

# Modelagem estocástica na estimativa da capacidade de suporte humano: um instrumento para o planejamento de desenvolvimento na Amazônia

PHILIP M. FEARNSIDE, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia<sup>1</sup>.

Recebido em 30/7/1985

Aceito para publicação em 30/8/1985

---

**ABSTRACT.** *Stochastic modeling and human carrying capacity estimation: a tool for development planning in Amazonia.* Human carrying capacity is best approached as a gradient of increasing probability of individual failure to meet specified criteria, with increasing population density within a defined range of densities and subject to appropriate assumptions depending on the system and estimation technique employed. Carrying capacity is the population limit beyond which probability of failure, calculated over a sustained period, exceeds a maximum acceptable level. Simulation modeling is a powerful tool in estimating and studying carrying capacity and the factors that influence it. Stochastic features of tropical agroecosystems are especially important, as illustrated by a model developed for estimating carrying capacity in Brazil's Transamazon highway colonization area. Future carrying capacity research should strive both to strengthen the theoretical basis of carrying capacity estimates and to make these estimates into practical tools for development planners. Carrying capacity, with its emphasis on sustainable production and individual consumption levels, provides a valuable focus for shaping development goals, including colonization, land tenure, and population policies.

**RESUMO.** A melhor abordagem para visualizar a capacidade de suporte humano é em termos de um gradiente de crescente probabilidade de fracasso do indivíduo em alcançar critérios específicos na medida em que aumenta a densidade populacional dentro de um raio definido de densidades e sujeito a suposições apropriadas dependendo do sistema e das técnicas empregadas na realização das estimativas. A capacidade de suporte é o limite da população, após o qual a probabilidade de fracasso, calculada sobre um período (sustentada), excede ao nível máximo aceitável. Modelos simulados são instrumentos poderosos ao se estimar e estudar a capacidade de suporte e os fatores que a influenciam. Os aspectos estocásticos de agroecossistemas tropicais são especialmente importantes, como ilustrado por um modelo desenvolvido para estimar a capacidade de suporte na área de colonização da rodovia Transamazônica. Pesquisas futuras sobre a capacidade de suporte devem empenhar-se tanto em fortalecer as bases teóricas de suas estimativas, como em fazer com que estas estimativas se tornem instrumentos práticos para planejadores de desenvolvimento. A capacidade de suporte, com sua ênfase em produção sustentada e níveis de consumo individual, e um instrumento valioso para formular objetivos de desenvolvimento, inclusive políticas sobre colonização, posse da terra e população.

---

1. Caixa Postal 478, 69000 Manaus, AM.

## CAPACIDADE DE SUPORTE NO PLANEJAMENTO DO DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO<sup>2</sup>

O termo capacidade de suporte humano refere-se ao tamanho máximo de uma população humana que pode ser suportada indefinidamente em uma dada área, com um padrão de vida aceitável, sem degradação do ambiente, dadas suposições com relação à tecnologia de exploração de recursos, padrões de consumo e os critérios de definição para um padrão de vida aceitável e degradação ambiental. As suposições associadas ao cálculo da capacidade de suporte têm sido as maiores limitações às tentativas de fazer cálculos confiáveis, e, portanto, relaxar as suposições mais restritivas é um passo importante para se chegar a conclusões úteis. Junto à necessidade de melhorar a teoria, existe uma urgência especial no problema enfrentado pelos seres humanos que agora moram ou logo morarão em um ambiente degradado, depois de ultrapassada a capacidade de suporte.

A capacidade de suporte provê uma estrutura ideal para examinar e organizar os objetivos de desenvolvimento. O uso da avaliação da capacidade de suporte para sustentabilidade é altamente apropriada, mas, infelizmente, muitas vezes falta nas considerações sobre o desenvolvimento (16). A questão de padrões de vida adequados deve ser tratada no cálculo da capacidade de suporte, assim como a questão de a quem estes padrões se aplicam. A distribuição de renda tem um elo com a capacidade de suporte e não pode ser deixada fora do planejamento de desenvolvimento. Padrões para degradação ambiental permissíveis devem também

ser tratados na avaliação da capacidade de suporte, como deveria ser em todos os planos de desenvolvimento. A paisagem pode ser vista como uma malha de áreas para a qual diferentes padrões de qualidade ambiental se aplicam (32, 41). Definir tais padrões e os limites das diferentes zonas, como a demarcação das diferentes classes de parques e reservas definidas pelo governo brasileiro, é uma prioridade urgente que advém naturalmente da consideração da capacidade de suporte humano. Ao se ignorar a capacidade de suporte no planejamento, pode-se esperar conseqüências severas em termos de sofrimento, que é o lado humano das estatísticas sobre padrões de vida e distribuição de renda, e do sacrifício de outros objetivos, tais como as áreas designadas para preservação de habitats naturais, tribos indígenas e assim por diante.

O planejamento de desenvolvimento é normalmente percebido como um processo de otimização, freqüentemente medido como o produto nacional bruto (PNB), altamente inapropriado por várias razões, sendo maximizada na função objetiva do problema de otimização<sup>3</sup>. São necessárias medidas que reflitam o bem-estar público melhor do que o PNB, cuja inclusão de poluição, armamentos e muitos outros "males" entre os "bens e serviços" medidos, além de não levar em conta a distribuição do produto dentro da população. É provável que haja similaridade entre as medidas de consumo *per capita* usadas na estimativa da capacidade de suporte e medidas apropriadas do bem-estar para qualquer índice a ser maximizado em uma função objetiva<sup>4</sup>, mas a capacidade de suporte em si não é um índice apropriado a ser maximizado. A capacidade de suporte deve ser incluída como uma das restrições (dentro das quais qualquer otimização seria feita)<sup>5</sup>. A capacidade de suporte é

2. O projeto de estimativa de capacidade de suporte de agroecossistemas amazônicos, sobre o qual a maioria das declarações feitas nesta publicação são baseadas, tem recebido suporte financeiro, durante os últimos onze anos, de: Institute for Environmental Quality (IEQ), Programa do Trópico Úmido (PTU) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), National Science Foundation (NSF: GS-42869), Resources for the Future (RFF), Banco Internacional de Desenvolvimento (BID), Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e o componente Ciência e Tecnologia do Projeto Polonoeste. Nenhuma das opiniões expressas são responsabilidade das organizações que têm financiado o projeto, nem dos muitos indivíduos que contribuíram generosamente com comentários e sugestões. Todos os erros são de minha responsabilidade.

3. Particularmente verdadeiro no Brasil, onde o "milagre" econômico do final da década de 1960 e início de 1970 foi baseado apenas em aumentos dramáticos no PNB. O bem-estar dos nordestinos pobres (31) e grupos indígenas (9) não melhorou.

4. Ou inversamente, para minimizar índices que refletem a falta de itens considerados.

5. Os objetivos e suposições diferentes de modelos de otimização e sistemas sociais fazem a aplicação de técnicas de otimização inadequada. Ver as críticas de Naill (40) sobre os esforços de otimizar o modelo WORLD2 de Forrester (27).

apenas uma de várias e necessárias restrições ao desenvolvimento sustentável.

Vejo o desenvolvimento sustentável requerendo pelo menos cinco condições, designando antes as reservas onde tais desenvolvimentos são excluídos. Primeiro, a população humana deve ser mantida aquém da capacidade suporte sustentável. Segundo, os agroecossistemas empregados devem ser agronomicamente sustentáveis a níveis de retorno adequados. Isto inclui uma demanda mínima de recursos não renováveis, demanda restrita de recursos renováveis que possibilite regeneração e baixo risco de fracasso (aceitável) causado por problemas tais como ataques de insetos ou doenças, falhas tecnológicas ou flutuações de mercado. Terceiro, os agroecossistemas devem ser socialmente sustentáveis, não contendo as sementes de sua própria destruição na forma de injustiça social, confiança em regulamentos inexecutáveis e outros. Quarto, em adição ao seu efeito na sustentabilidade social, um limite de concentração de terras deve ser aplicado para evitar probabilidades inaceitavelmente altas, de não satisfazer padrões de vida mínimos. Quinto, deve haver um limite para consumo total, tal limite presumivelmente sendo atingido em parte por restringir o consumo máximo.

Modelos de simulação da capacidade de suporte poderiam ter um papel útil em guiar o desenvolvimento em direções a estas condições, tanto pela avaliação de valores para a capacidade de suporte em si quanto pelo papel dos modelos em indicar os parâmetros-chaves do sistema, em oferecer uma estrutura para novas informações e através de outras vantagens de modelos de simulação em geral. Embora a percepção de outros problemas, tal como o aumento da produção agrícola, possa ser obtida através destes esforços, é essencial que não se perca de vista os objetivos do modelo: capacidade de suporte, implicando em equilíbrio sustentável entre produção e população.

Avaliações da capacidade de suporte devem ser encorajadas como parte de um processo de planejamento para todos os novos projetos de colonização. Informações através de levantamentos seriam necessárias para cada área, junto a informações sobre a composição esperada da população e tecnologia dos colonos a serem instalados. Maiores chances de evitar níveis inaceitáveis de fracasso dos colonos e degradação ambiental justificam este esforço adicional. Informações sobre a capacidade de suporte devem levar a escolhas mais sábias de

tipos de projetos a serem aprovados. Tais estudos encorajariam o exame de motivos fundamentais para programas de colonização, tanto quanto suas conseqüências a longo prazo. Finalmente, o reconhecimento dos limites implícitos na capacidade de suporte levariam a uma percepção maior de que colonização, apenas, não pode resolver os problemas sociais e econômicos normalmente declarados como objetivos primários dos programas. As raízes destes problemas em distribuição altamente desigual de posse de terra e crescimento exponencial de população devem ser encarados.

O princípio mais básico do conceito de capacidade de suporte, ou seja, de que recursos são finitos, não tem sido aceito, ainda, por muitos no Brasil e em outros lugares, apesar do reconhecimento destes limites estar, muito vagarosamente, aumentando. A Amazônia é a região onde a ilusão de recursos infinitos é mais forte, devido à vastidão das florestas remanescentes relativas à perspectiva de qualquer observador individual e do ainda poderoso mito dos eldorado escondidos em toda parte.

Ao estudar a capacidade de suporte, fica bem claro que o potencial agrícola de cada hectare na Amazônia é limitado. Sem considerar a que nível a produção agrícola se torna limitada, o tamanho finito da região implica na capacidade limitada da Amazônia como panacéia para os problemas nacionais que crescem exponencialmente. Puramente como ilustração, se alguém fizer a suposição, altamente improvável, de que a área total de cinco milhões de quilômetros quadrados da Amazônia legal brasileira fosse dividida, equitativamente, em lotes de 100 hectares (1 km<sup>2</sup>), como foi feita nas áreas de colonização da rodovia Transamazônica, apenas 5 milhões de famílias, ou por volta de 25 milhões de pessoas, a 5 pessoas/família, encheriam toda a região. Isto representa um pouco menos que o crescimento de 8 anos na população brasileira de 119 milhões, em 1980, aumentando à taxa atual de 2,4% ao ano. Cuidadosos ajustamentos dos tamanhos dos lotes para encaixar com a capacidade de suporte alteraria tal cálculo e traria os muitos benefícios de tais estimativas, mencionadas anteriormente; porém, as implicações de recursos finitos da terra para a política populacional são evidentes mesmo sem tais estudos. O relacionamento entre tamanho da população, distribuição de posse de terra e limitações de produção de agroecossistemas sustentáveis formam um sistema interligado

com implicações para qualquer objetivo de desenvolvimento a longo prazo. A estimativa da capacidade de suporte, através de modelos de simulação estocástica, é um instrumento valioso para alcançar tais objetivos.

### ABORDAGEM PROBABILÍSTICA À CAPACIDADE DE SUPORTE HUMANO

Quaisquer planos para evitar que a capacidade de suporte seja ultrapassada seriam improváveis de serem feitos e menos aptos a terem sucesso sem estimativas confiáveis da capacidade de suporte sustentável. Estudos sobre a capacidade de suporte estão assim vinculados aos destinos daqueles que serão obrigados a viver com as conseqüências futuras da presente corrida para converter as áreas remanescentes de ecossistemas naturais em agroecossistemas pouco compreendidos e, menos ainda, controlados.

Uma das principais limitações das tentativas passadas de estimar a capacidade de suporte vem sendo a suposição de que processos relevantes são determinísticos, ou tendo resultados definidos, dadas as condições iniciais. Normalmente, valores médios para os parâmetros relevantes são usados: por exemplo, para calcular a população sustentável para um sistema de agricultura itinerante, dados os tempos especificados de cultivo e descanso da terra e valores médios, para produções agrícolas por área, consumo e necessidades nutricionais<sup>6</sup>. A variabilidade nestes parâmetros e em vários fatores ecológicos e sociais dos quais estes são derivados é, em si, um fator importante em restringir a capacidade de suporte. A agricultura tropical é geralmente caracterizada por safras que variam grandemente de um ano para outro e entre propriedades individuais em qualquer dado ano. Até quando as médias das safras são razoavelmente altas, muitos indivíduos fracassarão em atingir o padrão mínimo de consumo. Pode-se esperar que a probabilidade de um agricultor fracassar em atingir estes padrões

amente com a densidade populacional, em algumas faixas de valores de densidade, dentro da qual a produção agrícola falha em acompanhar o crescimento da população e os efeitos da população são manifestados na degradação do ambiente, inclusive da base de recurso agrícola. Em densidades muito baixas, o resultado oposto resultaria em probabilidades de fracasso, devido a uma espécie de "efeito de Allee": o padrão comum a muitas espécies de organismos por onde aptidão é reduzida a densidades abaixo de um nível mínimo crítico. Com o aumento da densidade populacional, a probabilidade de fracasso cairia de um valor perto de 1,0 (indicando fracasso certo) a um nível muito menor e, eventualmente, aumentaria até aproximar-se de 1,0 quando chegar a uma densidade alta. Capacidade de suporte é melhor definida operacionalmente em termos de tal gradiente de probabilidade de fracasso individual, ou "fracasso de colono" para as falhas a nível de família utilizadas em modelos desenvolvidos para a rodovia Transamazônica (23). Probabilidades de fracasso representam as proporções de colonos com consumo abaixo de níveis específicos ou em lotes nos quais quaisquer critérios de qualidade ambiental não são alcançados, quando uma população simulada habita uma área durante um longo período de anos.

A capacidade de suporte é calculada como a densidade de população correspondente à probabilidade de fracasso máximo aceitável, um valor que pode ser fixado pelo usuário do modelo, por exemplo de acordo com os objetivos dos planejadores, ou com percepções da população agrícola em questão, dependendo do propósito da estimativa da capacidade de suporte.

O propósito da estimativa da capacidade de suporte, como em qualquer campo de empenho intelectual, é o fator primário dando forma ao caminho usado em estimar e selecionar partes componentes a serem incluídas no estudo. A importância da variabilidade para os sistemas de agricultura tropical e a perspectiva humana de padrões de vida em termos de consumidores individuais, em vez de estatísticas agregadas, apontam para modelos estocásticos como um caminho apropriado para muitos estudos de capacidade de suporte humano, tanto normativos quanto explanatórios. Modelos estocásticos permitem a possibilidade de mais de um resultado, mudança em estados sendo descritas por probabilidades menores que 1,0. O comportamento dos modelos será probabilístico.

6. Por exemplo, as fórmulas de capacidade de agricultura migratória, algebricamente intercambiáveis, projetadas por Allan (1), Conklin (8), Carneiro (6), Gourou (28) e Fearnside (13). Ver a revisão de Faechem (10) e discussão da evolução e críticas do conceito em Fearnside (23).

## MODELAGEM ESTOCÁSTICA DE ECOSISTEMAS HUMANOS

Um modelo é uma “formulação que imita um fenômeno real, por meio do qual predições podem ser feitas” (42: 6). Em outras palavras, é um análogo do sistema real utilizado para investigá-lo sob diferentes circunstâncias. Os modelos podem ser de diversos tipos, desde “modelos mentais” utilizados diariamente por todos para julgar o resultado final de interações sociais e outras, até modelos físicos, que representam um sistema de forma concreta que possa ser manipulada e visualizada em escala humana, até modelos matemáticos ou analíticos representando um sistema por um conjunto de equações. Modelos analíticos, tais como as equações exponenciais e logísticas, para descrever crescimento populacional têm a vantagem, para muitos propósitos, de dar resultados quantitativos; mas a matemática atual é capaz apenas de resumir os processos ecológicos mais rudimentares desta maneira, muitas vezes somente após deixar de fora muitos aspectos relevantes dos sistemas sob estudo, devido à dificuldade de representação. Isto é particularmente verdadeiro quanto aos aspectos estocásticos.

Modelos nunca imitam sistemas inteiros, mas apenas fazem aproximação do comportamento de certos aspectos dos mesmos. Simplificações massivas na construção de qualquer modelo limita tremendamente o raio de resultados, mas têm vantagens, pois facilitam a interpretação de resultados a baixos custos, equilibrando contra a perda de realismo das partes omitidas. A escolha de elementos e relacionamentos a serem incluídos em um modelo deve ser guiada pela importância dos diferentes elementos quanto aos aspectos do comportamento do sistema em estudo: o propósito do modelo e os papéis dos componentes devem ser sempre as considerações mais importantes, ao invés da facilidade de coleta de dados ou de inclusão em um tipo específico de modelo preexistente. Distorções nos relacionamentos do sistema para um modelo disponível conveniente são conhecidos como “a cama de Procrusto”, baseado no gigante mítico de Ática que esticava ou desmembrava viajantes hospedados no seu albergue, para que estes coubessem em uma cama de ferro. Uma das mais simples simplificações feitas nos modelos é desprezar efeitos estocásticos, presumindo que relaciona-

mentos matemáticos determinísticos representem adequadamente o comportamento de um sistema real. O nível de exame é um fator chave para julgar se este tipo de simplificação é justificável, já que é característico dos sistemas em geral, nos quais, se subdivididos o suficiente, os elementos de interesse eventualmente se tornam estocásticos (30, p. 300). Modelos estocásticos e determinísticos não são mutuamente exclusivos, ambos os tipos podem ser apropriados para um dado problema (44). Como limitações pragmáticas impostas por custo e disponibilidade de memória de computador continuam a diminuir, aspectos estocásticos certamente ganharão maior proeminência em modelos ecológicos.

Simulação é agora um uso comum de modelos de ecossistemas, ambos determinísticos e estocásticos<sup>7</sup>. Às simulações falta a elegância das soluções analíticas, mas têm grande vantagem na facilidade de construção e flexibilidade de representação de fenômenos mais complexos. Uma simulação é o uso de um modelo para prover soluções empíricas às equações inclusas, para obter informações sobre a resposta do modelo a conjuntos específicos de parâmetros de entrada: experiências podem ser realizadas através de manipulação do modelo de simulação em vez do sistema real em si. Computadores fizeram deste caminho uma solução barata e prática para pesquisadores de vários campos, incluindo a estimativa da capacidade de suporte.

Os modelos de simulação apresentam vantagens distintas para uso pelos pesquisadores e planejadores. As simulações são quantitativas e rápidas. Elas também são repetíveis, aumentando as chances de que erros na estrutura do modelo ou dos parâmetros de entrada sejam descobertos e retificados tanto pelo pesquisador quanto pela comunidade científica como um todo. Simulações têm a vantagem adicional, especialmente sobre argumentos verbais baseados em modelos mentais, de impor uma certa disciplina sobre o pesquisador ao forçar considerações de todos os componentes e relacionamentos funcionais incluídos no modelo. A necessidade de medidas quantitativas de todos os elementos faz com que seja mais difícil omitir ou camuflar ver-

7. Ver as seguintes discussões da evolução e antecedentes intelectuais de modelagem Watt (47), Patten (43), D.L. Meadows *et al.* (35, p. 3-26), Innis (30), e observação dos compiladores em Shugart & O'Neill (45).

balmente partes fracas de um argumento, tanto ao pensar cuidadosamente sobre a formulação original quanto em apresentações subseqüentes. Simulação pode produzir informações sobre situações hipotéticas que, se investigadas através de experimentos em sistemas reais, seriam impraticáveis devido à excessiva necessidade de tempo e outros recursos, ou por razões éticas e outras. Estudos envolvendo sociedades humanas são, particularmente, mal adaptados a experimentos tradicionais manipulativos, fazendo da simulação uma escolha altamente vantajosa.

Modelos de simulação também têm grande utilidade como uma armação para interpretar novas informações, podendo ser alterados e expandidos para refletir mudanças, tais como decisões de políticas governamentais ou inclusão de novos componentes e melhores medidas de parâmetros e relacionamentos funcionais. A revisão de resultados para refletir a nova informação é muito mais fácil, rápida e confiável do que no caso de outros métodos.

Finalmente, a construção de modelos de simulação força um exame de perto dos motivos da modelagem, sendo que o objetivo básico de qualquer esforço de modelagem é, ou deveria ser, o critério primário para as muitas escolhas que pesquisadores devem fazer, tanto em catar as informações para inclusão como em alocação do esforço de aquisição de dados e de modelagem. Apesar deste ideal freqüentemente não ser alcançado por práticas individuais, há necessidade de dar consideração aos objetivos de pesquisa muitas vezes durante o curso do projeto de modelagem, para ajudar a focalizar a atenção na validade destes objetivos, assim como na metodologia usada para atingi-los.

O uso de modelos de simulação tem vantagens especiais no planejamento do desenvolvimento. Uma vantagem primária está em forçar planejadores a encontrar implicações das estratégias de desenvolvimento defendidas, já que os resultados de simulações contêm, caracteristicamente, projeções das tendências futuras das variáveis de estado, das políticas e condições especificadas. Projeções deste tipo ajudam a aumentar o horizonte de tempo do planejador, desencorajando a tendência prevalecente de considerar apenas o equilíbrio de custo e benefícios a curto prazo nas decisões de planejamento.

A modelagem de simulação coloca as recomendações de planejamento numa forma na qual qualquer refutação deve ser cuidadosamente considera-

da. Recomendações não estão sujeitas a uma rejeição causal tanto quanto opiniões espaldadas apenas por argumentos verbais, por duas razões: primeira, a construção de modelos transforma opiniões em declarações testáveis — se alguém não concorda, o modelo pode ser alterado e serem obtidas conseqüências da formulação alternativa; segunda, a modelagem deve ser baseada numa seqüência lógica de argumentação. Cada resultado individual representa uma corrente de arrazoados dedutivos para os quais se aplicam as regras do silogismo clássico: se a estrutura do modelo é (logicamente) válida<sup>8</sup>, e se a informação incorporada no modelo de seus parâmetros de entrada também correspondem à realidade, então a conclusão deve ser aceita como verdadeira. O argumento não pode ser com a frase “Eu aceito seus modelos e seus dados, mas não suas conclusões”. Se a conclusão deve ser rejeitada, então alguma falha — ou na lógica do argumento, ou na verdade de suas premissas — deve ser encontrada (26: 102). É importante notar que o uso de resultados simulados individuais para obter conclusões é um processo indutivo que, apesar de faltar o rigor das porções dedutivas do processo, pode ser feito obedecendo aos mesmos padrões, como normalmente aplicado em tais conclusões na ciência. Estimativa dos parâmetros de entrada e decisões com relação à estrutura do modelo são também, geralmente, baseados na indução.

Muitas decisões de planejamento são feitas numa atmosfera de objetivos e opiniões conflitantes sobre como funcionam os sistemas afetados. Inconsistências internas na mente do planejador ou tomador de decisões podem muitas vezes levar a decisões ineficazes ou, pior ainda, contraprodutivas. No Brasil, uma longa tradição de manter mandatos sobrepostos e conflitantes de diferentes órgãos governamentais (5) faz da inconsistência um problema especialmente agudo. O processo de construção de modelos requer um exame da visão implicada da estrutura do sistema para fazer o modelo internamente consistente. Uma demonstração

8. O termo “válido” tem um sentido diferente para lógicos e modeladores. Em lógica, um argumento é válido se o raciocínio é correto, independente da “verdade” (correspondência à realidade) ou não das premissas. Modeladores falam de “validar” um modelo (7) significando verificar a concordância de aspectos relevantes do modelo com a realidade.

clara de que conseqüências resultam de cada conjunto possível de preceitos iniciais é um processo importante em encorajar estratégias de desenvolvimento mais coerentes, com maiores chances de atingir os objetivos de desenvolvimento. Visões conflitantes do que possa resultar das diferentes ações podem ser peneiradas para identificar aquelas que seguem como conseqüências lógicas das que foram concordadas sobre objetivos e “fatos”. Além disso, resultados não antecipados podem algumas vezes ser descobertos. Forrester (27) enfatiza o valor das simulações em descobrir comportamentos contra-intuitivos potenciais em sistemas, conseqüências que seriam, de outra forma, qualificadas como impensáveis e então não encaradas seriamente. Ao mesmo tempo, simulação tem sido muitas vezes criticada como uma perda de esforços para geralmente produzir resultados que confirmam a intuição. Até em casos onde a intuição é confirmada, a modelagem tem a utilidade de permitir o exame do valor das diferentes intuições defendidas por diferentes pessoas, entre outros benefícios. Minha própria, talvez falha, intuição não tem previsto sempre os resultados obtidos através de minhas simulações.

Simulações de computadores têm sido criticadas como meios de esconder argumentos simples atrás de uma máscara de ornamentação e complexidade desnecessária: “uma massa stalinista de letras maiúsculas agrupadas apertadamente”, como Berlinski (2: 55) descreve os modelos mundiais de Forrester (27) e Meadows *et al.* (34). O uso de complexidade para esconder, onde quer que exista, deve ser condenado na modelagem assim como em qualquer campo. Intenção de esconder, entretanto, não jaz necessariamente atrás da complexidade do modelo. Na minha opinião, a necessidade de menção explícita de cada passo no procedimento de cálculo mandado por programação de computador reduz, em vez de aumentar, a chance de dissimulação. Programas representam uma ajuda, em vez de impedimento ao entendimento de problemas complexos.

Existe o perigo de audiências não críticas aceitarem resultados simulados não justificados por dados disponíveis para quantificar os parâmetros e selecionar uma estrutura de modelo apropriado. O dito “lixo entra, lixo sai”, enfatiza a falta de validade de resultados computados não baseados em parâmetros reais.

A rapidez e flexibilidade de modelos de simulação fazem com que sejam, potencialmente, a ferramenta mais efetiva para lidar com as mudanças frequentes nas políticas de desenvolvimento oficiais. Na Amazônia brasileira, recomendações governamentais constantemente modificadas significam que quase toda política já é rejeitada oficialmente, antes que possa ser criticada com base em dados, apesar de, freqüentemente, não ser rejeitada antes de causar mudanças ambientais e sociais significativas. Por exemplo, o programa de colonização para pequenos produtores baseado no cultivo de arroz sequeiro foram desenfaturados (em 1974), em favor de grandes empresas pecuaristas, baseadas em pastagens de capim colômbio (*Panicum maximum*), não fertilizado, decorridos apenas 3 anos da iniciativa da colonização da rodovia Transamazônica. A recomendação do capim colômbio não fertilizado, introduzida como uso “sustentável” da terra, erradamente encarada como promotora da qualidade do solo para crescimento de pasto (11, 12; ver 15, 19), foi abandonada em 1977 em favor do pasto de colômbio fertilizado. Dois anos depois, a preferência oficial mudou para o capim quicuío da Amazônia (*Brachiaria humidicola*) e, no mesmo ano, novos incentivos fiscais foram interrompidos para pastos na parte da Amazônia oficialmente classificada como floresta alta. Incentivos para pastagens continuam existindo para os muitos projetos já aprovados na área da floresta alta, assim como para novos e antigos projetos na grande área classificada como floresta de transição. A diminuição no suporte oficial ativo tem, freqüentemente, pouco impacto no impulso de desenvolvimento já em ação. Pequenos agricultores continuam a chegar à região, especialmente em Rondônia, sem o encorajamento do governo. Capim colômbio não fertilizado continua a ser plantado como escolha comum em áreas de floresta de terra firme, sendo estas ainda rapidamente desmatadas por toda a Amazônia. O processo de simulação permite rápidas avaliações das conseqüências de recomendações propostas e discrepâncias entre resultados baseados em julgamentos de pronta aplicação sobre todas as mudanças recomendadas e, mais provavelmente, cenários com aplicações. Idealmente, cursos de ações poderiam ser evitados antes que planos de desenvolvimento maciços fossem montados e se tomassem ações em direções não sábias.

## O MODELO KPROG2 PARA A RODOVIA TRANSAMAZÔNICA

Um modelo de simulação estocástica, KPROG2, tem sido escrito para estimar a capacidade de suporte numa área de colonização da rodovia Transamazônica (14, 17, 23). O modelo pretende permitir avaliação de fatores que afetam a capacidade de suporte em áreas de agricultura tropical. Especificamente, o modelo KPROG2 é pensado para investigar o efeito da variabilidade nas produções das culturas e em fatores que afetam as produções. Como benefício suplementar ao esforço de modelagem, espera-se que a informação obtida seja útil para o desenvolvimento de métodos de estimativa da capacidade de suporte humano que possam servir como instrumento para o planejamento do desenvolvimento em áreas tropicais. Para esta finalidade, alguns aspectos têm sido incorporados para relaxar várias suposições restritivas, limitando a utilidade das técnicas passadas. O modelo e seus dados de entrada são baseados em pesquisa de campo, fato considerado mais importante que a complexidade e a capacidade de programa.

O modelo KPROG2 calcula as probabilidades de falha do colono necessária para estimar a capacidade de suporte de acordo com a definição operacional da capacidade de suporte, em termos de um gradiente de probabilidade de fracasso do colono com o aumento da densidade populacional (dentro da faixa de densidade apropriada). "Fracassos" são julgados relativos ao grupo de critérios de consumo e do ambiente, em vez de um só fator limitante. O setor populacional do modelo pode ser congelado para testar efeitos de diferentes densidades populacionais fixas, pela mudança do tamanho de lotes dos colonos simulados. Alternativamente, uma opção pelo setor populacional dinâmico permite que a população simulada mude de acordo com os padrões observados ou presumidos.

Mudanças tecnológicas estão incluídas na forma de aumentos (opcionais) de produção das culturas esperados de programas agrônômicos de melhoria genético de sementes, e na forma de mudanças nas proporções de colonos adotando diferentes estratégias de uso da terra, refletindo padrão de mudança observado com a substituição dos colonos (21). Os colonos simulados também podem aprender a ajustar alocações de culturas de subsis-

tência com relação à média e à variância de produções obtidas na área simulada.

A qualidade do solo é modelada para refletir a heterogeneidade que caracteriza a rodovia Transamazônica e muitas outras áreas tropicais. Tanto as informações iniciais sobre a qualidade do solo e a qualidade do solo quando mudada através dos muitos possíveis tratamentos agrícolas e de alqueive (pousio), são arquivados separadamente para diferentes "pedaços" de terra. Tempos de descanso (pousio) da terra são variáveis, de acordo com as práticas observadas, em vez de usar tempos fixos que sejam presumidos como adequados para regenerar a qualidade do solo degradado (apesar de tal suposição poder ser especificada, se desejada). A qualidade variável de queima de roçados de colonos, uma característica importante na agricultura da área, é ligada ao tempo e comportamento de desmatamento (25). A erosão também é predita a partir do clima, solo, topografia e uso da terra (19). Os colonos simulados usam fertilizante e calcário nas duas culturas onde os colonos reais usam estes insumos, pimenta-do-reino e cacau (14, 20).

As produções agrícolas são afetadas pelo comportamento do colono com respeito a plantações intercaladas, variedade de semente e densidade de plantio, assim como por efeitos de doenças vegetais, ratos, insetos e outros problemas dependendo da cultura específica. As colheitas incluídas são arroz sequeiro, milho, feijão (*Phaseolus*), feijão-de-corda (*Vigna*), mandioca-brava, macaxeira, cacau, pimenta-do-reino e pastagens.

O comportamento econômico do colono simulado reflete estratégias de uso da terra e alocação de mão-de-obra que são associados com tipos distintos de colonos, classificados de acordo com um esquema derivado da tipologia de antecedentes de colonos disposta por Moran (38). Mão-de-obra e capital limitam o uso da terra disponível ao colono simulado, razão pela qual os suprimentos de cada um são subdivididos por estação (21). Problemas de saúde afetam a disponibilidade de mão-de-obra familiar e têm sido, algumas vezes, um problema severo na rodovia Transamazônica. Financiamentos, assim como fontes de renda não agrícolas, suplementam a renda monetária proveniente da venda da produção agrícola, e podem ser usados para pagamentos de mão-de-obra ou compra de bens para consumo ou investimento. Alguns pára-choques protegem o colono de fracasso se as colheitas forem insuficientes para suprir todas as necessida-

des de subsistência. Quando os pára-choques são insuficientes para compensar uma produção menor, os colonos não atingem os padrões especificados de consumo, resultando nos fracassos dos colonos simulados utilizados para computar as probabilidades de fracasso, para fins de estimar a capacidade de suporte.

### DIREÇÕES FUTURAS DA METODOLOGIA PARA ESTIMAR A CAPACIDADE DE SUPORTE

O programa KPROG2 representa o ponto inicial de vários melhoramentos possíveis na base teórica da estimativa da capacidade de suporte. Muito pode ser feito para elaborar os impactos causados pelos efeitos sociais. Informação comportamental mais detalhada sobre decisões relacionadas à venda e abandono dos lotes e decisões reprodutivas melhorariam o realismo. O papel vital dos valores da terra e da especulação imobiliária em motivar as ações do colono necessitam ser modelados. Uma boa separação dos processos componentes da mudança social fortaleceria o modelo. Modelos mais abrangentes devem elaborar as ligações da área agrícola com o setor urbano, assim como os conflitos de posse da terra e forças políticas afetando as decisões de política institucional.

Uma melhor modelagem de decisões incluiria um equilíbrio de aversão de riscos com custos de oportunidade em alocação de culturas de subsistência e comércio. O programa atual inclui amortecedores em alocações de subsistência para reduzir o risco de malogros, mas a variabilidade extrema de produção em algumas culturas é às vezes tão significativa que os colonos preferem depender de compras — por exemplo, de feijão — para suprir as necessidades de subsistência destes produtos. O custo de oportunidade em termos do que poderia ser ganho em um dado espaço de terra ao plantar uma cultura de valor comercial pode tornar-se suficiente para induzir o colono a abandonar o objetivo de auto-suficiência completa. Percepções variáveis de riscos e respostas apropriadas podem também ser importantes.

É necessário mais informações quanto ao efeito do solo sobre a produção das culturas, e sobre mudanças no solo, principalmente durante o período de alqueive. Melhor conexão é necessária nas decisões simuladas sobre o uso da terra, com a qualidade do solo e história do local, especialmente as maneiras em que estes afetam a transformação da

área de culturas anuais para pastagens e, em menor escala, para culturas perenes. Incluindo mais culturas e tipos de habitats, assim como outros poderes de posse de terra e efeitos institucionais, também aumentariam a generalidade e o realismo.

É necessária a construção de uma série de modelos de simulação, a diferentes níveis de detalhamento, para responder a outras questões sobre capacidade de suporte. Modelos mais altamente agregados devem ser incluídos para simulações regionais. O problema de agregação e complexidade em modelos deve ser encarado por modeladores trabalhando em qualquer campo. Modelos em qualquer extremo da série contínua de possíveis níveis de agregação, seja o extremo de modelos globais altamente agregados ou o de estudos de casos detalhados em pequenas áreas, têm utilidade limitada para auxiliar decisões práticas de planejamento. Maior progresso deve ser feito ao preencher as lacunas nesta série contínua com modelos aos níveis de análises sobre os quais as pessoas, decidindo, devem agir.

Muito ainda deve ser feito antes que a estimativa da capacidade de suporte se torne um instrumento prático para os planejadores de desenvolvimento. KPROG2 é apenas um começo. Uma redução maior nas exigências de dados para fazer estimativas é uma alta prioridade para permitir aplicações, suficientemente rápidas e baratas, em outras áreas. Até um certo ponto isto pode ser conseguido ao usar dados disponíveis de fontes que não sejam de campo, ou ao presumir que a informação coletada em uma localidade possa ser retida para uso em outras áreas semelhantes. Economias de tais pessoas devem ser avaliadas com relação à perda de confiabilidade. Um segundo caminho para reduzir a necessidade de dados é a simplificação de modelos, para que menos parâmetros necessitem ser especificados. Modelos mais complexos fazem um papel de modelos de referência contra os quais o comportamento relevante de suas contrapartes mais simples podem ser comparadas. É preciso cuidado em tal processo, já que a robustez se perde com a remoção da estrutura latente do modelo, ou aquelas partes que desempenham seu papel, quando variáveis, estão fora de seus raios de ação normais. Para dar um exemplo de um projeto de modelagem determinística bastante conhecido, o modelo WORLD3 do estudo *Limites de crescimento* (34, 35) produz resultados em execuções padronizadas com pouca diferença daque-

les obtidos de uma versão bastante simplificada do mesmo modelo, com a maioria do seu setor agrícola removido (46). Entretanto, objetivos dos esforços de modelagem do WORLD3 centralizaram-se em torno de comparação de execuções com valores de parâmetros fora destas faixas-padrões, para as quais referidas simplificações seriam inapropriadas (33). Simplificações que envolvem mudanças num nível de agregação do modelo, se não mudam o modo de comportamento completamente, podem mudar a maneira como os resultados ocorrem. Isto é evidente pelas diferenças entre resultados do WORLD3 e os modelos mundiais menos agregados de Mesarovic-Pestle (36, 37).

Junto com as simplificações justificáveis na modelagem e aquisição de dados, KPROG2 pode ser adaptado para maior utilidade como um instrumento de planejamento, ao serem adicionadas mais características para aprimorar a flexibilidade do modelo e aumentar a facilidade do uso para a análise de cenários e aplicações de *gaming* (metodologia de jogos).

Para estimação em áreas mais vastas da Amazô-

nia brasileira, são necessárias adaptações para permitir melhor uso da informação de fontes de dados de levantamentos disponíveis, tais como aquelas obtidas pelo projeto RADAM (Radar na Amazônia) (3), a interpretação das imagens do satélite LANDSAT, e o censo agropecuário (4). São necessários bancos de dados apropriados com capacidade de dar acesso interativo a informações específicas. Coleta de dados e procedimentos de processamento devem ser alinhados para suprir estimativas de parâmetros a partir de pesquisas de campo (24).

Progresso em direção a estes objetivos devem ser alcançados com um equilíbrio apropriado entre a coleta de dados e o esforço de modelagem. O projeto do INPA de estimativa de capacidade de suporte de agroecossistemas amazônicos está atualmente trabalhando para melhorar a base teórica e prática para a estimação de capacidade de suporte na rodovia Transamazônica no Pará, e na rodovia Marechal Rondon (Cuiabá-Porto Velho) em Rondônia.

## REFERÊNCIAS

- Allan, W. 1949. Studies in African land usage in Northern Rhodesia. *Rhodes Livingstone Papers.*, 15: 1-24.
- Berlinski, D. 1976. *On systems analysis: an essay concerning the limitations of some mathematical models in the social, political, and biological sciences.* Cambridge (Massachusetts), M.I.T. Press. 186 p.
- Brasil. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Natural. Projeto RADAMBRASIL. 1973-79. *Levantamento de recursos naturais.* Rio de Janeiro, Departamento de Produção Mineral, v. 1-18.
- Brasil. Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 1981. *Censo agropecuário.* Rio de Janeiro, IBGE.
- Bunker, S.G. 1979. Power structures and exchange between government agencies in the expansion of the agricultural sector. *Studies in Comparative International Development.*, 14(1): 56-57.
- Carneiro, R.L. 1960. Slash-and-burn agriculture: a closer look at its implications for settlement patterns. In: Wallace, A.F.C. org. *Men and cultures: selected papers of the Fifth International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences, September 1956.* Filadélfia, University of Pennsylvania Press, p. 229-234.
- Caswell, H. 1976. The validation problem. In: B.C. Patten, B.C. org. *Systems analysis and simulation in ecology.* Nova York, Academic Press, v. 4, p. 313-325.
- Conklin, H.C. 1959. Population-land balance under systems of tropical forest agriculture. *Proceedings of the Ninth Pacific Science Congress (Bangkok, 1957)*, 7: 63.
- Davis, S. 1977. *Victims of the miracle: development and the Indians of Brazil.* Cambridge, Cambridge University Press, 205 p.
- Faechem, R. 1973. A clarification of carrying capacity formulae. *Australian Geographical Studies*, 11: 234-236.
- Falesi, I.C. 1974. O solo na Amazônia e sua correlação com a definição de sistemas de produção agrícola. In: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA). *Reunião do Grupo Interdisciplinar de Trabalho sobre Diretrizes de Pesquisa Agrícola para a Amazônia (Trópico Úmido), Brasília, Maio 6-10, 1974.* Brasília, EMBRAPA, v. 1, p. 2.1-2.17.
- Falesi, I.C. 1976. Ecosistema de pastagem cultivada na Amazônia brasileira. *Boletim Técnico do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU).* Belém, 193 p.
- Fearnside, P.M. 1972. An estimate of carrying capacity of the Osa Peninsula for human populations

les obtidos de uma versão bastante simplificada do mesmo modelo, com a maioria do seu setor agrícola removido (46). Entretanto, objetivos dos esforços de modelagem do WORLD3 centralizaram-se em torno de comparação de execuções com valores de parâmetros fora destas faixas-padrões, para as quais referidas simplificações seriam inapropriadas (33). Simplificações que envolvem mudanças num nível de agregação do modelo, se não mudam o modo de comportamento completamente, podem mudar a maneira como os resultados ocorrem. Isto é evidente pelas diferenças entre resultados do WORLD3 e os modelos mundiais menos agregados de Mesarovic-Pestle (36, 37).

Junto com as simplificações justificáveis na modelagem e aquisição de dados, KPROG2 pode ser adaptado para maior utilidade como um instrumento de planejamento, ao serem adicionadas mais características para aprimorar a flexibilidade do modelo e aumentar a facilidade do uso para a análise de cenários e aplicações de *gaming* (metodologia de jogos).

Para estimação em áreas mais vastas da Amazô-

nia brasileira, são necessárias adaptações para permitir melhor uso da informação de fontes de dados de levantamentos disponíveis, tais como aquelas obtidas pelo projeto RADAM (Radar na Amazônia) (3), a interpretação das imagens do satélite LANDSAT, e o censo agropecuário (4). São necessários bancos de dados apropriados com capacidade de dar acesso interativo a informações específicas. Coleta de dados e procedimentos de processamento devem ser alinhados para suprir estimativas de parâmetros a partir de pesquisas de campo (24).

Progresso em direção a estes objetivos devem ser alcançados com um equilíbrio apropriado entre a coleta de dados e o esforço de modelagem. O projeto do INPA de estimativa de capacidade de suporte de agroecossistemas amazônicos está atualmente trabalhando para melhorar a base teórica e prática para a estimação de capacidade de suporte na rodovia Transamazônica no Pará, e na rodovia Marechal Rondon (Cuiabá-Porto Velho) em Rondônia.

## REFERÊNCIAS

- Allan, W. 1949. Studies in African land usage in Northern Rhodesia. *Rhodes Livingstone Papers*, 15: 1-24.
- Berlinski, D. 1976. *On systems analysis: an essay concerning the limitations of some mathematical models in the social, political, and biological sciences*. Cambridge (Massachusetts), M.I.T. Press. 186 p.
- Brasil. Ministério das Minas e Energia. Departamento de Produção Natural. Projeto RADAMBRASIL. 1973-79. *Levantamento de recursos naturais*. Rio de Janeiro, Departamento de Produção Mineral, v. 1-18.
- Brasil. Presidência da República. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 1981. *Censo agropecuário*. Rio de Janeiro, IBGE.
- Bunker, S.G. 1979. Power structures and exchange between government agencies in the expansion of the agricultural sector. *Studies in Comparative International Development*, 14(1): 56-57.
- Carneiro, R.L. 1960. Slash-and-burn agriculture: a closer look at its implications for settlement patterns. In: Wallace, A.F.C. org. *Men and cultures: selected papers of the Fifth International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences, September 1956*. Filadélfia, University of Pennsylvania Press, p. 229-234.
- Caswell, H. 1976. The validation problem. In: B.C. Patten, B.C. org. *Systems analysis and simulation in ecology*. Nova York, Academic Press, v. 4, p. 313-325.
- Conklin, H.C. 1959. Population-land balance under systems of tropical forest agriculture. *Proceedings of the Ninth Pacific Science Congress (Bangkok, 1957)*, 7: 63.
- Davis, S. 1977. *Victims of the miracle: development and the Indians of Brazil*. Cambridge, Cambridge University Press, 205 p.
- Faechem, R. 1973. A clarification of carrying capacity formulae. *Australian Geographical Studies*, 11: 234-236.
- Falesi, I.C. 1974. O solo na Amazônia e sua correlação com a definição de sistemas de produção agrícola. In: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA). *Reunião do Grupo Interdisciplinar de Trabalho sobre Diretrizes de Pesquisa Agrícola para a Amazônia (Trópico Úmido)*, Brasília, Maio 6-10, 1974. Brasília, EMBRAPA, v. 1, p. 2.1-2.17.
- Falesi, I.C. 1976. Ecossistema de pastagem cultivada na Amazônia brasileira. *Boletim Técnico do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU)*. Belém, 193 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*. São José (Costa Rica), OTS, p. 468-529.
14. 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. Ann Arbor, University of Michigan, University Microfilms International. 624 p.
  15. Fearnside, P.M. 1979. Previsão da produção bovina na rodovia Transamazônica do Brasil. *Acta Amazonica*, 9(4): 689-700.
  16. Fearnside, P.M. 1979. Desenvolvimento da floresta amazônica: problemas prioritários para a formulação de diretrizes. *Acta Amazonica*, 9(4) suplemento: 123-129.
  17. 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.
  18. Fearnside, P.M. 1980. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia brasileira: consequências para a sustentabilidade de produção bovina. *Acta Amazonica*, 10(1): 118-132.
  19. Fearnside, P.M. 1980. A previsão de perdas de terra através de erosão do solo sob vários usos de terra na área de colonização da rodovia Transamazônica. *Acta Amazonica*, 10(3): 505-511.
  20. Fearnside, P.M. 1980. Black pepper yield prediction for the Transamazon highway of Brazil. *Turrialba*, 30(1): 35-42.
  21. Fearnside, P.M. 1982. Alocação do uso da terra dos colonos da rodovia Transamazônica e sua relação à capacidade de suporte humano. *Acta Amazonica*, 12(3): 549-578.
  22. Fearnside, P.M. 1983. Stochastic modeling in human carrying capacity estimation: a tool for development planning in Amazonia. In: Moran, E.F. org. *The dilemma of Amazonian development*. Boulder, Westview Press, p. 279-295.
  23. Fearnside, P.M. 1986. *Human carrying capacity of the Brazilian rainforest*. Nova York, Columbia University Press, 293 p.
  24. Fearnside, P.M. s.d.(a) Pacote para manejo de dados para estocástica de capacidade de suporte nos trópicos úmidos: programa de computador e documentação. /Em preparação/.
  25. Fearnside, P.M. s.d.(b) Predição da qualidade da queimada na Transamazônica para simulação do agroecossistema em estimativas de capacidade de suporte humano. *Ci. e Cult.* /No prelo/.
  26. Fearnside, W.W. 1980. *About thinking*. Nova Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 405 p.
  27. Forrester, J.W. 1971. *World dynamics*. Cambridge (Massachusetts), Wright-Allen Press, 142 p.
  28. Gourou, P. 1966. *The Tropical World: its social and economic conditions and its future status*. 4. ed. Nova York, Longman, 196 p.
  29. Hammond, A.L. 1977. Remote sensing (I): landsat takes hold in South America. *Science*, 196: 511-512.
  30. Innis, G.S. 1979. A spiral approach to ecosystem simulation. In: Innis, G.S. e O'Neill, R.V. org. *Systems analysis of ecosystems*. (Statistical Ecology Series, v. 9). Fairland, International Co-operative Publishing House, p. 211-386.
  31. Kutcher, G.P. e Scandizzo, P.L. 1980. *The agricultural economy of Northeast Brazil*. (manuscrito). Washington, D.C., The World Bank.
  32. Margalef, R. 1968. *Perspectives in ecological theory*. Chicago, University of Chicago Press, 111 p.
  33. Meadows, D.H. 1977. Discussion. In: Bruchmann, G. org. *MOIRA: food and agriculture model: proceedings of the third IIAS Symposium of Global Modelling, September 22-25, 1975*. Luxemburg, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), p. 273.
  34. Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. e Behrens III, W.W. 1972. *Limites de crescimento*. São Paulo, Editora Perspectiva, 203 p.
  35. Meadows, D.L., Behrens III, W.W., Meadows, D.H., Naile, R.F., Randers, J. e Zahn, E.K.O. 1973. *The dynamics of growth in a finite world*. Cambridge, (Massachusetts), Wright-Allen Press, 637 p.
  36. Mesarovic, M. e Pestle, E. 1974a. *Momento de decisão: o segundo informe ao clube de Roma*. Rio de Janeiro, Livraria Agir Editora, 246 p.
  37. Mesarovic, M. e Pestle, E. org. 1974. *Multilevel computer model of world development system. April 29-May 3, 1974, summary of proceedings*. Luxemburg, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
  38. Moran, E.F. 1976. *Agricultural development in the Transamazon highway*. Bloomington, Indiana University, Latin America Studies Working Papers, 136 p.
  39. Moran, E.F. 1981. *Developing the Amazon*. Bloomington, Indiana University Press, 292 p.
  40. Naill, R.F. 1976. Optimizing models of social systems. *Institute of electrical and electronics engineers (IEEE). Transactions on systems, man and cybernetics*. March 1976. (IEEE Annals No. 603SM007). p. 201-207.
  41. Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*, 164: 262-270.
  42. Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of ecology*, 3. ed. Filadélfia, W.B. Saunders, 574 p.
  43. Patten, B.C. 1971. A primer for ecological modeling and simulation with analog and digital computers. In: Patten, B.C. org. *Systems analysis and simulation in ecology*. Nova York, Academic Press, v. 1, p. 3-121.
  44. Poole, R.W. 1979. Ecological models and stochastic-deterministic question. In: Patil, G.P. e Rosenzweig, M.L., org. *Contemporary quantitative ecology and related econometrics*. (Statistical Ecology Series, v. 12). Fairland, International Co-operative Publishing House, p. 251-269.
  45. Shugart, H.H. e O'Neill, R.V. 1979. *Systems ecology*. (Benchmark Papers in Ecology v. 9). Stroudsburg, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., 368 p.

46. Thissen, W. 1977. An analysis of the World 3 agricultural submodel. In: Bruchmann, G. org. *MOIRA: food and agriculture model: proceedings of the Third IIASA Symposium on Global Modelling, September 22-25, 1975*. Laxemburg, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), p. 255-271.
47. Watt, K.E.F. 1966. The nature of systems analysis.

In: Watt, K.E.F. org. *Systems analysis in ecology*. Nova York, Academic Press, p. 1-14.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço a Luís Carlos Joels, Newton Leal Filho e Ronaldo Gomes Chaves pela correção do português. Agradeço o Westview Press pela permissão de publicar esta tradução (22).