

CAPÍTULO 3: CRESCIMENTO POPULACIONAL E A CAPACIDADE DE SUPORTE

POPULAÇÃO HUMANA EM COMUNIDADES ECOLÓGICAS

Os seres humanos extraem virtualmente todo seu sustento de comunidades ecológicas, exploradas tanto em seu estado natural como modificadas em agro-ecossistemas, ou seja ecossistemas que incluem culturas e outros organismos usados para suprir as necessidades humanas. Os seres humanos se tornam uma parte desses ecossistemas por ser tanto um componente significativo das cadeias alimentares do sistema como o agente de intervenção para aumentar os fluxos de energia e de material em partes do sistema diretamente úteis às pessoas. Como acontece com todos os sistemas, alguns elementos e caminhos nesses sistemas são extremamente sensíveis a tais intervenções humanas, enquanto outros são altamente resistentes.

A maioria das atividades agrícolas retrocedem às tendências naturais da sucessão ecológica para um estágio anterior, por exemplo, a substituição da floresta por gramíneas. Os primeiros estágios de sucessão têm a vantagem de uma diferença maior entre a produtividade primária bruta (a energia fixada em compostos de carbono pelas plantas através da fotossíntese) e a respiração da comunidade (energia liberada por plantas e animais), deixando maiores produções líquidas para os seres humanos. As plantas herbáceas, características dessas fases iniciais também têm a vantagem de converter uma proporção maior da energia disponível, em sementes consumidas pelos humanos e entregando sua produção com um mínimo de demora, normalmente em menos de um ano. Os programas de melhoramento genético de culturas (também mais fáceis com culturas anuais) aumentaram grandemente a produção para os seres humanos.

Manter os ecossistemas em um estado de pré-climax, isto é, em um estado no qual as plantas e os animais ainda não são capazes de manter sua população em um equilíbrio estável durante um longo período, requer um insumo constante de energia para reverter a tendência do domínio de espécies menos produtivas para os humanos. A capina manual é o método mais direto e também o mais laborioso. A queima periódica da vegetação secundária ou pasto crescido requer uma energia humana muito menos direta, quando a sucessão progrediu mais. A própria combustão libera muita energia, como também o faz a queima da floresta primeira durante a conversão inicial para usos agrícolas.

O insumo para as operações agrícolas na forma de combustíveis fósseis, a maneira mais importante de subsídio de energia em regiões temperadas, está aumentando nos trópicos através das culturas e práticas de manejo da "revolução verde" (AAAS, 1975). Alterar os fluxos de energia dentro dos sistemas agrícolas através desses subsídios tem sido uma estratégia importante para aumentar as saídas para os humanos: também resultou em uma grande dependência sobre a disponibilidade contínua do subsídio de energia (H.T. Odum, 1971, 1983).

Os ciclos de nutrientes nos agro-ecossistemas são geralmente mais abertos do que aqueles das comunidades de climax que eles substituem. Alguns nutrientes "vazam" do sistema devido aos mecanismos de reciclagem mais limitados, enquanto que outros são removidos através da colheita da produção. Quando os nutrientes são lixiviados além do alcance dos sistemas superficiais de raízes das plantas cultivadas, eles podem até um certo ponto ser retornados à superfície pelas raízes mais profundas das espécies de vegetação secundária lenhosa durante um período de pousio. A taxa de aumento na biomassa da vegetação secundária relativamente mais rápida durante as fases iniciais de sucessão, faz com que seja mais eficiente cortar capoeira em locais de pousio antes que a rebrota comece a diminuir (Ahn, 1979). Os estoques de nutrientes na vegetação nunca são, por isso, completamente repostos. Os estoques de nutrientes se tornam progressivamente esgotados à medida em que o ciclo de cultivo e pousio continua, levando a uma rebrota mais vagarosa. Os intervalos de pousio precisam alongar-se para alcançar os requisitos de altura para o corte e a queima. A concentração de estoques importantes de nutrientes na vegetação em florestas e capoeiras tropicais torna esses sistemas particularmente vulneráveis à quebra do equilíbrio dos nutrientes. O corte e a queima da vegetação é quase sempre uma parte do uso agrícola das áreas de floresta úmida tropical, em contraste com os ecossistemas temperados onde os estoques mais importantes de nutrientes no solo são raramente perturbados propositalmente na conversão para a agricultura.

Muitas interações ecológicas de ecossistemas não modificados são manipuladas em agro-ecossistemas. A resposta densidade-dependente das populações de predadores à disponibilidade de presas, por exemplo, pode controlar os ataques de pragas. Esse tipo de controle biológico é algumas vezes introduzida propositalmente como uma maneira de restaurar relações chaves de alimentação que limitam as flutuações nos ecossistemas naturais mais diversificados.

O problema do controle das pragas nos sistemas agrícolas

é acentuado pelo fato de que os humanos produziram variedades de culturas para remover a maioria dos químicos tóxicos naturais e outros mecanismos de defesa (Janzen, 1972c, 1973a). A resposta normalmente tem sido substituir as defesas químicas naturais das plantas por aplicação de pesticidas. Os pesticidas, por sua vez, causam uma série de efeitos biológicos nos ecossistemas tratados, bem como nos ecossistemas para os quais os mais persistentes dos compostos são futuramente transferidos. Pequenos agricultores nos trópicos do Novo Mundo usam muito pouco pesticida químico, embora a entrada de novas culturas comerciais e os esforços de extensão agrícola estão fazendo com que seu uso aumente.

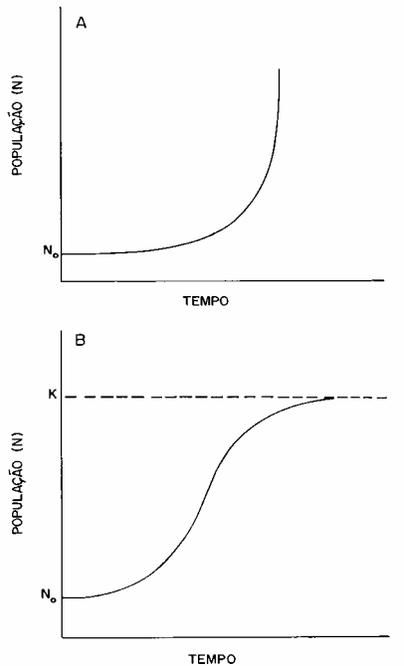
As mudanças na densidade humana afetam muitas das relações básicas entre os componentes do ecossistema e a relativa abundância das populações componentes. Como com todas as populações, as populações humanas estão sujeitas aos efeitos limitantes a altas densidades, que afetam, de muitas maneiras, os níveis de consumo e a qualidade ambiental. A compreensão da dinâmica da população e seu relacionamento com os efeitos dependentes de densidade é essencial para a estimativa da capacidade de suporte.

PADRÕES DE CRESCIMENTO POPULACIONAL

CRESCIMENTO EXPONENCIAL

Em seu Essay on The Principle of Population (Ensaio sobre o Princípio da População), Thomas Malthus (1789) reconheceu que, dados recursos abundantes, as populações humanas têm uma tendência inata de aumentar geometricamente, ou exponencialmente, produzindo uma curva de crescimento em forma de "J" (Figura 3.1a).

(Fig. 3-1)



(Legenda da Figura 3-1)

Fig. 3.1. A: Curva de crescimento exponencial, onde os números aumentam rapidamente na direção do infinito.

B: Curva de crescimento logístico, onde o aumento inicial exponencial é retardado por efeitos dependentes da densidade.

O padrão de crescimento pode ser descrito por:

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

onde:

N_0 = número de indivíduos no momento "0"

N_t = número de indivíduos no momento "t"

e = base de logaritmos naturais (a constante
2,71828...)

r = capacidade inata para o crescimento, dadas

as condições ambientais vigentes
t = tempo

A tradução mental de um pequeno aumento percentual anual até o tamanho populacional total em alguma data futura é difícil. Esta tradição é facilitada expressando-se as taxas de aumento em termos do tempo requerido pela população para se duplicar (Tabela 3.1).

(Tabela 3-1)

TABLE 3.1. TEMPOS DE DUPLICAÇÃO DA POPULAÇÃO PARA ÁREAS SELECIONADAS^a

Área	Ano	Aumento Anual (%)	Tempos de Duplicação (anos)	Referência
Estados Unidos	1974	0,8	86,6	Ehrlich <u>et al.</u> , 1977: 96.
Mundo	1976	1,8	38,5	Ehrlich <u>et al.</u> , 1977: 96.
Brasil	1960-1970	2,85	24,4	Brasil, Presidência da República, IBGE, 1982: 74.
Brasil	1970-1980	2,34	29,6	Brasil, Presidência da República, IBGE, 1982: 70.
Região Norte ^b	1960-1970	3,4	20,3	Brasil, Presidência da República, IBGE, 1982: 74.
Região Norte	1970-1980	4,9	14,1	Brasil, Presidência da República, IBGE, 1982: 74.
Cidade de Manaus	1970-1980	7,1	9,8	Brasil, Presidência da República, IBGE, 1982: 111.
Ron- dônia	1960-1970	4,6	14,9	Brasil, Presidência da República, IBGE, 1982: 74.
Ron- dônia	1970-1980	14,8	4,7	Brasil, Presidência da República, IBGE, 1982: 74.

^aPressumindo-se taxas constantes de crescimento.

^bRegião Norte = Pará, Amapá, Roraima, Amazonas, Acre e Rondônia.

CRESCIMENTO LOGÍSTICO

O crescimento exponencial a qualquer taxa maior do que zero teoricamente produz tamanhos infinitos de população se continuar ininterruptamente. As populações reais somente seguem o padrão exponencial quando os recursos são abundantes e outras condições são favoráveis para o crescimento contínuo (Malthus, 1789, 1830).

Verhulst (1838) derivou uma equação logística para descrever o padrão de crescimento em forma de "S" da curva sigmóide demonstrada por uma população com recursos limitados. Em baixas densidades a população cresce de maneira exponencial, e em altas densidades as taxas de crescimento diminuem, à medida em que os recursos vão se tornando insuficientes para sustentar o crescimento contínuo da população. Com o decorrer do tempo a população assintoticamente aproxima-se de um limite superior conhecido como K , a densidade de saturação ou capacidade de suporte logístico na curva é o efeito da "resistência ambiental", ou aquilo que Malthus chamou de "dificuldade de subsistência".

A equação logística é normalmente escrita como uma equação diferencial, indicando a mudança na taxa do aumento:

$$\frac{dN}{dt} = r N \frac{(K - N)}{K}$$

onde:

- dN/dt = taxa do aumento da população
- N = tamanho da população
- r = capacidade inata para o aumento, dadas as condições ambientais vigentes (= a taxa instantânea de natalidade menos a taxa instantânea de mortalidade, para uma população fechada contra imigração e emigração)
- K = densidade de saturação ou capacidade de suporte logístico

De forma integrada, a equação produz:

$$N = \frac{K}{1 + e^{a-rt}}$$

onde:

- a = constante de integração que define a posição da curva em relação à origem (o valor de $\ln (K - N)/N$ quando $t = 0$)
- e = base dos logaritmos naturais (a constante 2,71828...)
- t = tempo

A equação para o crescimento logístico repousa sobre várias pressuposições não satisfeitas em muitas populações de organismos no mundo real: 1) existe uma distribuição inicial estável de idades; 2) ou todos os indivíduos são ecologicamente equivalentes ou é usada uma unidade de densidade apropriada para ponderar as diferenças de estágio de vida, tamanho individual, etc.; 3) a taxa inata de aumento (r) pode ser realmente alcançada sob condições existentes; 4) não existem demoras; e 5) o relacionamento entre a densidade e a taxa de aumento é linear, incluindo a pressuposição da mais alta taxa de crescimento quando a densidade de população for extremamente baixa (Krebs, 1972: 194-195; Pielou, 1969; Wilbur, 1972; Wilson & Bossert, 1971: 104). As discrepâncias entre essas pressuposições e características das populações reais explicam os muitos afastamentos da curva de crescimento logístico da Figura 3.1b encontrados na natureza. Eles também significam que muito do valor da equação logística é a descrição do crescimento sob certas circunstâncias em vez de ser como um previsor do crescimento onde essas condições não se aplicarem.

No caso das populações humanas, os fatores que influenciam as taxas de natalidade e mortalidade são muito mais complexas do que em outras espécies. Essa complexidade é devida ao maior controle que a cultura tem permitido aos humanos tanto sobre o nascimento quanto sobre a morte e sobre as restrições ambientais, das quais, em última análise, essas taxas dependem. Durante os dois séculos passados da história da humanidade, algumas das modificações culturais de comportamento demográfico formam um padrão: a transição demográfica.

A TRANSIÇÃO DEMOGRÁFICA

A transição demográfica, ou seja, a mudança de um padrão de altas taxas de natalidade e mortalidade para baixas taxas de natalidade e mortalidade, é vista por muitos como uma grande esperança para os países do terceiro mundo evitarem o sombrio "miséria e vício" visto por Malthus como uma consequência inevitável da "dificuldade de subsistência". Desde a II Guerra Mundial, a maioria das áreas em desenvolvimento tem vivido um crescimento populacional dramático como resultado da diminuição das taxas de mortalidade através do melhoramento da medicina e da saúde pública. Muitos desses países já apresentaram alguma diminuição nas taxas de natalidade em anos mais recentes, mas todos têm taxas de natalidade substancialmente acima das taxas de morte (Coale, 1983). Para o período de 1970-1980, o Brasil teve uma taxa bruta de nascimento de 33,0 por 1.000 habitantes, e uma taxa de mortalidade correspondente de 8,1 (Brasil, IBGE, 1982: 108). As taxas de natalidade no Brasil, especialmente em áreas urbanizadas, vêm caindo em anos recentes. Os resultados preliminares do censo de 1980 indicam uma queda no número médio de crianças por família de 8 para 6 no nordeste (Veja, 12 de novembro de 1980: 28). A diminuição das taxas de natalidade seguindo a diminuição das taxas de mortalidade nos países em desenvolvimento contem muitas semelhanças com a transição demográfica histórica em países desenvolvidos, mas as diferenças na interpretação do significado dessa semelhança para as políticas de desenvolvimento são marcantes.

Acredita-se que a lógica da teoria de transição demográfica seja válida a um alto nível de generalização, sendo que os fatores correlacionados com o desenvolvimento estão associados com a fertilidade diminuída tanto dentro como entre os países. Na América Latina, os países que mostram sinais do começo da fase de diminuição da fertilidade, da transição demográfica, são os que têm maior desenvolvimento (Beaver, 1975, citado por Teitelbaum, 1975).

Um exame cuidadoso da transição demográfica na Europa do século dezenove e das tendências recentes nos países em desenvolvimento sugere que os países do terceiro mundo não devem contar com que essas transições aliviem os desequilíbrios que aumentam rapidamente entre a população e os recursos (Teitelbaum, 1975). Quedas muito maiores e mais rápidas de mortalidade em países em desenvolvimento em comparação com a Europa do século dezenove, junto com uma fertilidade inicial mais alta e a falta de oportunidades para aliviar as pressões através de migração internacional, está levando as populações a aumentar em taxas muito mais altas, duplicando-se em cerca de um terço do número de anos que

caracterizou as populações na Europa durante sua fase de crescimento mais rápido no meio da transição. Os países em desenvolvimento poderiam ser pegos em um ciclo vicioso, quando os efeitos do rápido aumento da população subverterem os efeitos redutores de fertilidade da transição demográfica: altas densidades e tamanhos grandes de famílias resultam no abaixamento dos padrões de vida, diminuição das oportunidades educacionais e menos empregos, especialmente para mulheres, que são as primeiras a perder na competição pelas oportunidades de trabalho (Newland, 1977). Essas limitações, particularmente por afetarem as mulheres, estão entre os fatores sociais tidos como tendo o maior efeito sobre o comportamento reprodutor (McCabe & Rosenzweig, 1976; Ridker, 1976).

Para as densidades de população abaixo do ponto onde a fertilidade é restringida pela nutrição pobre, existe teoricamente um equilíbrio instável entre duas alças de retroalimentação opostas. Padrões de vida mais altos resultam em fertilidade mais baixa, levando a padrões ainda mais altos; enquanto que qualquer abaixamento dos padrões de vida resulta em maior fertilidade, provocando a queda dos padrões até níveis ainda mais baixos. Por causa dessa segunda alça de retroalimentação, os líderes das nações em desenvolvimento na parte de declínio de fertilidade da transição demográfica, seriam bem sensatos se não contassem com a história Européia repetindo-se em seus países. Não parece provável que a quantidade de progresso econômico realisticamente possível para muitos países em desenvolvimento seria suficiente para ser realizado um efeito completo de redução na fertilidade na transição demográfica. Mesmo que se realize, tal efeito teria uma ação muito vagarosa para evitar os aumentos astronômicos nas densidades da população e na intensificação dos problemas que se seguem a esses aumentos.

Felizmente, as mudanças observadas em algumas partes subdesenvolvidas tanto da Europa do século dezanove quanto do moderno terceiro mundo sugerem que o comportamento reprodutor pode ser modificado sem desenvolvimento (Teitelbaum, 1975). Os efeitos associados ao desenvolvimento, previstas pela teoria tradicional de transição, são também obscurecidos pelos efeitos da igualdade da distribuição da riqueza e dos serviços sociais tais como educação (Brown, 1980: 154-156; Ehrlich et al., 1977: 782; Flegg, 1979; Simon, 1976). Pequenas quantidades de desenvolvimento são associadas com declínios muito maiores na fertilidade se os benefícios são igualmente distribuídos pela sociedade.

As discussões sobre os problemas do desenvolvimento que

cercam a interpretação dos mecanismos de transição são inflamadas. Os próprios mecanismos não são tão simples como se acreditava.

Existe uma grande virtude política em uma interpretação simplista da teoria da transição, ressaltando que em todas as circunstâncias o desenvolvimento "tomará conta" dos problemas populacionais. Contudo, os cientistas são obrigados a relatar que um exame cuidadoso da teoria da transição, tanto na perspectiva histórica quanto na moderna, mostra que os fazedores de políticas seriam insensatos ao adotar uma visão tão simplista e determinista. (Teitelbaum, 1975: 178).

FATORES QUE LIMITAM O CRESCIMENTO POPULACIONAL

CONTROLES INDEPENDENTES E DEPENDENTES DE DENSIDADE

Populações de todas as espécies são limitadas abaixo dos níveis infinitos para os quais o crescimento exponencial teoricamente os levaria. O crescimento da população pode ser limitado por fatores que estão ligados com a densidade da população (controles dependentes de densidade) ou por fatores físicos tais como tempo desfavorável, inundações ou outras catástrofes naturais agindo como controles independentes de densidade. A classificação dos controles como dependente ou independente de densidade é freqüentemente imprópria, pois, muitas vezes, a densidade pode intensificar os efeitos de fatores físicos "independentes". Crescimento populacional exponencial, quando limitado principalmente por um controle independente de densidade, seria abruptamente truncado, caindo para um nível mais baixo para recomeçar a subida exponencial em forma de "J" novamente.

Os controles dependentes de densidade agem através de mecanismos tais como competição entre membros da mesma espécie pelos recursos escassos (competição intra-específica), competição com membros de outras espécies (competição inter-específica), ou por predadores, parasitas ou organismos de doenças cujas populações e/ou freqüências de ataque aumentam em resposta ao aumento de densidade da população de presas ou de hospedeiros. Os controles dependentes de densidade normalmente agem mais gradualmente na limitação do crescimento da população do que os independentes de densidade, resultando em um enfraquecimento no crescimento a medida em que se aproxima de um limite

superior (ver Figura 3.1b). No entanto, os controles dependentes de densidade podem começar a ter um efeito depois de passar uma densidade limiar, levando os níveis de população a uma queda abrupta em vez de declinarem suavemente até o equilíbrio. As oscilações produzidas dessa forma, e pelas demoras dos efeitos de controle dependentes de densidade, são mais ondulantes do que o padrão recortado de crescimento rápido e queda estrondosa de uma população limitada pelas forças independentes de densidade. Frequentemente, as oscilações tendem a diminuir se as condições ambientais forem razoavelmente estáveis.

Os mecanismos dependentes de densidade são mais importantes nos ecossistemas com condições físicas relativamente estáveis, tais como a floresta úmida tropical, enquanto ecossistemas com mudanças sazonais violentas (como no ártico ou nos habitats temperados) têm mais populações limitadas por fatores físicos. Qualquer uma das formas de limitação pode funcionar por meio do aumento da taxa de mortalidade, por redução da fertilidade ou por ambos.

As restrições sobre crescimento populacional agem através das necessidades do organismo para a sobrevivência e reprodução. Quando o suprimento de um desses requisitos é insuficiente para sustentar o crescimento da população, diz-se que essa necessidade ou requisito é um fator limitante. A falta de alguns desses requisitos, como luz, água, locais para aninhar e vários nutrientes, pode ser limitante. Diferentes fatores podem ser limitantes em momentos diferentes. Se uma fonte abundante de um fator limitante é suprida para uma população, a população se expandirá até que o suprimento de um outro fator seja esgotado.

A pressuposição comum de que somente um fator limitante restringe o crescimento de uma população a qualquer dado momento é uma supersimplificação, pois a limitação da população é o efeito cumulativo das mortes e das perdas de chances de reprodução dos indivíduos da população, eventos que inevitavelmente aparecem a partir de várias causas diferentes. Mesmo o crescimento de um simples indivíduo não é sempre limitado por um só fator, pois o suprimento de quantidades adicionais de mais de um fator pode resultar no mínimo em algum aumento no crescimento. A generalização de fatores limitantes únicos está suficientemente próximo da verdade para poder ser útil em aplicações tais como recomendações de fertilizantes na agricultura. Em outras situações, a existência de múltiplos fatores limitantes tem implicações significativas para a estimativa da capacidade de suporte.

DEFINIÇÕES DE CAPACIDADE DE SUPORTE

O termo capacidade de suporte tem sido usado por pessoas que trabalham em biologia, antropologia, geografia, manejo de pastagens, pescaria, manejo da vida silvestre e manejo de negócios com significados diferentes, porém relacionados. Todos se referem ao número de indivíduos que podem ser suportados em uma dada área; o nível de consumo ao qual eles devem ser suportados e o tempo ao longo do qual a área será capaz de prover esse suporte, variam com a definição.

A capacidade de suporte pode ser classificada pelo horizonte de tempo da estimativa, produzindo duas categorias: instantâneo e sustentável. As definições podem ser ainda mais subdivididas dependendo delas serem estáticas ou dinâmicas; determinísticas ou estocásticas; baseadas em um só fator limitante, vários fatores limitantes possíveis, ou uma medida combinada representando as contribuições de vários fatores. Em sistemas estáticos os valores de todas as variáveis são constantes através do tempo, enquanto as estimativas dinâmicas permitem mudanças com o tempo. As estimativas determinísticas são baseadas em valores fixos para todos os parâmetros, enquanto que as estimativas estocásticas incluem variações ao acaso em pelo menos alguns dos parâmetros (com o resultado de que a probabilidade de um resultado é menos que um). Como o mundo real é caracterizado tanto pelas mudanças com o tempo quanto pela variabilidade, as estimativas estocásticas dinâmicas deveriam levar às estimativas de capacidade de suporte mais realísticas.

CAPACIDADES DE SUPORTE INSTANTÂNEAS

A equação logística que descreve a curva de crescimento populacional em forma de "S" ou sigmóide, é a que precede as outras classes de capacidade de suporte. Embora eu não acredite que essa equação devesse ser aplicada às seres humanos, ela tem historicamente desempenhado um papel proeminente na estimativa da capacidade de suporte humano. A equação logística foi derivada por Verhulst (1838) e independentemente por Pearl & Reed (1920), e foi projetada em ambos os casos para uso com populações humanas. Pearl & Reed (1920) usaram a equação logística para descrever o crescimento da população nos Estados Unidos baseados em dados de recenseamentos feitos cada dez anos desde 1790. Foram feitas revisões das estimativas depois de cada recenseamento até 1940 (Pearl et al., 1940; Reed, 1936). Os resultados foram tão acurados que a população podia ser calculada com

uma diferença de alguns milhares de indivíduos, um feito que assombrou estatísticos (Snedecor & Cochran, 1967: 449). As deficiências da equação logística como um instrumento para calcular as capacidades de suporte humano tornam-se mais evidentes nos anos seguintes a 1940. Ao se ajustar a curva através do censo de 1940 produziu um valor para a densidade de saturação ou capacidade de suporte logístico (K) de 184 milhões para os Estados Unidos (Pearl et al., 1940). Que a população tenha aumentado muito além desse número é menos surpreendente do que o ajustamento notável obtido até 1940 usando-se uma equação tão simples quanto a logística. A equação logística é baseada em uma longa lista de pressuposições, forçando sua aplicabilidade para organismos tão simples quanto um cladocera como Daphnia (Frank, 1957), ou até para um protozoário como Paramecium (Hairston et al., 1969). Kingsland (1982) delineou os processos sociais dentro da comunidade científica que ajudam a entender o uso generalizado desta equação ao longo das décadas após 1920, mesmo frente às indicações ao contrário. Apesar das limitações severas da equação, o cálculo da capacidade de suporte para populações humanas por meio da aplicação de técnicas de ajustamento de curvas, utilizando dados demográficos históricos, ainda persiste (e.g. Schacht, 1980).

Os seres humanos claramente não se enquadram em pressuposições tais como ausência de estrutura etária e de demoras no tempo, ou equivalência ecológica completa de todos os indivíduos, muito menos em interposição, de uma teia de relacionamentos tal complexos quanto os apresentados pela cultura humana entre a "causa" de um dado aumento na densidade da população e o "efeito" de uma dada mudança na taxa de crescimento populacional. O termo da equação logística que representa a "resistência ambiental" tem pouca relação funcional com o processo real em vigor nos Estados Unidos durante o período em que o crescimento populacional exponencial começou a desacelerar na transição demográfica.

Uma maneira de modificar a equação logística para aliviar algumas de suas limitações é o acréscimo de termos estocásticos, feito por Levins (1969) e May (1973: 122). As simulações por computador de populações de organismos hipotéticos mostraram que a alta variabilidade na capacidade de suporte logístico leva a taxas de extinção mais altas e a tamanhos menores de população (Roff, 1974: 264-265). Existem outros modelos contínuos que evitam algumas, mas de maneira nenhuma todas as restrições da logística.

A "capacidade de suporte" na equação logística, (incluindo suas versões modificadas) estabelece o limite superior para a curva de crescimento e é um valor instantâneo

relacionado com a habilidade da população em sobreviver e reproduzir a um dado nível de consumo de recursos, não com a sustentabilidade a longo prazo dos níveis do fornecimento desses recursos. Discussões da equação logística, especialmente no contexto da aplicação para populações humanas, freqüentemente supõe erradamente que o seu valor de capacidade de suporte é sustentável (e.g. Hardesty, 1977: 195, de outra forma uma revisão muito útil da capacidade de suporte humano).

São abundantes os exemplos dos cálculos da capacidade de suporte no campo do manejo de pastagens. A maioria da utilização do termo "capacidade de suporte" em estudos de manejo de pastagens se refere a uma capacidade de suporte sustentável. No entanto, alguns autores, incluindo a maior parte da contribuição brasileira para esse campo, claramente usam esse termo para se referir a um relacionamento instantâneo, o qual este texto irá se referir como "capacidade de alimentar a curto prazo" quando tratando de manejo e produção de pastagem.

Algumas técnicas para estimativa da capacidade de suporte humano determinam quando a capacidade de suporte foi excedida por alguma mudança comportamental na população. Tais mudanças comportamentais indicam que a taxa de produção que está sendo obtida é insatisfatória pelo padrão culturalmente definido pela própria população. Esses métodos funcionam somente para populações observadas durante o período em que a capacidade de suporte instantâneo é excedida, ou quando existem subpopulações separadas que podem ser observadas ao mesmo tempo exibindo comportamentos diferentes a densidades diferentes. Os exemplos incluem estudos por Hunter (1966) em Gana, onde a emigração a partir de áreas densamente povoadas indicada pela mudança das razões dos sexos mostrou que esse ponto havia sido ultrapassado, e por Vermeer (1970) na Nigéria onde um encurtamento do período de pousio entre os agricultores de cultura itinerante a altas densidades populacionais indicou que a capacidade de suporte instantâneo tinha sido alcançado. Neste último estudo, algumas indicações gerais podem ser deduzidas também sobre a capacidade de suporte sustentável, sendo que o período mínimo de pousio de dez anos tradicionalmente em uso nas áreas escassamente povoadas parece ser sustentável, enquanto o pousio de dois anos nas áreas densamente povoadas resulta em uma visível degradação ambiental.

Informações fornecidas por cálculos da capacidade de suporte instantâneo como essas, quando conjugada com informações de outros estudos sobre mudanças de solos, produções e vegetação sob diferentes regimes de pousio, pode

levar a conclusões úteis a respeito dos níveis sustentáveis de população, com pressuposições apropriadas sobre o consumo e a tecnologia. O problema principal com a aplicação desses métodos é a necessidade de populações comparáveis a diferentes densidades populacionais variando desde níveis abaixo até níveis acima da capacidade de suporte instantâneo.

Muitos dos estudos da cultura itinerante que têm sido feitos com a intenção declarada de produzir estimativas da capacidade de suporte sustentável seriam mais acuradamente categorizados como instantâneo. As fórmulas para cultura itinerante usadas nesse tipo de estudo serão discutidas em maiores detalhes na próxima seção. Os cálculos também são feitos sem preocupação com a sustentabilidade em uma ampla classe de estudos de agricultura não-itinerante (e.g., Cook, 1970).

CAPACIDADES DE SUPORTE SUSTENTÁVEIS

A definição básica de capacidade de suporte sustentável, adaptada da definição usada por Allan (1949, 1965), em seu trabalho pioneiro sobre estimativa de capacidades de suporte para agricultores de cultura itinerante em Zâmbia (então Rodésia do Norte) é: o número máximo de pessoas que podem ser sustentadas permanentemente em uma área, com uma dada tecnologia e conjunto de hábitos de consumo, sem causar degradação ambiental.

Arqueólogos fizeram diversas estimativas de capacidade de suporte humano, normalmente baseando a seleção do valor da capacidade de suporte sobre as seguintes observações: 1) a população em estudo sobreviveu e se reproduziu com sucesso a uma dada densidade de população durante um período de tempo e 2) a população não destruiu o solo e outros recursos nesse processo. As muitas savanas antigas antropogênicas, isto é feitas pelo ser humano, pelos trópicos atestam à freqüente violação da "harmonia com a natureza" muitas vezes presumida pelos investigadores.¹

Alguns antropólogos que escrevem sobre os grupos aborígenos contemporâneos e extintos usaram os mesmos tipos de observações gerais sobre a persistência e equilíbrio aparente para extrair inferências qualitativas acerca de capacidades de suporte (e.g. Meggers, 1971). Muitos padrões de comportamento social têm impactos sobre as taxas de natalidade e mortalidade. Alguns autores comutam entre definições de capacidade de suporte. Um exemplo é o grupo de modelagem "Clube de Roma", que resumiu suas simulações de computador das tendências da população do mundo, recursos e

poluição em Os limites de Crescimento (D.H. Meadows et al., 1972). Uma equação logística de capacidade de suporte é usada para uma parte da discussão do grupo (D.H. Meadows et al., 1972: 100-101), mas uma capacidade de suporte sustentável é claramente o objetivo do grosso dos escritos do grupo, incluindo o trabalho sobre a capacidade de suporte do globo (Randers & Meadows, 1972). A razão mais comum para tal confusão entre capacidade de suporte instantâneo e sustentável é a impossibilidade de reconhecer a falta de conexão entre os níveis de exploração que correspondem à manutenção da sobrevivência e reprodução em qualquer dado ponto do tempo e as taxas de exploração que evitam a degradação a longo prazo da base de recursos.

FORMULAS PARA CAPACIDADE DE SUPORTE DE CULTURA ITINERANTE

I. ALLAN, 1949: 14-15

<p>Área de terra requerida por cabeça = 100 C L/P</p>

onde:

C = o fator de cultivação, o qual é "uma expressão do número de "áreas de horta" necessárias para cada tipo de terra para permitir um ciclo completo de cultivo e regeneração normalmente praticado naquele tipo (de terra) sob o sistema para o qual se aplica o cálculo". Uma área de horta é a "área em cultivo em qualquer dado momento" (Allan, 1965: 30). Isso é calculado como:

$C = \frac{\text{período de cultivo} + \text{período de pousio}}{\text{período de cultivo}}$
--

onde:

L = extensão em acres em cultivo em qualquer tempo por cabeça de população
P = A porcentagem cultivável do tipo de terra.

A "capacidade de suporte total" é o total da área de terra disponível para a comunidade dividida pela área necessária por cabeça.

II. CONKLIN, 1959: 63

Tamanho crítico da população:

$$Cs = \frac{L}{A T}$$

onde:

Cs = tamanho crítico da população

L = máximo de terra cultivável disponível
(convenientemente expressa em hectares)

A = área média mínima necessitada para derrubada,
por ano, por indivíduo (em hectares)

T = duração média mínima para um ciclo agrícola
completo (em anos)

Densidade crítica de população:

$$Cd = 100 Cs/L$$

onde:

Cd = densidade crítica de população (em pessoas por quilômetro quadrado de L).

III. CARNEIRO, 1960: 230

$$P = \frac{T Y / (R + Y)}{A}$$

onde:

P = a população da comunidade que "pode ser suportada permanentemente em um local"

T = a área total da terra arável (em acres) que está dentro de uma distância da acessível a pé da vila

Y = o número de anos em que um trecho de terra continua a produzir antes que tenha de ser abandonado

R = o número de anos em que um trecho deve ser deixado em pousio antes que possa ser cultivado

A = a área de terra cultivada (em acres) necessária para fornecer ao indivíduo médio a quantidade de alimento que normalmente retira por ano das plantas cultivadas

IV. GOUROU, 1966: 45; 1971: 188

$$\text{Densidade potencial de população} = A C / B$$

onde:

A = o número de hectares cultiváveis por quilômetro quadrado (= percentual da área total)

C = o número de habitantes por hectare derrubado cada ano

B = a duração da rotação (cultivo mais pousio)

V. FEARNSIDE, 1972: 487-488

$$A = B D / C$$

onde:

A = hectares por pessoa em capacidade de suporte

B = média do consumo/pessoa/ano

C = produção da terra de qualidade "Q" sob sistema agrícola "S"/ano

D = número de unidades de área necessárias para um ciclo itinerante de equilíbrio a longo prazo, onde uma unidade de área é a área de terra que precisa ser cultivada a qualquer dado momento para suportar uma pessoa. O número de unidades de área é dado por:

$$D = (E / F) + 1$$

onde:

E = número de anos necessários para que a terra abandonada se recupere

F = número de anos em que um trecho pode ser cultivado antes que tenha de ser abandonado

VI. FAECHEM, 1973: 234-235

$$W = a / (C L)$$

onde:

W = capacidade de suporte = população teórica máxima

a = área de terra cultivável (ha)

C = fator de cultura = número de áreas de horta necessárias para completar um ciclo de cultivo e de regeneração = (tempo de pousio + tempo de cultivo) / tempo de cultivo

L = área média atualmente cultivada per cápita (ha/cápita)

As fórmulas no box para o cálculo da capacidade de suporte sob sistemas de cultura itinerante podem ser reduzidas algebraicamente para uma forma comum (Faechem, 1973).² Faechem reduz mais o resultado em uma expressão, indicando que a razão entre o que ele chama "população teórica" e a população atual é igual à razão entre terra disponível e a terra em uso. Uma pressuposição não declarada de Faechem é que a população atual, que é computada a partir da área média per cápita atualmente necessária para completar um ciclo agrícola completo, está em equilíbrio. A pressuposição do equilíbrio está indicada pela utilização de valores para as áreas cultivadas e em pousio que correspondem aos tempos de cultivo e de pousio que são usados como parâmetros de entrada na fórmula. Como Street (1969) mostrou, a pressuposição do equilíbrio é freqüentemente feita involuntariamente por aqueles que tentam fazer estimativas de capacidade de suporte que resultam em discussões circulares. Felizmente, as fórmulas de capacidade de suporte de cultura itinerante, apesar da pletora de pressuposições limitantes,

ainda pode ter alguma utilidade. Se as entradas da equação forem determinadas através de medições independentes de outras partes das equações (determinando tempos de pousio baseando-se em estudos de estoques de nutrientes e requerimentos de área de terra baseando-se em observações das produções e requisitos nutricionais), então a informação obtida a partir dos cálculos subseqüentes é válida dentro das limitações das pressuposições sobre as quais se baseiam as equações.

O "conceito" de capacidade de suporte, no sentido representado pelas fórmulas de cultura itinerante, tem sido atacado por Brush (1975) e Hayden (1975), e defendido por Glassow (1978). Brush (1975: 806) acredita que "o principal ponto fraco do conceito de capacidade de suporte é o fato que a teoria de homeostasis, inerente no conceito, não é nem testável nem refutável". A "teoria de homeostasis" aqui se refere em particular aos ajustamentos comportamentais de um grupo, destinados a manter o equilíbrio, os quais pesquisadores tem colocado como causados por mudanças da densidade populacional em relação à capacidade de suporte. A questão chave é o uso que está sendo feito das estimativas de capacidade de suporte, ao invés da validade das estimativas em sí. Quando a capacidade de suporte é usada como instrumento explanatório para mudanças constatadas em padrões culturais, deve-se identificar os mecanismos pelos quais a aproximação ou ultrapassagem da capacidade de suporte pela população tenha uma retroalimentação para a cultura, tanto no nível de ajustamento a curto prazo como no nível de mudanças a longo prazo por evolução cultural. Para uma entrada neste debate, ver Brush (1976), Cowgill (1975), Vayda (1969, 1976) e Vayda & McCay (1975). A finalidade do atual estudo da capacidade de suporte na Transamazônica, porém, é de produzir um indicador que poderia ser usado no planejamento populacional e de desenvolvimento, ao invés de explicar mudanças demográficas ou tecnológicas.

Hayden (1975: 11) acredita que "os problemas práticos envolvidos na medição e na utilização da capacidade de suporte têm demonstrado que o conceito é deficiente em teoria, pouco realístico na implementação e impossível de mensurar". Ele propõe "abandonar" a capacidade de suporte para substituí-la por uma medida chamada a "taxa de sobre-exploração de recursos". Essa taxa é vista como uma função com três variáveis: 1) o "potencial das freqüências de ocorrência de intensidade do recurso", que essencialmente é a freqüência de declínios na disponibilidade de recursos no território que suporta a população, ou "estações magras" (Bartholomew & Birdsell, 1953); 2) o potencial tecnológico e

3) a densidade de população. A medição de Hayden, corretamente, dá ênfase à variabilidade no abastecimento de alimentos e de outros recursos, uma coisa que está faltando nas fórmulas para estimar a capacidade de suporte sob cultura itinerante. Hayden argumenta que a frequência, duração e a severidade de épocas carentes de recursos (períodos em que a população ultrapassa a capacidade de suporte instantânea) serão os fatores mais importantes afetando a resposta, se houver, que uma população humana apresentaria quando experimentando tais carências.

A medida alternativa de Hayden, na realidade, não é um substituto para a capacidade de suporte: se fosse solucionada a equação de taxa de sobre-exploração de recursos, para o termo que representa a densidade populacional e se a taxa de sobre-exploração de recursos fosse fixada em um valor igual ao de um limite máximo aceitável, o resultado obtido seria um valor muito parecido com a capacidade de suporte, como definida operacionalmente no estudo atual da Transamazônica, desde que o critério adicional de sustentabilidade seja obedecido. Como no caso das críticas feitas por Brush (1975) a capacidade de suporte, as principais reservas de Hayden também focalizam sobre as declarações às vezes feitas para estimativas, com fórmulas de agricultura itinerante, como explicações de acontecimentos na evolução de culturas, ao invés dos problemas das fórmulas de capacidade de suporte em si. A ênfase dada por Hayden sobre a importância da variabilidade é apropriada, não só para as interpretações arqueológicas que ele procura, como também para a tarefa do atual estudo para desenvolver a capacidade de suporte como um instrumento de planejamento.

Tanto Brush como Hayden se desanimam frente à dificuldade de se obter estimativas dos parâmetros necessários para cálculos de capacidade de suporte, porém, como Glassow (1978) salienta, isto não é uma razão para abandonar a tentativa. A importância em potencial da capacidade de suporte para formular políticas sustentáveis de população e de desenvolvimento leva à necessidade de mais esforço, tanto na elaboração teórica quanto na colheita de dados reais.

Bayliss-Smith (1980) fez uma contribuição significativa na abordagem da capacidade de suporte, de maneira que podia prever resultados utilizáveis por planejadores. O método de Bayliss-Smith também permite a estimativa daquilo que ele denomina de "capacidade de suporte percebida", que é uma quantidade que se acredita ser mais relevante à explicação do comportamento humano, que é a capacidade de suporte baseada na aptidão do meio ambiente em abastecer o sustento a um dado

nível durante um período indefinido. O enfoque de Bayliss-Smith é sobre a relação entre a intensificação agrícola, insumos de mão-de-obra e saídas de produtos, sendo o passo crítico a construção de um gráfico da produção por homem-hora versus a produção por hectare. A produção por hectare é alta a níveis baixos de produção por homem-hora, porém após um ponto crítico, esta cai a um nível mais baixo na medida em que a produção por homem-hora aumenta. A capacidade de suporte corresponde ao ponto na curva onde a produção por hectare começa a cair subitamente com o aumento da produção por homem-hora. O método vai além do cálculo de uma única capacidade de suporte: produz-se uma matriz de valores para o insumo de mão-de-obra por pessoa produtiva, que é necessária para sustentar uma população, a uma série de densidades populacionais abaixo da capacidade de suporte e a uma série de níveis de consumo acima do valor de "subsistência" usada para definir a capacidade de suporte. Uma matriz deste tipo tem um valor óbvio para planejadores contemplando o efeito de diferentes densidades populacionais sobre o consumo e o tempo livre.

Bayliss-Smith (1980: 62) deixa claro que seu método dá ênfase ao tempo livre e ao excedente de produção, e deixa fora alguns fatores, tais como a variabilidade nas produções das culturas e nas necessidades de mão-de-obra. As escolhas dele parecem ser apropriadas para as ilhas Fiji, o local do projeto UNESCO do qual o seu trabalho faz parte. Diferenças significativas entre Fiji e a Transamazônica faz com que outras escolhas sejam apropriadas para o atual estudo. A taioba (Colocasia spp.), que forma a base da dieta dos agricultores na Fiji, pode ser esperada a produzir safras relativamente estáveis de um ano para outro e de um agricultor para outro, como é o caso para a maioria das culturas de tubérculos nas áreas tropicais livres de geada. A variação nas produções é uma grande preocupação para colonos na Transamazônica, cujo arroz de sequeiro é plantado em roças sujeitas a queimas pobres e outros riscos. Além disso, o alto valor dado pelos Fijianos ao tempo livre não é compartilhado pelos agricultores pioneiros na Amazônia, fora da observância de domingos e alguns poucos feriados religiosos. A maior parte dos colonos da Transamazônica tomam muito cuidado de sempre dar a aparência de estarem ocupados, e são rápidos a aplicar apelidos insultantes a qualquer um dos seus vizinhos que não esteja visivelmente ocupado. Portanto, o atual estudo da Transamazônica tem dado a sua maior ênfase sobre a variabilidade nas produções das culturas, e nos muitos fatores que afetam estas produções.

UMA DEFINIÇÃO OPERACIONAL DE CAPACIDADE DE SUPORTE

Capacidade de suporte sustentável é definida operacionalmente em termos de um gradiente de probabilidades de fracasso, ou perfil de fracasso por densidade de população (Figura 3.2). As taxas de fracasso são aquelas que são sustentáveis durante algum longo período de tempo às densidades correspondentes de população humana. O critério para o fracasso pode ser definido de muitas maneiras e pode incluir múltiplos fatores limitantes ou combinações de fatores. Eles podem incluir medidas de degradação ambiental bem como de consumo individual. A focalização sobre os níveis individuais de consumo contrasta com o critério de consumo médio da área, como um todo, implícita na maioria das definições.³

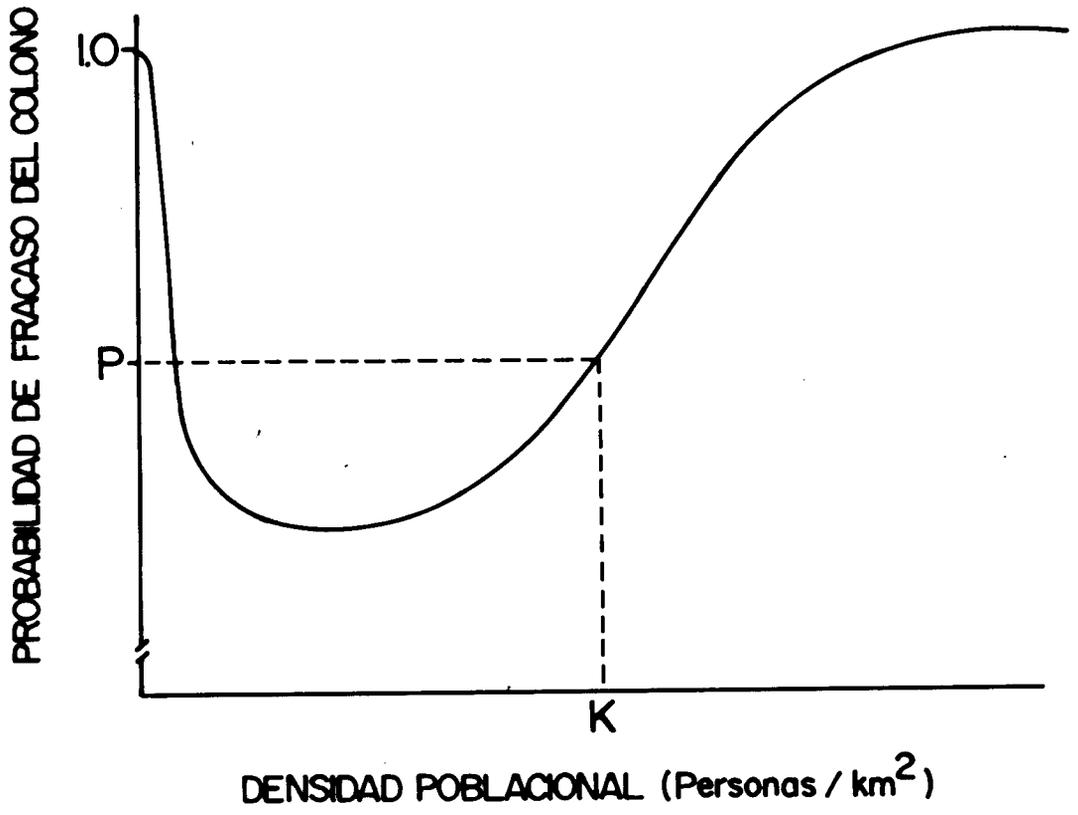
(Fig. 3-2)

(Legenda da Figura 3-2)

Fig. 3.2. A capacidade de suporte (K), determinada a partir de um gradiente de aumento da probabilidade de fracasso do colono com aumento de densidade populacional humana (perfil de probabilidades de fracasso e densidade populacional). (Fonte: Fearnside, 1985e, s/d-c).

A probabilidade máxima aceitável de fracasso do colono, bem como os critérios de fracasso, pode ser escolhida de acordo com os valores definidos socialmente. As probabilidades de fracasso aumentam com a densidade humana em um relacionamento hipotético que deveria se aplicar dentro de algum âmbito de densidades humanas possíveis. Note-se que a curva da Figura 3.2 chega à probabilidade de fracasso de um ao encontrar-se com o eixo vertical. Seria de se esperar que aparecesse uma probabilidade de fracasso a baixas densidades de população devido a um tipo de "efeito Allan", o fenômeno de redução da sobrevivência e da procriação a baixas densidades que é comum em muitas espécies (ver E.P. Odum, 1971). Para os seres humanos, a probabilidade de fracassar na manutenção de padrões de consumo adequados aumentaria a densidades muito baixas, devido às dificuldades decorrentes da falta de infra-estrutura, cooperatividade e outros benefícios da sociedade.

Uma vez que tenha sido selecionada uma probabilidade



máxima aceitável para o fracasso do colono (ponto "P" da Figura 3.2), a capacidade de suporte (K) é a densidade de população correspondente. Às densidades maiores, os efeitos dependentes de densidade causam a probabilidade combinada (dependente e independente de densidade) de fracasso até exceder "P". Em um caso onde os níveis de risco extremamente altos fazem com que a curva exceda a probabilidade máxima aceitável de fracasso do colono em todos os pontos, a solução razoável seria selecionar a probabilidade mínima de fracasso como o ponto correspondente a K.

PRESSUPOSIÇÕES NAS ESTIMATIVAS DE CAPACIDADE DE SUPORTE

As pressuposições das estimativas da capacidade de suporte freqüentemente invalidam as técnicas para os seus propósitos intencionados. Street (1969) identificou várias pressuposições comuns a tais estudos e criticou pesquisadores bem conhecidos no campo, como Carneiro (1960), Conklin (1959), e Brookfield & Brown (1963) por falta de atenção com as pressuposições. A crítica mais fulminante de Street é dirigida contra as pressuposições destes autores de que as práticas de agricultura e de pousio em uso no momento do trabalho de campo não resultem em degradação ambiental. Se estiver havendo degradação na área, então os valores da capacidade de suporte obtidos pela substituição do tempo de pousio, tempo de cultivo observados e assim por diante, pelos parâmetros de uma fórmula de cultura itinerante, irão exceder a capacidade de suporte sustentável.

Em estudos de capacidade de suporte muitas variáveis são freqüentemente presumidas como constantes ao longo do tempo. Elas incluem a tecnologia, padrões de consumo e alocação do uso da terra (Street, 1969). Outras pressuposições são freqüentemente feitas involuntariamente nas estimativas de capacidade de suporte, tais como as que são baseadas em formulas de cultura itinerante, inclusive os efeitos densidade-dependentes das pragas de insetos e ervas daninhas. Street enfatizou que esses problemas biológicos podem atuar de maneira a reduzir as produções a medida em que aumenta a intensidade do uso da terra. Por exemplo, o efeito benéfico de um pousio no controle de populações de pragas (Pool, 1972) e ervas daninhas (Popenoe, 1960) será perdido se o pousio for eliminado em favor de cultivo contínuo. Além disso, os estudos baseados em evidência da degradação da qualidade do solo e das taxas de regeneração, devem também encarar os problemas inevitáveis da medição da qualidade do solo, inclusive do difícil problema de medir nutrientes "disponíveis" relevantes para a predição da produção da

cultura.

VARIABILIDADE

Podem ser acrescentadas à lista de Street várias pressuposições adicionais. Uma, de grande importância, é a pressuposição que tem sido o foco do estudo da rodovia Transamazônica: a variabilidade. Os altos níveis de variabilidade que caracterizam a agricultura tropical reduzirão a capacidade de suporte tanto pela necessidade do plantio de um grande tampão de terra adicional cada ano como uma segurança contra a produção pobre e reduzindo a margem de fracasso que protege a população dos fracassos devidos tanto às causas relacionadas com a densidade como aos níveis de fundo de fracassos independentes de densidade. Em termos do relacionamento descrito na Figura 3.2, formula-se a hipótese que o aumento da variabilidade elevaria a curva para cima na região da probabilidade relativamente baixa do fracasso do colono à esquerda do gráfico, incluindo o ponto correspondendo à probabilidade máxima aceitável do fracasso do colono (P). Isso diminuiria a capacidade de suporte de k_1 para k_2 (Figura 3.3). A formulação inicial não antecipou o efeito da variabilidade no abaixamento da curva da probabilidade de fracasso da Figura 3.3 em suas densidades populacionais muito altas: esse resultado perfeitamente lógico foi descoberto ao se executar simulações do sistema da rodovia Transamazônica (Capítulo 5).

(Fig. 3-3)

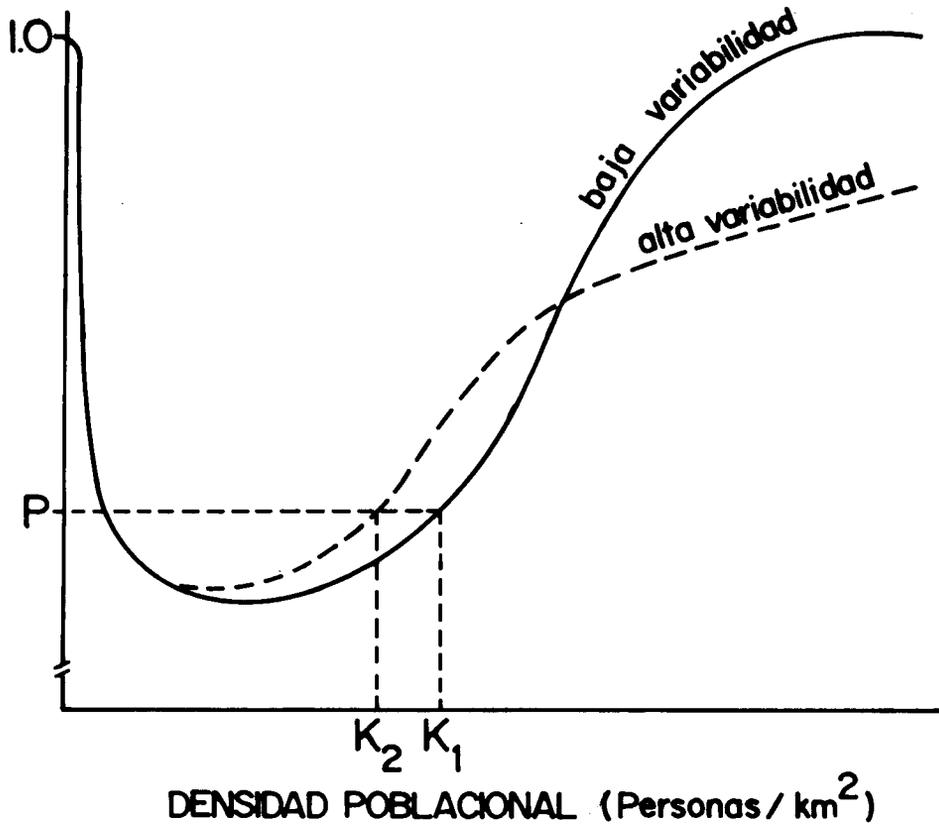
(Legenda da Figura 3-3)

Fig. 3.3. O efeito hipotético da variabilidade sobre as probabilidades de fracasso e sobre a capacidade de suporte. (Fonte: Fearnside, 1985e, s/d-c).

Muitas aplicações das fórmulas de cultura itinerante presumiram que se obtém uma produção constante a cada ano. Uma exceção importante é a clássica discussão de Allan do "excedente natural da agricultura de subsistência" proveniente de áreas tampão plantadas por agricultores de subsistência em Zambia como uma proteção contra as flutuações da produção (1965: 38).

FATORES LIMITANTES

PROBABILIDAD DE FRACASO DEL COLONO



DENSIDAD POBLACIONAL (Personas / km²)

Um problema periódico ao se fazer estimativas de capacidade de suporte é o de selecionar fatores limitantes apropriados. A maioria das estimativas que usam as fórmulas de cultura itinerante são baseadas em um único fator limitante, normalmente calorias.⁴ O mesmo é verdade para os modelos mundiais de Forrester & Meadows. A escolha das calorias muitas vezes é lamentável, pois as populações tropicais, para as quais foram feitas a maioria das estimativas, normalmente têm muito mais fontes imediatamente disponíveis de recursos de calorias a partir de culturas de raízes do que têm de proteína, especialmente de proteína animal. Basear uma estimativa de capacidade de suporte somente sobre calorias pode produzir resultados pelo menos uma ordem de grandeza mais alta do que as estimativas que incluem proteína animal. Usando-se somente calorias da mandioca, por exemplo, Fautereau (1952, citado por Carneiro, 1960) calculou que 1.250 pessoas/km² poderiam ser suportadas em uma área da Guiana Francesa. A importância da proteína foi reconhecida por Denevan (1970), Gross (1975), Lathrap (1968) e outros, mas as estimativas da capacidade de suporte baseadas em calorias somente ainda são comuns, e.g. Carol (1973) para África tropical e Shantzis & Behrens (1973) para os Maring, de Papua Nova Guiné, entre muitos outros exemplos.

Howard T. Odum tem lutado com o espinhoso problema dos fatores limitantes na capacidade de suporte, um objetivo final da maioria do seu trabalho: "A essência do problema da produção de alimento para o mundo é: qual é a capacidade de suporte da superfície do globo para o homem?" (1971: 125). Ao mesmo tempo ele reconhece as dificuldades com a sua abordagem de conversão de todos os fluxos em diferentes sistemas modelados em kilocalorias de energia: "A capacidade de suporte de uma área não pode ser computada na base do ganho de 3.000 calorias de energia, porque também são necessários os componentes especiais, cada um dos quais tem um custo de energia. O valor energético de uma vitamina não é seu valor potencial como combustível mas o gasto de energia necessário para manufaturá-la e entregá-la ao homem" (124).

A solução de Howard T. Odum para o problema dos componentes especiais, tais como vitaminas, é convertê-los em quantias maiores de energia do que se ganharia pela queima da mesma vitamina em um calorímetro. A simplicidade ganha pela conversão de tudo em uma moeda comum tem sido um instrumento valioso para desenvolver a compreensão de sistemas completos e de paralelos entre sistemas de tipos diferentes. Tem sido também valioso na elucidação de uma multidão de maneiras em que as sociedades tecnificadas atuais dependem desesperadamente do combustível fóssil para sua riqueza e

sobrevivência. Além das vantagens de ser capaz de visualizar um sistema humano inteiro a partir de uma única página de símbolos de fluxogramas, existem preços a pagar pela perda da informação. Um é a magnificação de erros provenientes da conversão de pequenas quantidades, como a vitamina no exemplo de Odum, para grandes quantias de calorias: pequenos erros na quantidade da vitamina resultariam em grandes erros no resultado calórico. Um problema mais fundamental é disfarçar as limitações dos recursos que não são tão facilmente substituíveis como as conversões calóricas poderiam sugerir. Limites culturalmente definidos das substituições aceitáveis podem ser uma complicação adicional (Bayliss-Smith, 1974). Um terceiro inconveniente é um que é compartilhado por esses modelos análogos com os modelos de sistemas dinâmicos de Forrester para computador digital (1970, 1971) é a perda de informação acerca da natureza e efeitos da variabilidade nos diferentes componentes, o que resulta na condensação da informação que representa o valor "médio" para todo um sistema em uma única caixa, seja ela rotulada "qualidade da terra" ou "kilocalorias". Todos esses problemas são indicações da dificuldade de se fazer determinações da capacidade de suporte baseadas em um único fator limitante.

O problema de fatores limitantes na capacidade de suporte tem sido tratado por Hubbell, que argumenta fortemente contra a "enxurrada de respostas de fatores únicos, nos últimos 20 anos" (1973: 95). Ele sugere ao invés que "vários fatores podem agir simultaneamente, concebivelmente igualmente" na limitação da capacidade de suporte instantânea. O mesmo também poderia ser dito para a capacidade de suporte sustentável.

Em seu estudo das populações aborígenes associadas aos antigos missões espanhóis na Baja Califórnia, Aschmann reconheceu que o problema de fatores limitantes únicos está intimamente ligado ao da variabilidade:

A disponibilidade sazonal de um alimento específica era provavelmente de maior significado do que a quantia presente. A capacidade de suporte da área, em termos de uma população humana que fez pouco esforço para armazenar alimento, precisa ser estabelecida em termos de o que estava disponível na estação mais pobre de vários anos, não em termos do suprimento médio de alimento. Conseqüentemente, um alimento disponível somente em pequenas quantidades e normalmente desprezado pode ser aquele que nos momentos críticos impede a inanição. A consideração de somente os dez ou vinte alimentos

mais importantes pode perder esse aspecto crítico da economia do alimento (1959: 78).

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Intimamente associado com o problema dos fatores limitantes no contexto da estimativa da capacidade de suporte sustentável está a definição de degradação ambiental. Nos estudos voltados para um único fator limitante, tal como calorias, é possível contornar esse problema simplesmente pelo equacionamento da degradação com qualquer coisa que reduza o suprimento do nutriente limitante e, em consequência, a capacidade de suporte. Carneiro (1960), por exemplo, deixa a degradação inteiramente fora de sua definição. É possível um tratamento muito mais flexível das capacidades de suporte sustentáveis, se se puder acrescentar restrições sobre a degradação como fatores limitantes adicionais que permitirão que uma área seja vista como uma colcha de retalhos de subáreas classificadas diferentemente para as quais se aplicam diferentes padrões de degradação permissíveis. O trabalho de Eugene Odum (1969) sobre a estratégia do desenvolvimento do ecossistema aponta o caminho para essa forma de tomada de decisão em capacidade de suporte baseada em múltiplos critérios. O ambiente é visto como um mosaico de trechos alocados para usos diferentes, com diferentes padrões ambientais a serem mantidos: alguns podem estar alocados para usos que resultam em uma "degradação" por algum critério, enquanto que outros podem permanecer em condição primitiva. A manutenção da integridade dos vários tipos de floresta e reservas biológicas na Amazônia, que têm sido criadas pelo governo brasileiro, é um exemplo desse tipo de critério. Tal critério não pode ser facilmente traduzido em moeda comum tal como kilocalorias para uso em modelos de fatores limitantes únicos.

SELEÇÃO DE PADRÕES APROPRIADOS

Selecionar padrões apropriados para as capacidades de suporte sustentáveis não é tão fácil como pode parecer de início. Preconceitos culturais dos investigadores de sistemas de subsistência podem freqüentemente levar a decisões não apropriadas. Nietschmann (1971) reviu o problema de erro sistemático em estudos de subsistência. No entanto, em áreas de agricultura pioneira completamente integradas na economia monetária, como na rodovia Transamazônica, preconceitos culturais não apresentam um

problema tão difícil. A seleção dos critérios, de qualquer forma, permanece um processo fundamental e um tanto arbitrário.

CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA TERRA

Pressuposições relacionadas à classificação da qualidade da terra têm apresentado dificuldades na estimativa da capacidade de suporte, independentemente da técnica aplicada. Alguns estudos da fórmula da cultura itinerante têm simplesmente presumido qualidade constante de terra "arável" (e.g. Carneiro, 1960). Outros fizeram adaptações das fórmulas básicas para acomodar as diferentes classes de qualidade da terra.⁵ Em simulações altamente agregadas tal como os modelos mundiais de Forrester & Meadows, existe também um englobamento de toda a terra "arável" como equivalente. A geração de trechos individuais de terra no modelo KPROG2 da rodovia Transamazônica reduziu a perda da variabilidade pelo englobamento das qualidades da terra em uma ou em algumas poucas classes de qualidade.

TROCA ECONÔMICA

As pressuposições a respeito do isolamento do sistema sob estudo das trocas com o mundo exterior pode afetar grandemente os resultados da capacidade de suporte. Para as tribos aborígenes a pressuposição do isolamento está freqüentemente mais ou menos justificada, mas a situação pode mudar radicalmente onde as economias monetárias se introduzem. No estudo de Nietschmann (1972, 1974) dos índios Miskito, da Nicarágua essa intrusão resultou na destruição das populações de tartaruga marinha da qual dependiam os Miskito. De maneira semelhante, o estudo de Gross & Underwood (1971) do nordeste do Brasil indicou que os agricultores mudando para uma economia de venda baseada em sisal não podiam mais comprar a dieta com a mesma qualidade que haviam apreciado inicialmente proporcionada pela agricultura de subsistência. A variabilidade nos preços do mercado obtida por cada cultura pode também fazer com que a super-dependência da troca com a economia do mercado seja uma causa para o fracasso do colono. A discussão de H.T. Odum em 1971 sobre os efeitos que elevam a capacidade de suporte dos subsídios de força exterior a partir de combustíveis fósseis representa o efeito mais amplamente apreciado de tais trocas.

Trocas dentro da população, bem como as que são efetuadas com o mundo exterior, podem afetar a capacidade de suporte protegendo os indivíduos contra os revezes e

desequilíbrios de sua produção (Freeman, 1955; Sahlins, 1972). Relacionada com isso está a dificuldade em substituir itens específicos por outros, tanto no caso de alimentos quanto de não alimentos.

No caso de sistemas abertos como o da rodovia Transamazônica, as trocas com o exterior se relacionam intimamente com as mudanças da tecnologia agrícola e nos padrões de alocação. As mudanças podem resultar de novos hábitos entre a população existente que acompanham a importação de novas variedades de sementes ou outro material, ou novidades comportamentais ou, como parece ser predominante no momento, do contínuo fluxo de novas famílias de colonos com padrões de comportamento diferentes.

MODELOS PARA A ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE SUPORTE

Os modelos elaborados para a estimativa da capacidade de suporte nos agro-ecossistemas da rodovia Transamazônica foram destinados a evitar as pressuposições anteriores. As características desses modelos são discutidas no Capítulo 5. Espera-se que os modelos sejam utilizados como uma base para futuros estudos e que possam, no futuro, sugerir respostas a algumas perguntas teóricas que marcam a estimativa da capacidade de suporte humano nos agro-ecossistemas tropicais.

MODELOS DE SIMULAÇÃO

A abordagem mais prática para modelar sistemas ecológicos complexos tal como a região da rodovia Transamazônica é o uso de simulações. As simulações normalmente dependem de cálculos matemáticos, ou seu equivalente, mas diferentemente de modelos analíticos, não levam a uma solução que tenha sido "provada", ou deduzida a partir de princípios fundamentais através de uma cadeia de raciocínios matemáticos. Em vez disso, eles usam os relacionamentos no sistema, normalmente abstraídos em um modelo como uma série de equações, para calcular empiricamente os resultados que forem obtidos com um ou com uma série de conjuntos de exemplos específicos de condições iniciais. A simulação possibilita ao investigador aprender mais a respeito do sistema do mundo real que é representado pelo modelo. Muitos modelos são destinados especificamente para uso em simulação. É necessário um vasto número de cálculos de rotina para executar simulações com esses modelos, pois o efeito do tempo é imitado pela "iteração" (ou seja, pela repetição) dos cálculos feitos com as equações diferenciais representando as taxas de mudança. Assim, o uso

de computadores eletrônicos é uma vantagem na execução da simulação, tanto pela sua velocidade quanto pela minimização do erro humano. Qualquer simulação que possa ser feita com a ajuda de um computador poderia ser igualmente feita com um lápis e papel: a contribuição do computador é apenas a velocidade.

Dois tipos de computadores são úteis para simulações. O primeiro é o computador análogo, uma forma de modelo físico que substitui os componentes eletrônicos, tais como as resistências e condensadores, para relações matemáticas. Os componentes são ligados por fios elétricos para representar os fluxos dentro do sistema, e é passada uma corrente (constante ou não) através do circuito. A voltagem em diferentes pontos diz ao investigador como estoques e fluxos de energia ou materiais poderiam se comportar no sistema real análogo. Modelos análogos, que são especialmente apropriados para representar o fluxo de energia nos ecossistemas, foram desenvolvidos para um amplo âmbito de sistemas humanos bem como não humanos (H.T. Odum, 1971, 1983).

O segundo tipo de computador é o computador digital, que representa os relacionamentos do sistema por equações matemáticas para cálculos numéricos. Os computadores digitais são usados para análise de dados e uma variedade cada vez maior de aplicações computacionais na vida diária, além de uma grande variedade de simulações. Sua flexibilidade faz com que sejam altamente apropriados para modelar as redes complexas de relacionamentos nos ecossistemas no mundo real.

VANTAGENS DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

Os modelos de simulação têm várias vantagens nítidas sobre outros. Seus resultados são quantitativos e portanto menos abertos a erros de interpretação e mais fáceis de verificar do que resultados qualitativos. Como as simulações podem ser repetitivas, as chances de identificação e eliminação de erros são muito aumentadas, tanto quando o modelo inicial é desenvolvido quanto quando a comunidade científica o examina e critica. A simulação também permite o exame de cenários hipotéticos que seriam impossíveis ou impraticáveis de serem testados diretamente usando-se o sistema do mundo real. A construção de modelos de simulação impõe (ou deveria impor) uma disciplina sobre os pesquisadores: os modeladores precisam coletar pelo menos alguns dados sobre todos os componentes do modelo; nenhum pode ser ultrapassado, como freqüentemente ocorre em uma descrição em prosa de um argumento ou modelo. As simulações

podem também integrar informação sobre sistemas extremamente complexos, estendendo assim o alcance da mente humana na interpretação de fenômenos complicados. As conclusões alcançadas são portanto menos restritas ao domínio daquilo que já foi intuitivamente aceito pelo pesquisador. A velocidade das simulações, combinada com sua repetibilidade, faz com que sejam estruturas ótimas para a interpretação de novas informações. Os modelos de simulação podem ser expandidos para incluir itens adicionais ou podem ser melhoradas para fazer uso de informações melhores sobre itens já incluídos, muito mais rapidamente e com mais segurança do que outros tipos de modelos. Todas essas características fazem com que os modelos de simulação sejam ideais para o estudo dos ecossistemas, inclusive dos agro-ecossistemas.

Naturalmente, os pesquisadores que usam modelos de simulação e interpretam seus resultados devem estar cientes de algumas armadilhas: supersimplificação que resulta da seleção de componentes pela sua facilidade de medição em vez de sua importância para o funcionamento do sistema real⁶; não coletar dados adequados para parametrizar o modelo, i.e., obter estimativas das entradas dos modelos ("lixo entra, lixo sai"); e uma tendência a extrair informação a partir de um modelo que não foi destinado a produzi-la, e.g. deduzir datas precisas de eventos futuros a partir de um modelo destinado a reproduzir modos de comportamento.⁷

PASSOS NA FORMULAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO

Os passos envolvidos na condução da pesquisa com ajuda de modelos de simulação são muito semelhantes aos do método científico tradicional (Tabela 3.2), com a diferença que o modelo precisa ser projetado e verificado, e que as experiências sejam conduzidas no modelo em vez de serem conduzidas em uma parte do próprio mundo real.

(Tabela 3-2)

TABELA 3.2. OS DOIS MÉTODOS

Método Científico Tradicional	Método com Simulação
Observação (informações gerais sobre o sistema)	
Definição do problema (pergunta)	
Geração de idéias (conjecturas de como o sistema funciona = modelo mental)	Formulação de um modelo formal (identificação dos componentes e relacionamentos, propósito do modelo e horizonte de tempo)
Formulação de uma hipótese (uma afirmação testável)	Medição de parâmetros
Identificação das predições que seguem da hipótese (manipulação de uma parte do sistema do mundo real)	Quantificação dos relacionamentos funcionais Projeto de uma experiência Simulação (experimentando com o modelo, inclusive formulação de hipóteses e predições e aquisição e análise dos dados sobre os resultados do comportamento do modelo)
Coleta de dados	
Análise dos dados	Testes de sensibilidade (dados de entrada ou estrutura mudados)
Interpretação dos resultados	

(comparação com as predições)

Conclusões sobre o sistema
do mundo real

Validação

(comparação com o com-
portamento conhecido do
sistema no mundo real)
Conclusões sobre o modelo

A coleta de informações gerais sobre o sistema e a identificação de um problema não ocorrem necessariamente em uma ordem seqüencial. Freqüentemente uma questão é selecionada como importante por razões teóricas baseando-se em informações gerais a partir de um ou mais ecossistemas (e até de teorias não relacionadas com qualquer ecossistema real), e é feita então uma pesquisa para encontrar a locação apropriada para conduzir a investigação. Por exemplo, no estudo da capacidade de suporte da rodovia Transamazônica, o efeito da variabilidade sobre a capacidade de suporte foi avaliada como importante baseando-se em observações dos agro-ecossistemas em outros países, e somente mais tarde foi selecionada a Amazônia brasileira como o lugar apropriado para a realização do estudo.

Uma vez que o problema tenha sido definido e informações básicas tenham sido coletadas, é preciso gerar as idéias a respeito de como o sistema poderá operar. Tais conjecturas levam a um modelo mental, ou verbal, que serve como um ponto de partida para testes mais concretos das possibilidades, tanto através da experimentação tradicional quanto da simulação.

Uma parte essencial do sistema que opera para produzir avanços do conhecimento científico em geral é a geração de idéias, que produz teorias novas e ainda não testadas. Isto desempenha um papel análogo ao da geração de variabilidade genética através da mutação e recombinação na evolução orgânica. O "teorema fundamental da seleção natural" (Fisher, 1958) sustenta que a taxa da evolução é proporcional à variabilidade genética em uma população. Muito da mesma maneira que a seleção natural age para produzir sobrevivência e reprodução diferenciais entre os genótipos concorrentes, o processo paralelo da evolução da ciência ocorre através da experimentação e comparação com teorias rivais.

Os modelos têm variáveis de estado, ou quantidades que representam os componentes do modelo, afetados por outros componentes e por influências fora dos limites do sistema. As influências de fora do sistema que afetam os componentes mas não são afetadas por eles são chamadas de parâmetros quando são constantes e de funções forçantes quando variam.⁸

Agrupar itens do mundo real em componentes de modelo é um passo importante na formulação do modelo. O critério convencional entre muitos (mas não todos) modeladores sustenta que os processos complexos podem ser melhor dissecados em um grande número de componentes muito simples, em vez de em um pequeno número de unidades relativamente

complexas (Watt, 1966: 3). O melhor nível de complexidade a ser mantido em um modelo é assunto de debate, com alguns modeladores preferindo agrupar toda a informação em um esquema tão simplificado quanto possível. Até certo ponto essas decisões dependem da quantidade e qualidade da informação disponível e dos objetivos do esforço da modelagem. Uma formulação clara dos objetivos do modelo é essencial para projetar um modelo apropriado, como o é também o horizonte de tempo ao longo do qual espera-se que o comportamento do modelo represente razoavelmente o sistema do mundo real.

Os componentes de um sistema são freqüentemente representados por caixas em diagramas de fluxo com relacionamentos causais entre eles, representados por setas. Os diagramas são uma ajuda na organização do pensamento sobre o sistema em preparação para traduzir esses relacionamentos em um programa, ou conjunto de instruções a serem seguidas através de uma cadeia de cálculos necessários para imitar as mudanças no sistema. O potencial de economia de tempo de um computador pode ser aproveitado a esse ponto se o programa for escrito em instruções codificadas em uma linguagem como FORTRAN.

Diagramas de fluxo dos relacionamentos do sistema e programas construídos a partir deles, são normalmente caracterizados por várias alças, que são laços ou caminhos fechados que retornam ao seu ponto de origem para influenciar seu próprio comportamento. Existem dois tipos de alças de retroalimentação, com resultados radicalmente diferentes para o comportamento do sistema ou modelo. As alças de retroalimentação positiva reforçam tendências na direção do aumento ou decréscimo do valor de variáveis, enquanto que a alça de retroalimentação negativa tende a reverter os desvios a partir de um estado estável. O resultado de uma alça positiva é que os valores ou variáveis ou explodem ou entram em colapso. Uma alça negativa tende a abafar as oscilações no valor das variáveis, mantendo-as assim aos níveis estáveis. As representações esquemáticas dos relacionamentos de um sistema são elas próprias uma forma de modelo e podem transmitir uma quantidade significativa de informações sobre os padrões de comportamento do sistema. A dificuldade na interpretação desses diagramas aumenta à medida em que a estrutura do modelo se torna mais complexa. Várias alças positivas e negativas podem estar agindo na mesma variável, sendo que a resposta pode ser complicada demais para ser prevista sem se realizar os cálculos com a execução do programa de computador correspondente.

Uma vez que a estrutura do programa está definida, os

dados quantitativos precisam ser coletado para fornecer valores tanto para os parâmetros do modelo quanto para os relacionamentos funcionais. Os relacionamentos funcionais definem como uma variável se altera em relação às variáveis e parâmetros causalmente ligados a ela. Para o modelo representar, de maneira adequada, as partes de um sistema da vida real, tanto a estrutura do modelo quanto os valores das entradas precisam ser baseados em informações que vêm do campo. A falta de observação de campo adequada é uma desvantagem importante para muitos estudos ecológicos baseados em simulação. Os parâmetros e relacionamentos funcionais podem ser quantificados em conjunção com o desenvolvimento da estrutura do modelo, à medida em que a percepção do pesquisador de quais fatores são importantes vai mudando durante o processo de coleta de dados. Os modelos são normalmente simplificados e expandidos para refletir uma melhor compreensão de como funciona o sistema, derivada de observações de campo e de informações sobre o comportamento do modelo que se tornam disponíveis quando se executam as simulações usando-se as versões preliminares dos modelos para computador.

Fazer testes de sensibilidade é uma maneira de usar o modelo de simulação para produzir informação útil, tanto sobre as peculiaridades do modelo quanto sobre o sistema real. É feita uma série de execuções usando-se valores alternativos para parâmetros de entrada, e ocasionalmente usando-se estruturas alternativas do modelo. O comportamento das variáveis de estado é observado sob suposições alternativas para quantificar o efeito relativo da, digamos, duplicação ou da redução pela metade de cada parâmetro. A partir dessa informação pode-se tirar conclusões a respeito da "robustidão" do modelo às suposições alteradas: um modelo pode ser capaz de produzir resultados realísticos somente dentro de um âmbito estreito de valores de parâmetros, pois muitos dos laços de retroalimentação negativa que agem para estabilizar o comportamento do sistema do mundo real sob condições extremas, podem ter sido omitidos para simplificar o modelo. O teste da sensibilidade também revela quais os parâmetros que têm o maior efeito global sobre o comportamento do sistema, melhorando a representação do sistema pelo modelo, concentrando-se o esforço da pesquisa futura na melhoria das medições desses parâmetros e elaborando partes do modelo onde eles podem desempenhar um papel maior. A identificação desses parâmetros fornece informações úteis sobre o sistema no mundo real, indicando, por exemplo, os componentes do sistema que podem ser mais facilmente manipulados para o benefício dos seres humanos.

Pode-se identificar fatores com maiores influências para aumentar as produções das culturas, reduzir a pobreza ou reduzir os riscos de fracasso dos agricultores.

Um passo adicional vitalmente importante para se assegurar a relevância dos resultados simulados para os sistemas do mundo real é a validação (Mankin et al., 1977), ou a comparação do comportamento do modelo com o que se conhece do sistema real, como uma maneira de se verificar a adequação do modelo como um todo. Caso que são aparentes diferenças claras em aspectos importantes do comportamento do modelo dentro do âmbito dos valores dos parâmetros no qual o sistema real normalmente opera, deve-se duvidar da confiabilidade dos resultados para os valores dos parâmetros fora desses âmbitos, tal como os que poderiam ser usados na construção de cenários hipotéticos para testar possíveis políticas ou opções de manejo.

As conclusões matemáticas que resultam do comportamento do modelo devem ser interpretadas em termos de conclusões sobre o sistema do mundo real. Esse salto a partir do modelo para o mundo real requer uma apreciação das suposições feitas na abstração do modelo a partir do sistema real, fraquezas em dados de entrada e na estrutura do modelo e diferenças entre o comportamento do modelo e o do sistema. A interpretação requer também consciência do propósito original do modelo.

Tanto na pesquisa tradicional quanto na pesquisa ajudada por modelos de simulação, atingir uma dada conclusão não significa o fim do processo. Antes, existe uma retroalimentação de informação obtida a partir do estudo para a geração de novas idéias, que serão, por sua vez, peneiradas através do processo de testes, ou pela manipulação do próprio sistema ou por simulação. Esse processo cíclico contínuo forma a base do progresso científico.