

Interações localizadas e persistência populacional: resultados de um Modelo Baseado no Indivíduo espacialmente explícito

Henrique Corrêa Giacomini; Programa de Mestrado em Zoologia, Departamento de Ecologia, Unesp – Rio Claro; e-mail: hcg@rc.unesp.br

Introdução

O estudo das interações entre espécies, e suas conseqüências na dinâmica e persistência populacional, é um dos focos da Ecologia de Populações. Ao longo de décadas, modelos matemáticos clássicos como os de Lotka-Volterra constituíram a base teórica para estudos sobre o tema. Seu uso propiciou uma compreensão abrangente acerca de fenômenos importantes na dinâmica de comunidades (May 1973). Entretanto, tão importante quanto apreciar suas conclusões, é necessário conhecer seus pressupostos e entender como estes podem interferir no comportamento do modelo. Os modelos populacionais clássicos são versões idealizadas de sistemas físicos muito simplificados. Eles modelam apenas densidades populacionais médias, ignoram diferenças individuais, não tratam explicitamente os indivíduos como unidades discretas e nem incluem detalhes de história de vida dos organismos. Desde o fim da década de 80, os Modelos Baseados no Indivíduo (MBI) vêm ganhando crescente importância, com a tentadora promessa de unificar a teoria ecológica (Huston *et al.* 1988; para uma visão crítica, veja Grimm 1999). Os MBI modelam explicitamente os indivíduos e permitem um maior detalhamento de suas características e diferenças. Essa abordagem já tem apresentado resultados teóricos relevantes. A persistência populacional, elemento-chave em Ecologia de Populações, mostrou-se substancialmente afetada pela existência de diferenças individuais (Uchmanski 2000) e pela admissão dos indivíduos como entidades discretas (Shnerb *et al.* 2000), fatores exacerbados quando as populações são pequenas. Outro fator de importância, normalmente ignorado por modelos clássicos, é a localização de interações. Ao não incluir o espaço explicitamente, esses modelos assumem que todos os indivíduos podem interagir com qualquer outro indivíduo, num dado intervalo de tempo. Sabe-se que, na realidade, a ação de um organismo é restringida por sua localização e sua capacidade de dispersão. A restrição de dispersão tem o efeito de diminuir a amplitude das oscilações populacionais de predador (consumidor) e presa (recurso), como demonstrado por alguns MBI (Cuddington&Yodzis 2000; De Roos *et al.* 1991). Nestes modelos, a limitação de dispersão é usada para investigar apenas as conseqüências na dinâmica de consumo, deixando de lado os efeitos deletérios que a limitação pode causar, como depressão populacional por dificuldades de reprodução (efeito Alee).

Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar, por meio de um MBI, alguns dos efeitos da limitação na dispersão sobre a dinâmica de um sistema consumidor-recurso, levando em conta aspectos tanto do consumo quanto de um sistema sexuado de reprodução.

Material e Métodos

O MBI foi programado dentro do sistema Matlab. As seguintes regras de construção resumem o seu funcionamento: i) o “espaço” é homogêneo e fechado, podendo ser subdividido em quadrados, cada um contendo um único recurso (medido em biomassa), definido pelos parâmetros de crescimento logístico r e K ; ii) os indivíduos consumidores, machos e fêmeas, são explicitamente modelados; iii) cada indivíduo tem massa inicial ao nascer, longevidade, idade de maturação e intervalos reprodutivos pré-definidos; iv) o gasto energético (metabólico) fixo e a ingestão potencial do recurso são definidos por relações alométricas com o peso, através de funções potência [$\text{Gasto ou Ingestão} = a * (\text{peso})^b$]; v) em cada intervalo de tempo, o ganho líquido, dado pela diferença entre a ingestão e o gasto, é usado para crescimento corporal e/ou para reprodução; vi) a produção de filhotes depende da proporção do ganho líquido investido para o fim e da massa inicial do filhote, que em conjunto definem quantos deste serão produzidos; vii) o consumo e a reprodução são locais, ocorrendo só entre indivíduos do mesmo quadrado; viii) a competição ocorre quando a oferta de recurso no quadrado é menor do que a demanda potencial dos consumidores em conjunto, sendo assimétrica, ou seja, o recurso é repartido desigualmente, tendo os indivíduos maiores maior chance de acessar o recurso; ix) o recurso recoloniza locais onde foi esgotado; x) em cada intervalo de tempo, cada indivíduo pode mudar para um dos quadrados vizinhos, de forma aleatória e com uma chance de movimentação pré-definida. Mesmo sendo um MBI, este modelo é relativamente simplificado, pois tem um propósito, de certa forma, generalista. Para simular diferentes capacidades de dispersão, foram usados 10 cenários diferentes, com as subdivisões espaciais: 1x1, 2x2, 4x4, 8x8, 12x12, 16x16, 20x20, 24x24, 28x28 e 32x32. No cenário sem subdivisão espacial (1 quadrado), a capacidade de dispersão é máxima, no sentido de que os indivíduos são onipresentes, podendo interagir com quaisquer outros. Noutro extremo (32x32), a subdivisão é máxima e a ação dos indivíduos mais restrita. Os seguintes parâmetros foram adotados: tempo de simulação = 200, taxa de crescimento do recurso (r) = 1, capacidade suporte total (K) = 30000, longevidade = 36, tempo de maturação = 12, intervalo reprodutivo = 6, chance de movimentação = 80%, investimento reprodutivo = 80%; massa do filhote = 0.05, $\text{Ingestão} = 2.5178 * \text{peso}^{0.75}$, $\text{Gasto} = 2 * \text{peso}^{0.86}$. Os expoentes das últimas equações refletem padrões ontogenéticos, sendo escolhidos conforme informações na literatura (Peters 1983), e escalados de forma a produzir uma curva potencial de crescimento com peso máximo de 10. Os outros parâmetros foram escolhidos de forma arbitrária. Para cada cenário, foram feitas 100 simulações, e o tempo de persistência populacional em cada uma, arquivado.

Resultados e conclusões

As simulações resultaram nos seguintes tempos de persistência médios (desvio-padrão): 20.13(0.63), 21.38(3.6), 66.51(32.64), 97.98(49.5), 165.52(49.6), 200(0), 198.64(7.52), 102.80(28.18), 65.67(15.04), 48.00(7.61), de 1x1 até 32x32.. Ou seja, a persistência populacional tende a apresentar um pico em torno de subdivisões intermediárias. Em subdivisões menores, a população consumidora e o recurso apresentam oscilações amplas e sincronizadas, em decorrência da influência global de um sobre o outro. Aumentando a subdivisão, as pequenas subpopulações passam a apresentar oscilações assíncronas, que, em média, atuam estabilizando globalmente o sistema. Nos cenários com maior subdivisão, o decréscimo da persistência se deve à exacerbação do efeito Alee. Nestes casos, a baixa probabilidade de ocorrência de indivíduos aptos para reprodução em um mesmo quadrado, leva sempre a uma produção insuficiente de filhotes. A hipótese da influência do efeito Alee em subdivisões maiores foi testada por meio de mais simulações (de novo, 100 para cada cenário). Nestas, as fêmeas podiam se reproduzir independente da presença de machos reprodutivos num mesmo quadrado. Os tempos de persistência médios foram: 20.11, 21.37, 155.48, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200. Isso mostra que o decréscimo na persistência se deve mesmo à dificuldade de reprodução local. O último resultado está de acordo com outros modelos que não utilizam reprodução sexuada. Num deles, Cuddington&Yodzis(2000) argumentam que a maior estabilidade promovida pela incorporação de interações locais e limitação na dispersão pode ser explicada simplesmente pela diminuição na eficiência de assimilação do recurso. Tal efeito é predito, inclusive, pelo modelo Lotka-Volterra de predador-presa. É possível, entretanto, que os efeitos “eficiência diminuída” e “oscilações locais assíncronas” se complementem para conferir maior estabilidade ao sistema. O presente trabalho mostra que a relação entre subdivisão espacial (limitação de dispersão) e persistência populacional pode não ser monotônica se os efeitos limitantes da localização espacial se estenderem também ao processo de reprodução sexuada. A robustez dos resultados precisa ainda ser verificada por meio de uma gama maior de valores dos parâmetros nas simulações.

Referências Bibliográficas

- Cuddington, K.M. & Yodzis, P. (2000). Diffusion-limited predator-prey dynamics in euclidean environments: an allometric individual-based model. *Theoretical Population Biology* 58: 259-278
- De Roos, A.M.; McCauley, E. & Wilson, W.G. (1991). Mobility versus density-limited predator-prey dynamics on different spatial scales. *Proceedings of the Royal Society of London B* 246: 117-122
- Huston M, DeAngelis D, Post W (1988) New computer models unify ecological theory. *Computer simulations show that many ecological patterns can be explained by interactions among individual organisms. BioScience* 38:682-691
- May,R.M (1973). *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton University Press.
- Grimm V (1999) Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? *Ecological Modelling* 115:129-148
- Peters, R.H. (1983) *The ecological implications of body size*. Cambridge University Press, Cambridge
- Shnerb, N.M.; Louzoun, Y.; Bettelheim, E.; Solomon, S. (2000). The importance of being discrete: Life always wins on the surface. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 97 (19):10322-10324
- Uchmanski, J. 2000. Individual variability and population regulation: an individual-based model. *Oikos* 90(3): 539-548
- (Agradecimentos: ao CNPq pelo imprescindível apoio financeiro, por meio da bolsa de mestrado; ao meu orientador Dr. Miguel Petrere Jr. e ao prof. Dr. Paulo De Marco Jr. pelo investimento a mim dedicado, pelas conversas e amizade)