exemplo, em um modelo desenvolvido pelo projeto BIONTE (Biomassa e Nutrientes) para a “Bacia Modelo” do INPA, perto de Manaus, presumiu-se que o N era o fator limitante para a floresta como um todo (Biot *et al.*, 1997: 284). Esta suposição provavelmente é uma consequência da falta de literatura sobre outros nutrientes, e indica a necessidade de pesquisas para quantificar as ligações dos outros caracteres do solo com o crescimento das árvores.

As leguminosas arbóreas podem fixar nitrogênio com a ajuda de bactérias simbióticas, fato que, provavelmente, representa para os membros desta superfamília uma vantagem competitiva em relação às espécies de famílias que não possuem esta capacidade. Isto explica, em parte, o fato de que as leguminosas são um grupo comum nas florestas amazônicas; porém, nas reservas perto de Manaus mantidas pelo Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF), do INPA/Instituição Smithsonian, as famílias Burseraceae, Sapotaceae e Lecythidaceae são todas mais comuns que Leguminosae (Rankin-de-Merona *et al.*, 1990: 574). Isto leva a crer que, embora o N seja, indubitavelmente, importante, não pode ser presumido que este elemento esteja controlando o crescimento da floresta.

Florestas amazônicas recebem uma parte significativa do P que elas dispõem proveniente de poeira africana transportada por ventos sobre o Oceano Atlântico (Swap *et al.*, 1992). A quantidade de poeira é aumentada pelo sobre-pastoreio e outros usos da terra e mudanças de uso da terra na África e por um clima caracterizado por eventos severos de seca. Nutrientes também são transportados em forma de fumaça e partículas de cinza das queimadas em savanas,

possivelmente incluindo as queimadas na África (Talbot *et al.*, 1990). Não é conhecido até que ponto estas fontes de nutrientes podem aumentar a taxa de crescimento das florestas amazônicas. Sem dúvida, aumentos diferem entre espécies de árvore, assim potencialmente levando a alterações na composição da floresta (Fearnside, 1995).

C.) Papel Ambiental da Floresta

A floresta amazônica tem um valor significativo em diferentes maneiras do fornecimento de madeira ou da abertura do caminho para a expansão da agricultura e a pecuária. Esta floresta fornece serviços ambientais, pelos quais ninguém paga nada no momento, que excedem em muito o valor do retorno financeiro dos produtos tradicionais da exploração. Estes serviços incluem a manutenção de biodiversidade, o armazenamento de carbono (evitando o efeito estufa), e a ciclagem de água. Com uma negociação bem conduzida e mecanismos institucionais apropriados, o aproveitamento do valor destes serviços poderia fornecer uma base sustentável de sustento para a atual população rural na Amazônia brasileira (Fearnside, 1997b).

Se o P limitar o crescimento de biomassa na floresta, então, este elemento pode ser relevante ao papel ambiental da floresta, particularmente no armazenamento de carbono. Uma controvérsia relativa ao efeito estufa é até que ponto a fertilização causada por concentrações atmosféricas mais altas de CO₂ poderia resultar na absorção de carbono pela floresta, estimulando o acúmulo de biomassa. Se isso acontece ou não depende de se há outros fatores limitantes que restringem o crescimento da floresta. Medina & Cuevas (1996) argumentaram que o efeito das concentrações mais altas de CO₂ seria um aumento na eficiência do uso de água e de nutrientes, o que resultaria no aumento do crescimento da floresta, especialmente durante a estação seca. Estes autores argumentam que parte do fotosintato adicional seria alocada para raízes e exudatos de raiz, o que poderia, em longo prazo, ajudar a relaxar as limitações de nutrientes do solo sobre o crescimento. Se o fósforo estivesse limitando o crescimento durante qualquer período do ano, por exemplo, durante a estação chuvosa quando outras limitações são relaxadas, então este elemento teria um papel no equilíbrio global de carbono. O fósforo também teria uma influência no papel da Amazônia no equilíbrio global de carbono se o P limitasse o crescimento de floresta secundária em pastagens degradadas (Fearnside & Guimarães, 1996).

IV.) Lições de Limitações de Fosfato

Dado que o fosfato representa um fator limitante para a sustentabilidade a longo prazo da agricultura e atividades de pecuária na Amazônia, quais são as lições que deveríamos tirar disto? O que estaria limitando se suprimentos infinitos de fosfato se tornassem disponíveis, ou se uma cultura maravilhosa fosse descoberta que não requeresse praticamente nada de fósforo? Tem sido argumentado que o impacto ambiental de converter uma porção grande da Amazônia em agricultura ou pecuária vai (ou deve) levar os tomadores de decisão a dar passos para evitar uma transformação desse tipo, até mesmo se tais desenvolvimentos improváveis fossem se materializar (Fearnside, 1997a). A lição principal do fósforo limitado não é que mais pesquisas de fisiologia de planta são necessárias, mas que nós precisamos aprender a viver dentro deste e

de outros limites.

Quando confrontados com a existência de um fator limitante, a reação normal por parte de tomadores de decisão e de pesquisadores é de concentrar os esforços na procura de uma maneira para superar a limitação. A pergunta de se o limite deveria ou não ser combatido, no primeiro lugar, normalmente nem mesmo é considerada. No entanto, esta pergunta básica sempre deve ser respondida, antes que qualquer esforço seja feito para superar uma limitação. O simples reflexo de que todo fator limitante deve ser combatido é tanto desperdiçador como pouco inteligente. Uma vez que informações pertinentes são organizadas e interpretadas, podendo ser comparados a efetividade, o custo, e os efeitos colaterais sociais e ambientais de atacar os diferentes limites.

Uma reação comum é ver como dados a atual distribuição altamente desigual da posse da terra e qualquer decisão baseada em argumentos militares ou geopolíticos, e só concentrar as atenções sobre avanços técnicos contra restrições de solo. Eu sugiro que sejam muito mais “dadas” restrições relacionadas ao solo e às condições físicas do que as que são o resultado da hierarquia social do País e da tomada de decisão, e que é nesta última categoria onde a atenção deveria ser focalizada. Quais são os ingredientes de uma decisão racional sobre a pergunta de tentar ou não tentar superar uma limitação sobre o desenvolvimento? O ponto de partida deve ser uma definição clara dos objetivos do desenvolvimento. Por exemplo, se o objetivo do desenvolvimento for fornecer um meio de suporte sustentável às populações da região, então pouco benefício será alcançado aumentando a produtividade ou a longevidade das pastagens nas grandes fazendas de pecuária, fornecendo fertilizantes e melhorando o manejo. Muitos esforços para afastar limites na produção de culturas agrícolas têm como razão sustentar uma população cada vez maior de agricultores, por exemplo, dos imigrantes de outras partes de Brasil que vêm para a Amazônia. Isto não está necessariamente nos melhores interesses da população atual da Amazônia e os seus descendentes. Seria melhor reconhecer que a capacidade da Amazônia para sustentar população seja limitada, e guiar o desenvolvimento de tal modo que o tamanho da população e impactos ambientais sejam mantidos dentro desses limites (Fearnside, 1997c).

Não existe desenvolvimento sustentável para um número infinito das pessoas, nem para uma população fixa que esteja infinitamente ávida. Muitos limites físicos representam restrições que precisam ser respeitados, e deve-se conviver com eles, em vez de ver os limites como uma agenda de itens a serem atacados. Reconhecimento deste fato força as pessoas a enfrentarem os problemas fundamentais do desenvolvimento, sobre os quais muitos prefeririam não pensar (resultando em uma tendência para negar a existência de limites). Admitir ao potencial finito do bolo para crescer não condena o pobre à pobreza, mas sim condena o rico a dividir o bolo (Fearnside, 1993b).

V.) Prioridades de Pesquisa Futuras

É sempre forte a tentação de acreditar que a pesquisa removerá praticamente todos os limites do desenvolvimento, e não há nenhum lugar onde tais vôos de imaginação estão mais

livres de correr soltos do que na Amazônia. É fácil para os planejadores se convencerem que os rendimentos das culturas podem aumentar indefinidamente, e que eles podem aumentar de forma exponencial. Recentemente, Gallopín & Winograd (1995: 27) chegaram a uma conclusão otimista com relação às perspectivas para um "cenário sustentável", presumindo que os rendimentos por hectare das culturas aumentará exponencialmente a 1,5-2,0%/ano (veja Fearnside, 1996a). A idéia de que o crescimento exponencial é uma opção é enganosa, e a noção de que se pode selecionar isto como se fosse a escolha de um produto na prateleira de um supermercado é ainda amais perigosa. Na realidade, os rendimentos brasileiros por hectare tradicionalmente têm sido quase constantes, com os aumentos na colheita total sendo obtidos por meio da expansão das áreas sob cultivo (Paiva *et al.*, 1976: 62-68).

A aplicação de fertilizantes é apenas uma das maneiras de enfrentar as limitações de fertilidade do solo. Precisa-se considerar até que ponto as perspectivas agrícolas da área da floresta amazônica mudariam se outros tipos de avanços técnicos vieram a acontecer. Por exemplo, progresso recente tem sido alcançado na remoção de limitações de saturação de alumínio, através do desenvolvimento de plantas transgênicas (Barinaga, 1997; de la Fuente *et al.*, 1997). Não é inconcebível que limitações de P pudessem ser relaxadas por meio do desenvolvimento de variedades de culturas com associações apropriadas de micorrizas. Podem ser relaxadas limitações de nitrogênio de várias culturas de não leguminosas por meio de relações pseudo-simbióticas com diferentes tipos de bactérias fixadoras de nitrogênio, uma área na qual foram alcançados avanços significantes no Brasil pelo trabalho de Johanna Döbereiner (por exemplo Döbereiner, 1992).

Os solos na Amazônia são claramente estéreis: indicadores de fertilidade do solo, tais como pH, capacidade de troca catiônica, bases trocáveis totais e fósforo disponível, são baixos, enquanto a saturação de alumínio é alta. Sob tais circunstâncias, é lógico manter estas áreas sob floresta, em vez de convertê-las a usos de terra de baixa produtividade e curta duração. Mas até que ponto a situação seria diferente se os solos fossem mais produtivos? Que nível de qualidade de solo faria com que valesse a pena sacrificar a floresta? Não há nenhuma resposta simples a estas perguntas. Uma tomada racional de decisão requereria uma avaliação do valor de **ambos** a produção agrícola que pode ser esperada da área (de forma realista) e o custo ambiental de sacrificar a floresta.

"Precisamos de mais pesquisas" não é a principal conclusão a ser tirada da atual revisão. Embora mais pesquisas realmente sejam importante, a necessidade mais urgente é para ações baseadas em nosso conhecimento atual. Até mesmo cálculos simples do tipo "verso do envelope" apontam para inconsistências fundamentais no equilíbrio entre população, consumo e recursos na Amazônia. Da mesma forma, cálculos grosseiros também indicam que o retorno da conversão de áreas de floresta amazônica em agricultura ou pecuária é mínimo quando comparado ao valor dos serviços ambientais da floresta intacta. Embora a quantia que países como o Brasil podem, um dia, vira receber com base no fornecimento destes serviços é muito menor que o verdadeiro valor dos serviços, os lucros da agricultura e da pecuária também são pobres quando comparados com as quantias que poderiam ser recebidas de fato (Fearnside, 1997b). A lição a ser aprendida

das limitações de fósforo sobre a intensificação da agropecuária na Amazônia é a necessidade de enfrentar a natureza finita do potencial para estas atividades, e de adaptar adequadamente as políticas que afetam a população e o desenvolvimento.

VI.) Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq AI 523980/96-5; 350230/97-98; 465819/00-1; 470765/01-1) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA PPI 5-3150; 1-3160) pelo apoio financeiro. Foram atualizadas porções desta discussão de Fearnside (1980, 1985, 1986, 1990b, 1995, 1996b, 1997a,c), Fearnside & Leal Filho (2001), e Fearnside & Rankin (1982). Este trabalho foi apresentado no simpósio sobre "Phosphorus in Plant Biology: Regulatory Roles in Molecular, Cellular, Organismic, and Ecosystem Processes", (J.P. Lynch & J. Deikman, eds., American Society of Plant Physiologists) Pennsylvania State University, University Park, PA, 28-30 de maio de 1998. Agradeço ao American Society of Plant Physiologists pela permissão de publicar esta tradução (Fearnside, 1998). S.R.M. Couceiro, B.R. Teles e S.V. Wilson fizeram comentários úteis sobre o manuscrito.

VII.) Literatura Citada

Alvim, P. de T. 1981. A perspective appraisal of perennial crops in the Amazon Basin. *Interciencia* 6(3): 139-145.

Arrow, K., B. Bolin, R. Constanza, P. Dasgupta, C. Folke, C.S. Holling, B.O. Jansson, S. Levin, K.G. Mäler, C. Perrings & D. Pimentel. 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Science* 268: 520-521.

Beisiegel, W. de R. & W.O. de Souza. 1986. Reservas de fósforos--Panorama nacional e mundial. p. 55-67 In: Instituto Brasileiro de Fósforo (IBRAFOS) *III Encontro Nacional de Rocha Fosfática, Brasília, 16-18/06/86*. IBRAFOS, Brasília, DF. 463 p.

Bennema, J. 1977. Soils. p. 29-55 In: P. de T. Alvim & T.T. Kozłowski (eds.) *Ecophysiology of Tropical Crops*. Academic Press, New York, E.U.A. 502 p.

Biot, Y., V. Brilhante, J. Veloso, J. Ferraz, N. Leal Filho, N. Higuchi, S. Ferreira & T. Jardins. 1997. INFORM - O modelo florestal do INPA. p. 271-318 In: N. Higuchi, J.B.S. Ferraz, L. Antony, F. Luizão, R. Luizão, Y. Biot, I. Hunter, J. Proctor & S. Ross (eds.) *Bionte: Biomassa e Nutrientes Florestais. Relatório Final*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 345 p.

Brasil, INPE. 1998. *Amazônia: Deforestation 1995-1997*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo. Documento divulgado via internet (<http://www.inpe.gov.br>).

Cochrane, T.T. & P.A. Sánchez. 1982. Land resources, soils and their management in the Amazon region: A state of knowledge report. p. 137-209 In: S.B. Hecht (ed.) *Amazonia: Agriculture and Land Use Research*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colômbia. 428 p.

Cohen, J. 1995. Population growth and Earth's human carrying capacity. *Science* 269: 341-346.

Correa, J.C. & K. Reichardt. 1995. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30(1): 107-114.

de la Fuente, J.M., V. Ramírez-Rodríguez, J.L. Cabrera-Ponce & L. Herrera-Estrella. 1997. Aluminum tolerance in transgenic plants by alteration of citrate synthesis. *Science* 276: 1566-1568.

de Lima, J.M.G. 1976. *Perfil Analítico dos Fertilizantes Fosfatados*. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) Boletim No. 39. DNPM, Brasília, DF. 55 p.

de Paiva, R.M., S. Schattan & C.F.T. de Freitas. 1976. *Setor Agrícola do Brasil: Comportamento Econômico, Problemas e Possibilidades*. Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), São Paulo. 442 p.

Döbereiner, J. 1992. Recent changes in concepts of plant bacteria interactions: Endophytic N₂ fixing bacteria. *Ciência e Cultura* 44: 310-313.

dos Santos, B.A. 1981. *Amazônia: Potencial Mineral e Perspectivas de Desenvolvimento*. Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), São Paulo. 256 p.

Dynia, J.F., G.N.C. Moreira & R.M. Bloise. 1977. Fertilidade de solos da região da Rodovia Transamazônica. II. Fixação do fósforo em podzólico vermelho-amarelo e terra roxa estruturada latossólica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 12: 75-80.

E.U.A., Council on Environmental Quality (CEQ) & Department of State. 1980. *The Global 2000 Report to the President*. Pergamon Press, New York, E.U.A. 3 vols.

Falesi, I.C. 1974. O solo na Amazônia e sua relação com a definição de sistemas de produção agrícola. p. 2.1-2.11 In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) *Reunião do Grupo Interdisciplinar de Trabalho sobre Diretrizes de Pesquisa Agrícola para a Amazônia (Trópico Úmido), Brasília, 6-10 de maio de 1974. Vol. 1*. EMBRAPA, Brasília, DF. paginação irregular.

- Falesi, I.C. 1976. *Ecossistema de Pastagem Cultivada na Amazônia Brasileira*. Boletim Técnico No. 1. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Belém, Pará. 193 p.
- FAO, 1980. *Report of the Second FAO/UNFPA Expert Consultation on Land Resources for Populations of the Future*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 369 p.
- FAO, 1981. *Report on the Agro-Ecological Zones Project, Vol. 3*. World Soils Resources Report 48/3. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 251 p.
- FAO, 1984. *Land, Food and People*. FAO Economic and Social Development Series No. 30. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 96 p. + 4 mapas.
- Fassbender, H.W. 1969. Retención y transformación de fosfatos en 8 latosoles de la Amazonia del Brasil. *Fitotecnia Latinamericana* 6(1): 1-10.
- Fearnside, P.M. 1979. Cattle yield prediction for the Transamazon Highway of Brazil. *Interciencia* 4(4): 220-225.
- Fearnside, P.M. 1980. The effects of cattle pastures on soil fertility in the Brazilian Amazon: Consequences for beef production sustainability. *Tropical Ecology* 21(1): 125-137.
- Fearnside, P.M. 1983. Land-use trends in the Brazilian Amazon Region as factors in accelerating deforestation. *Environmental Conservation* 10(2): 141-148.
- Fearnside, P.M. 1984. Initial soil quality conditions on the Transamazon Highway of Brazil and their simulation in models for estimating human carrying capacity. *Tropical Ecology* 25(1): 1-21.
- Fearnside, P.M. 1985. A stochastic model for estimating human carrying capacity in Brazil's Transamazon Highway colonization area. *Human Ecology* 13(3): 331-369.
- Fearnside, P.M. 1986. *Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest*. Columbia University Press, New York, E.U.A. 293 p.
- Fearnside, P.M. 1989a. *Ocupação Humana de Rondônia: Impactos, Limites e Planejamento*. Relatórios de Pesquisa No. 5, Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, DF. 76 p.
- Fearnside, P.M. 1989b. Forest management in Amazonia: The need for new criteria in evaluating development options. *Forest Ecology and Management* 27: 61-79.
- Fearnside, P.M. 1990a. Predominant land uses in the Brazilian Amazon. p. 235-251 In: A.B. Anderson (ed.) *Alternatives to Deforestation: Towards Sustainable Use of the Amazon Rain*

Forest. Columbia University Press, New York, E.U.A. 281 p.

Fearnside, P.M. 1990b. Human carrying capacity in rainforest areas. *Trends in Ecology and Evolution* 5(6): 192-196.

Fearnside, P.M. 1993a. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio* 22(8): 537-545.

Fearnside, P.M. 1993b. Forests or fields: A response to the theory that tropical forest conservation poses a threat to the poor. *Land Use Policy* 10(2): 108-121.

Fearnside, P.M. 1995. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 78: 51-70.

Fearnside, P.M. 1996a. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 80(1-3): 21-34.

Fearnside, P.M. 1996b. "The Fragile Tropics of Latin America: Sustainable Management of Changing Environments" Edited by Toshie Nishizawa and Juha I. Uitto. *Environmental Conservation* 23(4): 382.

Fearnside, P.M. 1997a. Limiting factors for development of agriculture and ranching in Brazilian Amazonia. *Revista Brasileira de Biologia* 57(4): 531-549.

Fearnside, P.M. 1997b. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. *Ecological Economics* 20(1): 53-70.

Fearnside, P.M. 1997c. Human carrying capacity estimation in Brazilian Amazonia as a basis for sustainable development. *Environmental Conservation* 24(3): 271-282.

Fearnside, P.M. 1998. Phosphorus and Human Carrying Capacity in Brazilian Amazonia. pp. 94-108 In: J.P. Lynch & J. Deikman (eds.) *Phosphorus in Plant Biology: Regulatory Roles in Molecular, Cellular, Organismic, and Ecosystem Processes*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Maryland, E.U.A. 401 p.

Fearnside, P.M. & W.M. Guimarães. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 80(1-3): 35-46.

Fearnside, P.M. & N. Leal Filho. 2001. Soil and development in Amazonia: Lessons from the Biological Dynamics of Forest Fragments Project. p. 291-312 In: R.O. Bierregaard, C. Gascon, T.E. Lovejoy & R. Mesquita (eds.) *Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, E.U.A. 478 p.

Fearnside, P.M. & Rankin, J.M. 1982. The new Jari: Risks and prospects of a major Amazonian development. *Interciencia* 7(6): 329-339.

Fenster, W.E. & L.A. León. 1979. Management of phosphorus fertilization in establishing and maintaining improved pastures on acid, infertile soils of tropical America. pp. 109-122 In: P.A. Sánchez & L.E. Tergas (eds.) *Pasture Production in Acid Soils of the Tropics: Proceedings of a Seminar held at CIAT, Cali, Colombia, April 17-21, 1978*, CIAT Series 03 EG-05. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colômbia. 488 p.

Gallopín, G.C. & M. Winograd. 1995. Ecological prospective for tropical Latin America. p. 13-44 In: T. Nishizawa & J.I. Uitto (eds.) *The Fragile Tropics of Latin America: Sustainable Management of Changing Environments*. United Nations University Press, Toquio, Japão. 325 p.

Higgins, G.M., A.H. Kassam, L. Naiken, G. Fischer & M.M. Shah. 1982. *Potential Population Supporting Capacities of Lands in the Developing World*. Technical Report of Project INT/75/P13 'Land Resources for Populations of the Future,' Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 139 p.

Jordan, C.F. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems: Principles and their Application in Management and Conservation*. John Wiley & Sons, New York, E.U.A. 190 p.

Kamprath, E.J. 1973. Phosphorus. p. 138-161 In: P.A. Sánchez (ed.) *A Review of Soils Research in Tropical Latin America*. North Carolina State University, Soil Science Department, Raleigh, North Carolina, E.U.A. 197 p.

Medina, E. & E. Cuevas. 1996. Biomass production and accumulation in nutrient-limited rain forests: Implications for responses to global change. p. 221-239 In: J.H.C. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts & R.L. Victoria (eds.) *Amazonian Deforestation and Climate*. Wiley, Chichester, Reino Unido. 611 p.

Pawley, W.H. 1971. In the year 2070. *Ceres: FAO Review* 4(4): 22-27.

Revelle, R. 1976. The resources available for agriculture. *Scientific American* 235(3): 164-179.

Revelle, R. 1987. Comments on "Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon". p. 54-57 In: R.E. Dickinson (ed.) *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. John Wiley & Sons, New York, E.U.A., 526 p.

Sánchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Wiley-Interscience, New York, E.U.A. 618 p.

Serrão, E.A.S., E. de S. Cruz, M. Simão Neto, G.F. de Sousa, J.B. Bastos & M.C. de F. Guimarães. 1971. Resposta de três gramíneas forrageiras (*Brachiaria decumbens* Stapf.,

Brachiaria ruziziensis Germain & Everard e *Pennisetum purpureum* Schum.) a elementos fertilizantes em latossolo amarelo textura media. *Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (IPEAN), Série: Fertilidade do Solo* 1(2): 1-38.

Serrão, E.A.S. & I.C. Falesi. 1977. *Pastagens do Trópico Úmido Brasileiro*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Pará. 63 p.

Serrão, E.A.S., I.C. Falesi, J.B. da Viegas & J.F. Teixeira Neto. 1978. *Produtividade de Pastagens Cultivadas em Solos de Baixa Fertilidade das Áreas de Floresta do Trópico Úmido Brasileiro*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Pará. 73 p.

Serrão, E.A.S., I.C. Falesi, J.B. da Viegas & J.F. Teixeira Neto. 1979. Productivity of cultivated pastures on low fertility soils in the Amazon of Brazil. p. 195-225 In: P.A. Sánchez & L.E. Tergas (eds.) *Pasture Production in Acid Soils of the Tropics: Proceedings of a Seminar held at CIAT, Cali, Colombia, April 17-21, 1978*, CIAT Series 03 EG-05. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colômbia. 488 p.

St. John, T.V. 1980. Uma lista de espécies de plantas tropicais brasileiras naturalmente infectadas com micorriza vesicular-arbuscular. *Acta Amazonica* 10(1): 229-234.

St. John, T.V. 1985. Mycorrhizae. p. 277-283 In: G.T. Prance & T.E. Lovejoy (eds.) *Key Environments: Amazonia*. Pergamon Press, Oxford, Reino Unido. 442 p.

Swap, R., M. Garstang & S. Greco. 1992. Saharan dust in the Amazon Basin. *Tellus* 44B: 133-149.

Talbot, R.W., M.O. Andreae, H. Berresheim, P. Artaxo, M. Garstang, R.C. Harriss, K.M. Beecher & S.M. Li. 1990. Aerosol chemistry during the wet season in Central Amazonia: The influence of long-range transport. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 95: 16.955-16.969.

Wilson, E.O. & W.H. Bossert. 1971. *A Primer of Population Biology*. Sinaur, Stamford, Connecticut, E.U.A. 192 p.

Young, A. 1976. *Tropical Soils and Soil Survey*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 468 p.

LEGENDAS DAS FIGURAS

Figura 1--A Amazônia Legal brasileira.

Figura 2 --Jazidas de fosfatos no Brasil e países vizinhos.



