

O ENRIQUECIMENTO E A TRITURAÇÃO DA CAPOEIRA PROMOVEM A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DO SOLO NO MOSAICO DA AGRICULTURA FAMILIAR NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Rousseau, G.X.^{1*}, Silva, P.R.S.¹, Kato, O.R.², Carvalho, C.J.R.²

RESUMO: *A paisagem fragmentada (mosaico) que resulta da agricultura familiar de corte-queima é mais amigável com o meio ambiente e a biodiversidade vegetal do que a agricultura de larga escala. No entanto, a diminuição do tempo de pousio e a redução das florestas maduras na paisagem ameaçam a sustentabilidade desse modelo de agricultura. O déficit de acumulo de biomassa leva a queda de nutrientes no solo e de produção. Nesse contexto, o enriquecimento de capoeiras e a substituição do uso do fogo pela trituração da biomassa são práticas agroflorestais que conservam os nutrientes, protegem o solo e sustentam a produção. No entanto, o potencial de conservação da diversidade do solo dessas práticas é pouco documentado. Nesse estudo, avaliou-se a diversidade de minhocas, formigas (gêneros) e grupos funcionais da macrofauna do solo em seis usos do solo: roça com queima; roça com trituração de capoeira enriquecida; pasto com queima; pasto com trituração da capoeira natural; capoeira de 20 e de 40 anos em Igarapé-Açu (Pará, Brasil). Calculou-se o índice INDVAL para identificar os táxons indicadores dos usos do solo. A roça com trituração tem uma diversidade de grupos funcionais similar a capoeira antiga e, de acordo com o INDVAL, hospeda populações específicas de gastrópodos e homópteros, conservando uma parcela exclusiva da biodiversidade do solo nessa paisagem. Esse resultado reforça a necessidade de introduzir práticas agroflorestais sem fogo na agricultura familiar e a importância de conservar capoeiras antigas na ausência de florestas primárias.*

Palavras chaves: macrofauna do solo, uso do solo, diversidade funcional, INDVAL, minhoca, formiga.

ABSTRACT: *The fragmented landscape (mosaic) that results from the slash-and-burn smallholder agriculture was proved to be more favorable to the environment and plant diversity than large-scale agriculture. However, reduced fallow duration and disappearance of old-growth forests from the landscape threaten the sustainability of this agriculture. In particular, the deficit in biomass accumulation in the fallow reduces nutrient transfer to the soil and production. In this context, fallow enrichment and substitution of slash-and-burn by chop-and-mulch are agroforestry practices that conserve nutrients, protect the soil and sustain production. Nevertheless, the potential of soil biodiversity conservation of these practices is poorly documented. In this study, we evaluated earthworm, ants (genders) and macrofauna functional groups diversity of six soil uses: slash-and-burn crop; chop-and-mulch crop after enriched fallow; slash-and-burn pasture; chop-and-mulch pasture after natural fallow; 20 and 40-y-old fallows, in Igarapé-Açu (Pará, Brazil). We calculated the INDVAL index to identify the taxa indicators of each soil use. The chop-and-mulch crop had a functional group diversity similar to the old fallow and, according to INDVAL, hosted specific populations of gastropoda and homoptera, thus conserving an exclusive fraction of soil biodiversity in this landscape. These results confirmed the need to introduce no-fire agroforestry practices in the smallholder agriculture, along with the significance to preserve old fallow where primary forests no longer exist.*

Key words: soil macrofauna, soil use, functional diversity, INDVAL, Earthworm, Ant.

Introdução

Os processos de mudanças do uso do solo na Amazônia são intensos desde o final dos anos 1960. O padrão principal é a conversão da vegetação nativa para a agricultura através da extração de madeira e a queima das florestas. A pecuária de grande porte e a agricultura de corte-queima são os usos do solo

que dominam nas áreas desmatadas (Nepstad et al., 2001). No entanto, a baixa fertilidade dos solos leva ao abandono (depois de 10-20 anos) das áreas convertidas em pastagens (Alfaiai et al., 2004) e ao pousio (depois de 3-4 anos) das terras convertidas para os cultivos de ciclo curto (Denich et al., 2005). A paisagem que resulta desse processo de colonização é um mosaico de terras agrícolas e florestas secundárias de diferentes idades (Vieira et al., 1996). Os efeitos das mudanças do uso do solo sobre a diversidade vegetal foram relativamente bem documentados (Vieira et al., 1996; Baar et al., 2004). No entanto, pouca informação está disponível sobre a diversidade da macrofauna do solo na Amazônia e sobre sua resiliência frente ao desmatamento (Mathieu et al., 2005). Nesse contexto, as florestas secundárias (capoeiras) tem um papel chave para a conservação da diversidade do solo (Dunn, 2004) e das plantas (Vieira et al., 1996; Baar et al., 2004), mas foram pouco estudadas por sua fauna do solo (Mathieu et al., 2005).

Considerando o papel fundamental da macrofauna do solo e da sua diversidade no funcionamento do solo (Lavelle et al., 1997, 2006; Ekschmitt e Griffiths 1998), esse estudo visa a caracterização das minhocas, formigas e dos outros grupos funcionais da macrofauna em seis usos do solo (duas capoeiras, roças e pastos preparados com corte-queima ou trituração da capoeira) da região Bragantina, na Amazônia Oriental. O primeiro objetivo foi avaliar os efeitos dos usos do solo sobre a diversidade das comunidades de invertebrados do solo e, o segundo objetivo, construir listas de táxons indicadores dos usos do solo estudados.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e na Comunidade de Santa Luzia no município de Igarapé-Açu (Pará, Brasil). O clima é equatorial úmido, os solos são classificados como Argisolo amarelo textura arenosa/média (Embrapa, 2006) e a cobertura vegetal original é floresta tropical úmida sempre verde e semi-decidual.

Usos do solo

Os usos do solo avaliados foram: 1) capoeira de 40 anos (C40); 2) capoeira de 20 anos (C20); 3) roça preparada com corte e queima (RQ); 4) roça preparada com corte e trituração de capoeira enriquecida (RT); 5) pastagem preparada com corte e queima (PQ); 6) pastagem preparada com corte e trituração de capoeira natural (PT). As roças foram preparadas a partir da mesma capoeira de 15 anos usando o corte-queima tradicional ou o corte-trituração com um triturador FM 1600 AHWI acoplado a um trator (Denich et al., 2004). Cinco (05) ha da capoeira de 15 anos foram conservados como controle. Três transectos lineares de sete pontos amostrais (20-25 m entre os pontos) foram posicionados em cada parcela. Todos os pontos foram amostrados durante a estação chuvosa (março 2006) e durante a estação seca (outubro 2006).

Macrofauna do solo

A macrofauna foi coletada manualmente em monólitos de solo de 25x25x15 cm seguindo o método TSBF (Tropical Soil Biological Fertility; Anderson e Ingram, 1993). Os artrópodes foram conservados em álcool 80% e identificados até o gênero para as formigas e até a ordem (nível taxonômico máximo) para os grupos funcionais da macrofauna (Lavelle et al., 2003). As minhocas foram conservadas em formol 4% e identificadas até o gênero. Os invertebrados foram numerados e sua diversidade foi avaliada a partir da riqueza específica (S) e do índice de diversidade de Shannon-Wiener (H).

Análises estatísticas

O índice INDVAL foi calculado com o programa IndVal 2.1 (Dufrene, 2004) que produz listas de táxons indicadores para qualquer tipologia de sítios. Cada táxon indicador recebe um valor de índice (0-100 %) testado por permutações. O índice atinge o máximo quando um táxon se encontra em um grupo único de sítios e que ele é presente em todos os pontos amostrais desse sítio (Dufrene e Legendre, 1997). O INDVAL foi aplicado sobre a tipologia dos usos do solo. Todos os grupos taxonômicos identificados nas duas estações foram utilizados no cálculo do INDVAL. Só os táxons com INDVAL > 25 % foram guardados nas listas finais (Dufrene e Legendre, 1997). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Análises de variância hierárquica, com os transectos como fator hierarquizado (Underwood, 1997), testaram os efeitos dos usos do solo sobre a riqueza e diversidade dos invertebrados do solo. As análises de variância foram realizadas com o programa NesAnova (Legendre, 2002) e seguidas do teste SNK de comparações múltiplas (Underwood, 1997).

Resultados

A abundância das minhocas foi significativamente maior nas parcelas com corte-trituração, comparadas com C40 e RQ. A riqueza de minhocas foi significativamente maior em PQ e menor em F20, enquanto sua diversidade foi maior em F40. A abundância de formigas não foi diferente entre os usos do solo, no entanto, a riqueza e diversidade de formigas foram significativamente maiores em F40. Os outros invertebrados foram mais abundantes em F40 e nas parcelas com corte-trituração. Eles tiveram significativamente maior riqueza e diversidade em RT (Fig. 1 e 2).

O índice IndVal identificou primeiro os grupos taxonômicos generalistas (25), encontrados indiferentemente em todos os usos da terra. Numa segunda etapa, o índice permitiu definir um grupo de seis táxons característicos das capoeiras, quatro para as roças e dois para os pastos. Para os usos da terra considerados individualmente, só a capoeira antiga e a roça com trituração mostraram grupos taxonômicos com índice alto (>25 %) e estatisticamente significativo. Na capoeira foram dois gêneros de formigas (*Camponotus* e *Sericomyrmex*), enquanto na roça foram os Gastrópodes e os Homópteras (ordem de insetos) (Tabela 1).

Discussão

O acúmulo de biomassa morta no solo proporcionado pelo enriquecimento e a trituração da capoeira se revelou altamente favorável para a os invertebrados do solo, principalmente as minhocas e os grupos funcionais da macrofauna (excluindo as formigas). Esse resultado confirma o potencial dos sistemas sem fogo para conservar a biodiversidade do solo, sendo boa parte sensível diretamente ao fogo ou a sua consequência devido a falta de alimentos (Mathieu et al. 2005). A presença dessa macrofauna é essencial para a sustentabilidade dos sistemas sem fogo porque é ela que vai mediar a decomposição da biomassa e permitir a liberação dos nutrientes para os cultivos. Denich et al. (2005), verificaram que a ciclagem de nutrientes nas parcelas de roça com corte-trituração já atende as necessidades dos cultivos.

O índice INDVAL atribuiu as maiores listas de táxons indicadores para os principais usos do solo, independentemente do manejo (trituração ou queima). Isso indica que, dentro do mosaico criado pela agricultura familiar, cada componente é suscetível de abrigar uma diversidade própria. Os sistemas agrícolas, apesar de menos diversos, hospedam grupos específicos (diversidade α) e por isso participam na manutenção de uma alta diversidade global (diversidade γ) na paisagem. Como no caso da diversidade vegetal (Baar et al., 2000; Pena-Claros, 2003), o mosaico da agricultura familiar tem um grande potencial para conservar a diversidade dos invertebrados do solo (Mathieu et al., 2005). No entanto, as capoeiras incluídas no estudo são mais antigas do que as geralmente encontradas na região (Baar et al., 2004) e falta uma comparação com florestas primárias de terra firme, praticamente ausentes da paisagem na região Bragantina (Almeida e Vieira, 2010). Outras limitações técnicas para estimar o valor de conservação desses sistemas são a falta de estudos sobre os invertebrados do solo na região e as diferenças na resolução taxonômica. Por exemplo, Mathieu et al. (2005) encontraram até 76 espécies por parcela na mata primária e 66 nas capoeiras de 7 anos, no sudeste do Pará. Embora a resolução mais alta (espécies) seja ideal, ela requer tempo e conhecimento fora de alcance da maioria dos pesquisadores. Apesar dessas limitações, o estudo mostrou a alta contribuição das capoeiras antigas e do sistema de enriquecimento e trituração da capoeira para a conservação da biodiversidade do solo. O papel do sistema de corte-trituração pode ser determinante para melhorar a qualidade do solo e sustentar a produtividade da agricultura familiar na região, aliviando assim a pressão sobre os remanescentes florestais.

Conclusão

A maioria dos grupos de invertebrados responde favoravelmente ao efeito da trituração da capoeira enriquecida, mas a capoeira antiga foi o uso do solo mais apto para a conservação da biodiversidade dos invertebrados do solo. Os táxons indicadores foram preferencialmente associados aos principais usos do solo (capoeiras, roças, pastos), independentemente do seu manejo ou idade. No

entanto, a capoeira antiga e a roça com trituração hospedaram dois táxons específicos cada uma, confirmando seu alto potencial de conservação como sua complementaridade. De fato, num contexto de alta fragmentação e degradação florestal é essencial promover a conservação da biodiversidade no ambiente agrícola e considerar a escala da paisagem para sua gestão. Este estudo confirma o potencial do mosaico da agricultura familiar para a conservação da biodiversidade do solo e mostra que a trituração de capoeira enriquecida pode auxiliar na conservação e na restauração dessa diversidade preservando a qualidade do solo e diminuindo a pressão sobre as florestas.

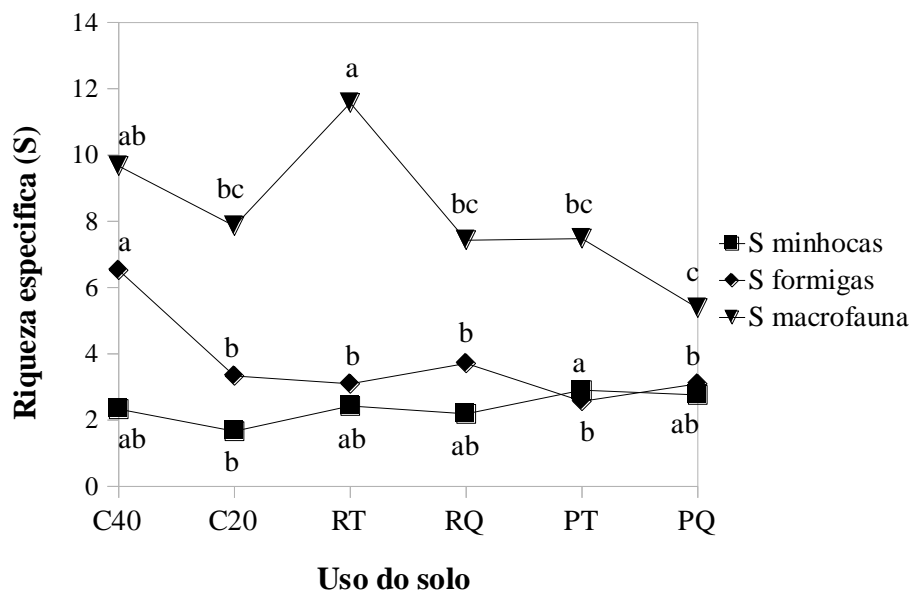


Fig. 1: Riqueza específica (S) de minhocas, formigas e outros invertebrados (macrofauna) para seis usos do solo em Igarapé-Açu (Pará) em março de 2006 (estação da chuva). Medias de S com letras distintas foram significativamente diferente a $P \leq 0,05$.

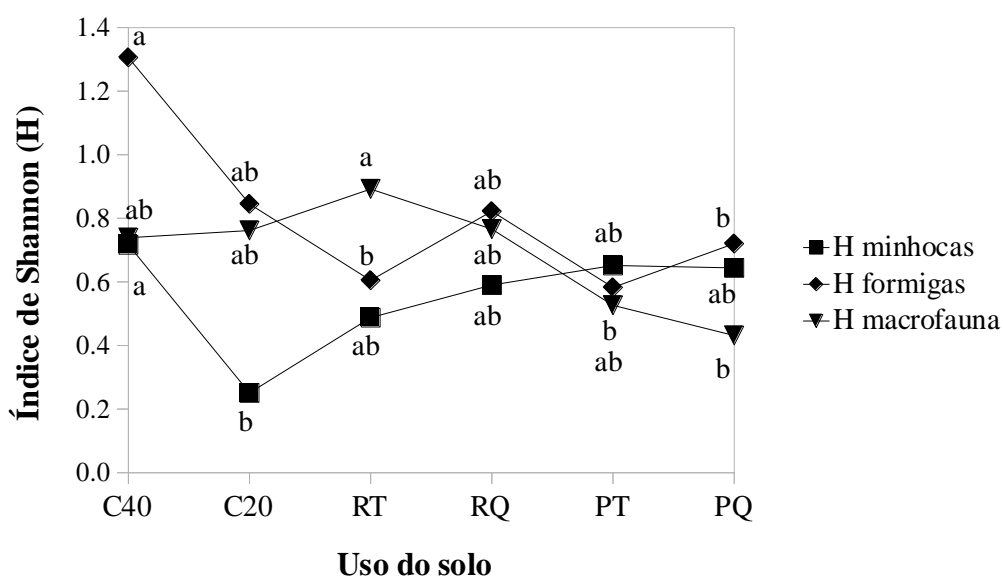


Fig. 2: Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H) de minhocas, formigas e outros invertebrados (macrofauna) para seis usos do solo em Igarapé-Açu (Pará) em março de 2006 (estação da chuva). Medias de H com letras distintas foram significativamente diferente a $P \leq 0,05$.

Tabela 1. lista de táxons indicadores segundo o índice INDVAL para a tipologia própria dos usos da terra de Igarapé-Açu (Pará) em 2006.

Todos os usos					
Ponto 100^z	Cas 84	Diplo 68	Para 55	Brachy 41	Pseudo 29
LColeo 93	Chilo 78	LInd 64	Geo 54	Blatt 41	Symp 29
Isop 90	Ind 73	Glosso 60	LDip 49	Cremato 40	Dicho 29
Sole 90	Staph 71	Hypo 58	Uro 48	Coleo 40	Trano 29
Arach 87	Pheid 71	Gastro 58	Hemi 47	Acro 37	
Carab 85	Isopo 71	Out 56	Derma 41	Campo 34	
Capoeiras		Roças		Pastos	
Pachy 70^{**x}	Hemi 51^{**}	Gastro 56 ^{**}		Dicho 72^{**}	
Cremato 56^{**}	Blatt 48^{**}	Symp 40^{**}		Acro 42^{**}	
Derma 53^{**}	Opi 35^{**}	Homo 30 ^{**}			
Campo 52 ^{**}		Cephalo 26 ^{**}			
Capoeira 40a	Capoeira 20a	Roça+ Trituração	Roça+ Queima	Pasto+ Trituração	Pasto+ Queima
Campo 90^{**}	(Acantho 19)	Gastro 68^{**}	Cephalo 27	(Noma 5)	(Was 20)
Serico 38^{**}	(Atatina 17^{**})	Homo 48^{**}			

^z Ponto=Pontoscolex, LColeo=Larva Coleóptera, Isop=Isoptera, Sole=Solenopsis, Arach=Arachnidae, Carab=Carabidae, Cas=Casulo, Chilo=Chilopoda, Ind=Indeterminado, Staph=Staphilinidae, Pheid=Pheidole, Isopo=Isopoda, Diplo=Diplopoda, LInd=Larva indeterminada, Glosso=Glossoscolex, Hypo=Hypoconera, Gastro=Gastrópodes, Out=Outros, Para=Paratrechina, Geo=Geophilomórpha, LDip=Larva Diptera, Uro=Urobenus, Hemi=Hemiptera, Derma=Dermaptera, Brachy=Brachymyrmex, Blatt=Blattaria, Cremato=Crematogaster, Coleo=Coleóptera, Acro=Acropyga, Campo=Camponotus, Pseudo=Pseudomyrmex, Symp=Symphyla, Dicho=Dichogaster, Trano=Tranopelta, Pachy=Pachycondyla, Opi=Opilionidae, Homo=Homoptera, Cephalo=Cephalotes, Serico=Sericomymex, Acantho=Acanthostichus, Noma=Nomamyrmex, Was=Wasmannia.

Agradecimentos

Esse trabalho foi apoiado financeiramente pelo CNPq (projeto IMAZAM 553144/2005-7) e o Programa de Pequenos Apoios do IIEB. Os autores agradecem a equipe do projeto Tipitampa por seu apoio logístico assim como o Reginaldo Farias e seu equipe em Igarapé-Açu por seu apoio técnico.

Bibliografia

Alfaiai, A.S., Ribeiro, G.R., Nobre, A.D., Luizão, R.C. e Luizão, F.J. 2004. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. *Agriculture Ecosystems & Environment* 102:409–414.

Almeida, de A.S. e Vieira, I.C.G. 2010. Centro de endemismo Belém: status da vegetação remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. *REU Sorocaba*, 36: 95-111.

Anderson, J. M. e Ingram, J.S.I., 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: a handbook of methods, 2ª ed. Anderson, and Ingram, eds. CAB International, Wallingford, p. 249.

Baar, R., Cordeiro, M.D.R., Denich, M. e Fölster, H. 2004. Floristic inventory of secondary vegetation in agricultural systems of East-Amazonia. *Biodiversity and Conservation* 13:501–528.

Denich, M., Vielhauer, K., Kato, M.S. de A., Block, A., Kato, O.R., de Abreu Sá, T.D., Lücke, W. e Vlek, P.L.G. 2004. Mechanized land preparation in forest-based fallow systems: The experience from Eastern Amazonia. *Agroforestry Systems* 61: 91–106.

Denich, M., Vlek, P.L.G., Sá, T.D.D.A, Vielhauer, K., Lücke, W. 2005. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. *Agriculture Ecosystem and Environment* 110: 43-58.

Dufrêne, M. e Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67: 345-366.

Dufrêne, M. 2004. IndVal or how to identify indicator species of a sample typology ? Em linha: <http://biodiversite.wallonie.be/outils/indval/home.html>.

Dunn, R.R. 2004. Recovery of faunal communities during tropical forest regeneration. *Conservation Biology*. 18:302–309.

Ekschmitt, K. & B.S. Griffiths. 1998. Soil biodiversity and its implications for ecosystem functioning in a heterogeneous and variable environment. *Applied Soil Ecology* 10:201–215.

Fernández, F. Ed. 2005. *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá. 398 p.

EMBRAPA 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W. e Dhillion, S. 1997. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33:159–193.

Lavelle, P., Senapati, B. and Barros, E., 2003. Soil macrofauna. In: G. Schroth and F.L. Sinclair

(eds). *Trees, Crops and Soil Fertility*. CABI Publishing, Wallingford, pp. 303-304.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P. e Rossi, J.P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European journal of Soil Biology* 42: 3-15.

Legendre, P. 2002. *Nested Anova user's guide*. Département de sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal. [On line] <http://www.fas.umontreal.ca/biol/legendre/>.

Mathieu, J., J.P. Rossi, P. Mora, P. Lavelle, P.F.S. Martins, C. Rouland e M. Grimaldi. 2005. Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. *Conservation Biology*. 19:1598-1605.

Nepstad, D., Carvalho, G., Barros, A.C., Alencar, A., Capobianco, J.P., Bishop, J., Moutinho, P., Lefebvre, P., Silva, Jr U.L. e Prins, E. 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 154: 395-407.

Pena-Claros, M. 2003. Changes in Forest Structure and Species Composition during Secondary Succession in the Bolivian Amazon, *Biotropica* 35(4): 450–61.

Underwood, A.J. 1997. *Experiments in ecology : their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 504.

Vieira, I.C.G., N.A. Rosa, D.C. Nepstad e J.C. Roma. 1996. O renascimento da floresta no rastro da agricultura. *Ciência Hoje*. 20:38-45.