

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica

*Lucilia Maria Parron
Junior Ruiz Garcia
Edilson Batista de Oliveira
George Gardner Brown
Rachel Bardy Prado
Editores Técnicos*

Embrapa
Brasília, DF
2015

Formas de húmus: potencial e perspectivas de uso na avaliação da integridade funcional de fragmentos florestais da região serrana do Rio de Janeiro

Fernando Vieira Cesário, Evaristo de Castro Junior (*in memoriam*), Fabiano de Carvalho Balieiro, Irene Garay

Resumo: O histórico de ocupação da Floresta Atlântica originou uma paisagem fragmentada, onde cada fragmento se encontra circundado por diferentes habitats. O desafio da preservação de fragmentos florestais exige, dentre outras ações, a avaliação do status da biodiversidade dos mesmos. Neste contexto, as formas de húmus são indicadores de fácil aplicação que sintetizam funções associadas ao provimento de alguns serviços ambientais. Nós apresentamos um estudo de caso da aplicação das formas de húmus para avaliar a qualidade de fragmentos imersos em matrizes com pressões humanas distintas. Foram escolhidos quatro fragmentos, numa área de preservação ambiental (APA) da Mata Atlântica, similares em relação às características de solo e vegetação, porém com diferentes graus de pressão antrópica. Em cada fragmento foram mensuradas as formas de húmus e criado um índice para mensurar a pressão antrópica. O índice criado se correlacionou com as formas de húmus e evidenciou uma associação entre o grau de perturbação e a estrutura e qualidade química das formas de húmus, evidenciando que as mesmas apresentam potencial para serem usadas como indicadores da integridade funcional de fragmentos florestais.

Palavras chave: serviços ecossistêmicos, fragmentação florestal, indicadores ecossistêmicos.

Humus forms: potential and perspectives of their use in assessing the functional integrity of forest fragments in the mountain regions of Rio de Janeiro

Abstract: The history of the Atlantic Forest occupation created a fragmented landscape, where each fragment is surrounded by different habitats. The challenge of preserving forest fragments requires, among other actions, assessing the status of its biodiversity. In this context, humus forms are easy-to-apply indicators that synthesize functions associated with the provision of some ecosystem services. We present a case study of the application of humus forms to assess the quality of fragments subjected to different human pressures. Four fragments were chosen in an environmental preservation area of the Atlantic Forest, with similar soil and vegetation characteristics, but with different degree of anthropogenic pressure. In each fragment, the humus forms were measured and from these data we created an index to measure the anthropogenic pressure. The index correlated with humus forms and revealed an association between the degree of disturbance and the structure and chemical quality of humus forms, showing that humus form present a huge potential to be used as functional indicators of forest fragment integrity.

Keywords: ecosystem services, forest fragmentation, ecosystem indicators.

1. Introdução

A Floresta Atlântica é considerada um dos “hotspot” existentes na biosfera, devido à grande concentração de espécies endêmicas e à excepcional perda de habitats (MYERS et al., 2000).

A história de fragmentação da Floresta Atlântica esteve ligada essencialmente à ocupação humana, com sua gênese ancorada nos grandes ciclos econômicos, como o do café e da cana-de-açúcar. Considerando um levantamento recente, apenas 11-16% da vegetação original da Mata Atlântica ainda permanece presente em nosso território, porém, distribuídos de maneira heterogênea (RAMBALDI; OLIVEIRA, 2003). A paisagem biogeográfica mais bem preservada é aquela localizada na Serra do Mar, com 36% desses remanescentes (RIBEIRO et al., 2009). Embora essa região aloque a maior área florestal da Mata Atlântica (1.109.546 ha), aproximadamente 79% desses remanescentes tem menos de 50 ha.

À medida que as paisagens florestais se tornam fragmentadas, as populações das espécies são reduzidas e os padrões de migração e dispersão são alterados. Esses habitats se tornam, então, cada vez mais expostos a condições externas adversas, que anteriormente inexistiam. Em última análise, esse processo acaba por deteriorar a diversidade biológica e funções ecossistêmicas importantes ao longo do tempo (LAURANCE et al., 1998). Desta maneira, políticas públicas para a conservação das áreas não devem ser negligenciadas, pois os fragmentos florestais desempenham papel importante em termos de conectividade florestal e na oferta de serviços ambientais que garantem a qualidade de vida de populações próximas a eles.

Iniciada na conferência mundial ECO-92, a avaliação do *status* da biodiversidade tem tomado as pautas das discussões sobre sustentabilidade e valor dos serviços ambientais. Nesta perspectiva, segundo (GARAY; DIAS, 2001), a avaliação da diversidade biológica, nos diferentes níveis hierárquicos que esta pode assumir, está sempre atrelada a um contexto político e socioeconômico. Entretanto, questões relativas ao valor econômico do levantamento exaustivo da biodiversidade, sua relação de custo e retorno e as limitações técnico-científicas de tal levantamento, implicam em delimitar: o quê, onde e como avaliar. Nesse contexto, é conveniente considerar os indicadores ecológicos que levem em conta a integridade do ecossistema, os serviços de suporte (ver Capítulo 1) e seus componentes biológicos. Esta abordagem é bem diferente da que avalia exaustivamente todas as espécies de um ecossistema (em geral, tarefa impossível) ou considerar que a

presença de uma espécie, escolhida por vezes arbitrariamente, representa o *status* do ecossistema. Os indicadores ecológicos possibilitam integrar as relações espaço-temporais em distintas escalas. Ainda, esses indicadores também consideram que existe uma total interação entre os componentes bióticos e abióticos que conformam uma totalidade, base conceitual da própria noção de ecossistema.

Dentre os indicadores ecológicos podem-se destacar aqueles que sintetizam os processos fundamentais de um ecossistema (ODUM, 1988), notadamente a produção de material decíduo e a decomposição da serapilheira. Estes são chamados de indicadores funcionais globais (GARAY; DIAS, 2001) ou indicadores funcionais ecossistêmicos, na medida em que refletem tanto a diversidade funcional das espécies como o funcionamento dos processos de decomposição-produtividade, fornecendo arcabouço para os serviços ambientais de suporte, como a ciclagem de nutrientes (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

As camadas de matéria orgânica depositadas no piso florestal, comumente chamadas de serapilheira, desempenham um papel fundamental no funcionamento de um ecossistema. Estas camadas são um indicador chave para o entendimento de diversos processos ecossistêmicos, como a ciclagem de nutrientes. É na serapilheira que a interação solo-planta se torna evidente. Processos de decomposição heterotrófica, ciclagem de nutrientes, captação e retenção de nutrientes acontecem, predominantemente, na denominada serapilheira de solos florestais, especialmente em florestas tropicais. Avaliar a serapilheira sob a perspectiva das formas de húmus possibilita inferir e avaliar mais profundamente os processos fundamentais do ecossistema e também a sua qualidade (PONGE, 2013). No total, a pesquisa sobre formas de húmus como um indicador funcional global se situa na interface das disciplinas de ecologia, geografia e pedologia, com clara orientação para gestão da biodiversidade e conservação de ecossistemas e paisagens.

2. Formas de húmus (FH)

O conceito de formas de húmus engloba qualquer tipo de solo, os horizontes do topo do solo e o material sobreposto a ele, formado por necromassa, sobretudo de origem vegetal. A sua classificação e gênese, de forte caráter multidisciplinar, envolve pedologia, biologia, geologia, geomorfologia e climatologia. Várias camadas sobrepostas de matéria orgânica,

que coincidem com uma sequência dos mecanismos de decomposição, podem estar presentes recobrendo o horizonte orgânico-mineral do solo (Ai, Ae), cujas características são, por sua vez, fortemente influenciadas pela matéria orgânica superficial (BRETHES et al., 1995).

Assim, as formas de húmus compreendem camadas da serapilheira que abrangem desde folhas mortas íntegras, com poucos sinais visíveis de degradação (camada L), restos orgânicos de índole diversa, mas essencialmente fragmentos foliares (camada F), até material orgânico menor que 2 mm, tais como coprólitos fecais e material humificado, altamente degradado (camada H), progressivamente misturado ou não ao solo mineral (horizonte A). É bom lembrar que diferentes nomenclaturas são dadas a estas camadas e que, sobretudo, quando a velocidade de decomposição da matéria orgânica é rápida, nem todas as camadas estão presentes.

Do ponto de vista da macro morfologia, as formas de húmus são conceituadas como o conjunto de restos orgânicos que incluem toda a matéria orgânica do solo, podendo ser considerados separadamente resíduos de plantas, material fecal da mesofauna edáfica, restos de animais, entre outros, bem como o material orgânico misturado aos primeiros centímetros do perfil do solo (ZANELLA et al., 2009). Nesses estudos, a morfologia e a estrutura dos restos orgânicos permitem interpretar a gênese da formação do húmus e seus agentes biológicos principais.

Em Latossolos, Cambissolos e Argissolos tropicais, segundo Kindel e Garay (2002), os primeiros centímetros do perfil do solo (0-3 cm) podem apresentar uma coloração escura, com significativa quantidade de raízes, formando uma transição entre as camadas inteiramente orgânicas do topo do solo e o primeiro horizonte pedológico organo-mineral. Esta transição parece ser típica de solos tropicais florestais, onde a mistura da necromassa pela fauna do solo é intensa e os mecanismos de decomposição e ciclagem de nutrientes são superficiais.

3. Potencial das formas de húmus na avaliação da qualidade de fragmentos florestais

Para avaliar o uso das formas de húmus como um indicador funcional ecossistêmico da qualidade de fragmentos florestais, delineou-se um estudo em área de proteção ambiental da Floresta Atlântica (APA de Petrópolis), em que diferentes fragmentos estão imersos em diferentes matrizes (florestal, agrícola e urbana).

Em uma região de 68,22 km² foram selecionados quatro fragmentos florestais, denominados: Fazenda Itaipava (FI); Parque Ipiranga (PI); Bonfim (BO); Mata Porcos (MP). Todos os fragmentos possuem padrões similares em termos de classe de solo, declividade, estrutura florestal e florística, porém se diferenciam no que tange ao tipo de matriz do entorno e ao impacto e uso humano (Tabela 1).

Tabela 1. Características dos fragmentos florestais.

Fragmentos	Descrição dos fragmentos						
	Area (ha)	Matriz	Solo ¹	AM (m)	Estágio de sucessão	DAP (cm)	Espécies dominantes
Fazenda Itaipava (FI)	32	Urbana Média	Cambissolo	9.18	Médio	13.4	(Bauhinia forficata/ Guapira opposita)
Parque Ipiranga (PI)	10	Alta Urbana	Cambissolo	9.2	Médio	13.8	(Euterpe edulis/ Guapira opposita)
Bonfim (BO)	28	Rural	Cambissolo	8.6	Médio	11.9	(Piptadenia gonoacantha/ Allophylus puberulus)
Mata Porcos (MP)	61	Rural/Baixa Rural	Cambissolo	8.4	Médio	10.4	(Cupania oblongifolia/ Casearia obliqua)

AM - altura média da árvore; DAP - diâmetro à altura do peito.

Para caracterizar a interferência humana em cada fragmento, um primeiro índice (*FragIndex*) foi proposto. Este índice sumariza a contribuição de variáveis reconhecíveis da pressão humana nos fragmentos, que podem afetar a qualidade e os ciclos biogeoquímicos que os mantêm. Foram escolhidas cinco variáveis da pressão humana: corte e queima, presença de trilhas, clareiras, corte seletivo, raízes expostas e pequenas construções dentro da floresta. Desta maneira, foi atribuído um peso arbitrário para cada variável de acordo com o grau de entendimento da importância da variável como fator de distúrbio no fragmento. Depois disso, uma pontuação (1-3: alta a baixa) foi dada a cada variável analisada, dependendo da sua ocorrência no fragmento. Além disso, foi incluída uma referência teórica que recebeu a pontuação 3 (baixa) para todas as variáveis, de acordo com Paniagua et al. (1999). Com este procedimento, e por meio da estimativa visual do grau de ocorrência de cada variável estudada, foi possível classificar os fragmentos quanto ao grau de uso/antropização, na seguinte ordem crescente de impacto: Referência Teórica (REF) > Bonfim (BO) > Mata Porcos (MP) > Parque Ipiranga (PI) > Fazenda Itaipava (FI).

Em cada fragmento foi estabelecido um transecto de 130 m, distante 20 m da borda de cada fragmento e sempre posicionado na encosta acima e na parte convexa, com o intuito de evitar a concentração de nutrientes e umidade. Ao longo do transecto foram amostrados 13 pontos (distanciados um do outro por 10 m) onde foram coletados, com o auxílio de um gabarito quadrado de 0,0625 m² todo o horizonte inteiramente orgânico do solo e também o horizonte orgânico-mineral, que corresponde aos primeiros 5 cm do solo. Ambos os tipos de horizonte constituem, como apresentado anteriormente, a denominada formas de húmus.

Em laboratório, o horizonte inteiramente orgânico foi separado nas camadas (L, F, H, raízes e galhos) segundo Kindel e Garay (2001) e Zanella et al. (2009). O horizonte orgânico-mineral foi seco ao ar, peneirado a 2 mm e analisado quimicamente quanto aos teores de C, N, P, K, Ca e determinado o pH e a CTC de acordo com Claessen (1997).

4. Análise e integração dos resultados

Os resultados das análises das formas de húmus foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), que agrupou as amostras em três eixos que, juntos, explicam 63% da variância total dos dados. Ademais, cada eixo estava relacionado com determinada função do ecossistema.

O 1º eixo foi caracterizado pelas variáveis, pH, Ca, K, CTC, MO e N do horizonte orgânico-mineral, que descrevem a

disponibilidade e retenção de nutrientes no solo e a capacidade de troca (NURAEC). O 2º eixo foi caracterizado pelas variáveis L, F, H e raízes que correspondem à reserva orgânica e ao *input* de nutrientes para o solo (ORNI) e, por último, o 3º eixo correspondeu às variáveis C/N, galhos e P, relativas ao processo de imobilização (IM).

Primeiro, a cada uma das variáveis, foi atribuído um peso de acordo a correlação da variável com o respectivo eixo da PCA segundo Paniagua et al. (1999). Em seguida foi atribuído uma pontuação (1-3: alta à baixa) a cada variável, de acordo com níveis de nutrientes e camadas orgânicas, aceitos para florestas tropicais. Obtendo o produto dos valores atribuídos (peso e pontuação) foi possível construir outro índice, que foi nomeado de índice de qualidade das formas de húmus (*FHIndex*).

O *FHIndex* corresponde então ao somatório do produto (peso e pontuação) de cada variável dentro de cada eixo, e é representado, desta maneira, pelos três eixos da PCA, porém agora, cada eixo (NURAEC; ORNI, IM) é representado por apenas um valor advindo do procedimento descrito acima. A aplicabilidade das formas de húmus em qualificar os fragmentos quanto ao seu grau de impacto, pôde ser avaliada ao se correlacionar esses dois índices (*FragIndex* vs *FHIndex*).

As variáveis das formas de húmus e o *FHIndex* apresentaram altas correlações com o *FragIndex*. O *FHIndex* ORNI foi o mais sensível às pressões de uso sobre os fragmentos. Isso mostra que a camada de material orgânico superficial sofre alterações significativas quando há algum tipo de estresse no sistema florestal, principalmente para os processos de lavagem e fermentação/fragmentação referentes à decomposição, mostrado pela correlação das camadas L e F das formas de húmus com o *FragIndex* (Tabela 2). Dessa forma, observa-se que a parte inteiramente orgânica das formas de húmus foi o indicador mais sensível do que a parte orgânico-mineral, representada aqui pelo NURAEC.

O *FHIndex* NURAEC não foi significativo, mas apresentou uma boa correlação com o *FragIndex*. Contudo, para avaliações de curto prazo o horizonte orgânico-mineral (NURAEC) não se mostrou um bom indicador. Isso se deve ao fato dos atributos químicos serem mais sensíveis a mudanças em longo prazo. Como mostra a Tabela 2, além do próprio NURAEC, os atributos químicos que o compõem quando correlacionados individualmente com o *FragIndex* também não se apresentaram significativos, com exceção do pH, mostrando que esses atributos possuem uma dinâmica mais lenta frente a estresse nos fragmentos.

Tabela 2. Correlação de Pearson entre variáveis orgânicas e orgânico-minerais das formas de húmus e índices (*FragIndex* e *FHIndex*).

FHIndex	FragIndex
NURAEC	0,79
ORNI	0,95*
IM	0,70
Variáveis orgânicas e orgânico-minerais	
L	-0,81*
F	-0,91*
H	-0,48
Galhos	-0,60
Raiz fina	0,10
pH	0,81*
Ca ⁺²	0,61
K ⁺	0,59
CTC	0,63
P	0,71
N	0,55
C/N	-0,44
MO	0,72

* $p \leq 0,05$

Esses resultados demonstram a sensibilidade das características e estoques das formas de húmus em relação ao grau de uso/stress dos fragmentos. Ponge e Chevalier (2006) já mostraram que, em ambientes temperados, as formas de húmus variam com o estado sucessional e com a idade da floresta, mas essa é a primeira vez que se utilizam dados quantitativos da serapilheira na inferência da qualidade de fragmentos.

Foram encontradas diferenças significativas nos estoques das camadas orgânicas das formas de húmus, e na fertilidade do horizonte orgânico-mineral entre os fragmentos mais e menos impactados (Figura 1). Observa-se a diferenciação dos estoques das camadas das formas de húmus em função do uso dos fragmentos, sendo os fragmentos FI e PI os mais influenciados.

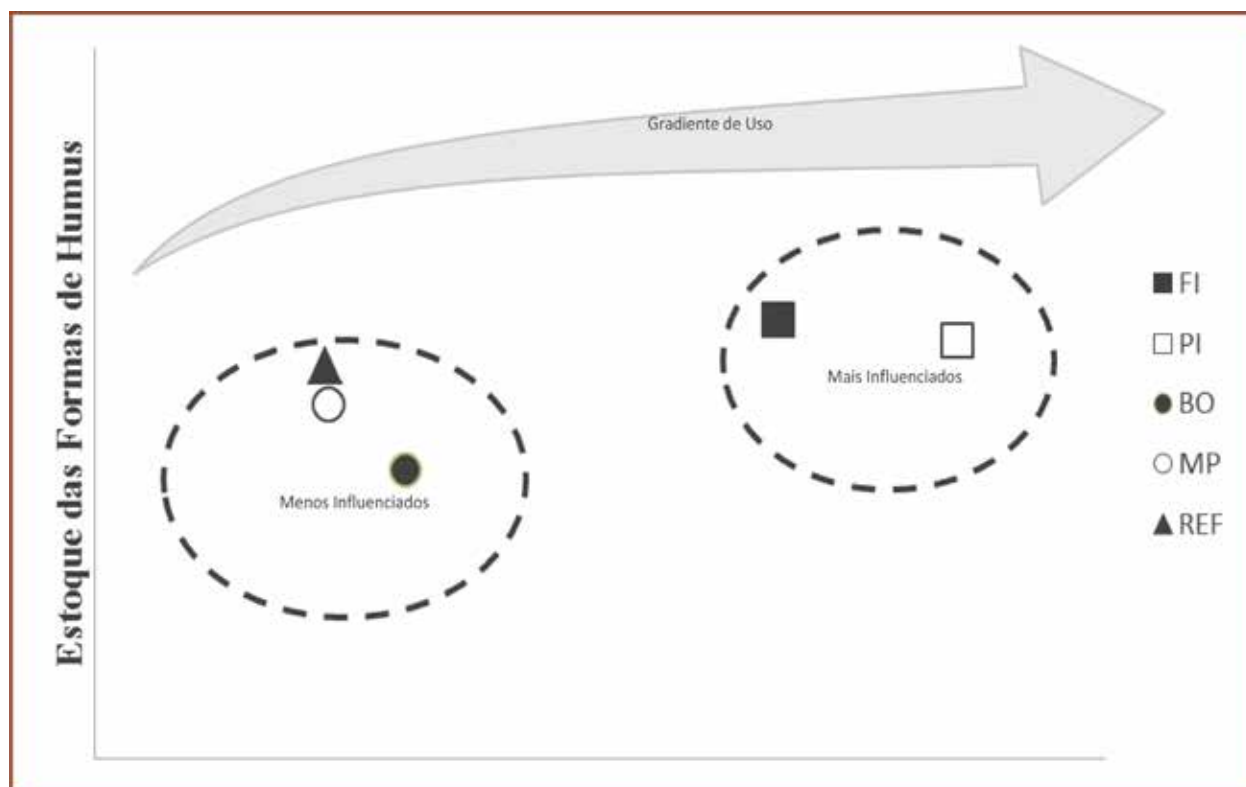


Figura 1. Escalonamento multidimensional não-métrico (NMS) dos estoques das formas de húmus.

Os fragmentos que apresentaram maior presença e quantidade de trilhas, clareiras e corte seletivo (FI e PI) exibiram camadas (L, F, H) menos decompostas e mais espessas, comparado aos fragmentos com menos interferência (BO e MP), sugerindo uma redução da decomposição. A lentidão no processo de decomposição, evidenciado pelo acúmulo nas camadas das formas de húmus, pode afetar os ciclos geobioquímicos da floresta e promover efeitos negativos em processos ecossistêmicos importantes, desfavorecendo a degradação da matéria orgânica e reduzindo a estabilização do C no solo, com a consecutiva não liberação de nutrientes. Em solos temperados, as formas de húmus se mostraram eficientes também na separação de solos florestais com diferentes propriedades químico-físicas (PONGE et al., 2002). Há uma separação clara entre os fragmentos mais e os menos influenciados pelas variáveis de pressão humana (Figura 1).

Embora os resultados demonstrem relação direta do estoque da serapilheira com a perda da qualidade dos fragmentos, acredita-se que ambos os processos são retroalimentados pelas condições microambientais desfavoráveis (aumento da temperatura e dessecação da serapilheira, por exemplo), bem como alteração na estrutura de decompositores (micro, meso e macrofauna) desses fragmentos, favorecendo o acúmulo e não a decomposição desses resíduos.

5. Considerações finais

O estudo das formas de húmus de fragmentos da Mata Atlântica permitiu avaliar a qualidade de fragmentos florestais, já que foi possível observar alterações na estrutura da serapilheira de fragmentos com diferentes graus de interferência. Contudo, a aplicação da metodologia europeia das formas de húmus em ambientes tropicais ainda é um desafio, devido à velocidade do processo de decomposição nos trópicos e, portanto, à necessidade de adaptação do método. A adequação da metodologia, assim como a ampliação do seu uso em diferentes ecossistemas tropicais, no entanto, deve ser incentivada porque há uma necessidade de se avaliar de forma mais rápida a qualidade de sistemas florestais para se manter ou resguardar os serviços ambientais para as gerações futuras.

Referências

- BRETHES, A.; BRUN, J. J.; JABIOL, B.; PONGE, J.; TOUTAIN, F. Classification of forest humus forms: a French proposal. *Annls of Forest Science*, v. 52, n. 6, p. 535-546, 1995.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPq. Documentos, 1).

GARAY, I. E. G.; DIAS, B. F. S. **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento. Petrópolis: Vozes, 2001.

KINDEL, A.; GARAY, I. Caracterização de ecossistemas da Mata Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 551-563, 2001.

KINDEL, A.; GARAY, I. Humus form in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 108, n. 1-2, p. 101-118, 2002.

LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G.; DELAMONICA, P. Tropical forest fragmentation and greenhouse gas emissions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 110, n. 1-3, p. 173-180, 1998.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**: biodiversity synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. da ; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

PANIAGUA, A.; KAMMERBAUER, J.; AVEDILLO, M.; ANDREWS, A. M. Relationship of soil characteristics to vegetation successions on a sequence of degraded and rehabilitated soils in Honduras. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 72, n. 3, p. 215-225, 1999.

PONGE, J.-F. Plant-soil feedbacks mediated by humus forms: A review. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 57, p. 1048-1060, 2013.

PONGE, J.-F.; CHEVALIER, R. Humus index as an indicator of forest stand and soil properties. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 1, p. 165-175, 2006.

PONGE, J.-F.; CHEVALIER, R.; LOUSSOT, P. Humus index: an integrated tool for the assessment of Forest Floor and Topsoil Properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 1996-2001, 2002.

RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A. S. D. **Fragmentação de ecossistemas**: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília, DF: MMA/SBF, 2003.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest how much is left, and how is the remaining forest distributed implications for conservation. **Biological Conservation**, Essex, v. 142, p. 1141-1153, 2009.

ZANELLA, A.; JABIOL, B.; PONGE, J. F.; SARTORI, G.; DE WAAL, R.; VAN DELFT, B.; GRAEFE, U.; COOLS, N.; KATZENSTEINER, K.; HAGER, H.; Toward a european humus forms reference base. **Studi Trentini di Scienze Naturali**, Trento, v. 85, p. 145-151, 2009.

