

ECOLOG: um sistema gerenciador de bancos de dados para levantamentos ecológicos de campo e inventários de biodiversidade

¹ Mauro José CAVALCANTI
e-mail: maurobio@gmail.com

¹Ecoinformatics Studio-RJ

Resumo: ECOLOG é um sistema gerenciador de bancos de dados multiplataforma, projetado para o manejo de dados sobre locais, espécies, indivíduos e variáveis ambientais obtidos em levantamentos ecológicos de campo e inventários de biodiversidade. O principal objetivo do ECOLOG é tornar os dados obtidos dos levantamentos de campo prontamente acessíveis, fornecendo listas de espécies coletadas na área do levantamento e também informações sobre preferências de habitat, abundância ou raridade de uma espécie em particular, biometria, morfologia, sequências curtas de DNA, dominância e localização espacial de cada espécime individual coletado em campo, além de outros dados de grande valor potencial para estudos ecológicos. O sistema é proposto para contribuir para o estabelecimento de um padrão mínimo para a coleta e o intercâmbio de dados de levantamentos ecológicos de campo e inventários de biodiversidade, minimizando a duplicação de esforços em diferentes instituições e projetos de pesquisa e gerenciamento ambiental.

Palavras-chave: bancos de dados, ecoinformática, levantamentos ecológicos, inventários de biodiversidade.

Introdução

A execução de inventários sobre a diversidade de espécies da flora e da fauna de uma região constitui-se num pré-requisito indispensável à conservação e uso sustentável dos recursos naturais por elas representados. Problemas de grande interesse prático, como a delimitação de áreas de reserva para a preservação de espécies e a elaboração de estudos de impacto ambiental, dependem fortemente da aquisição e organização de bases de dados extensas, completas e consistentes, oriundas de levantamentos faunísticos e florísticos de campo (Ellis, 1988; Haila & Margules, 1996; Lawton *et al.*, 1998; Balmford & Gaston, 1999; Sharkey, 2001; Allison, 2003), que proporcionem subsídios para a tomada de decisões críticas para a proteção e uso sustentado dos recursos ambientais.

Em particular nos países tropicais, onde os recursos naturais vêm sendo degradados rapidamente e em larga escala como consequência de políticas ambientais inadequadas (Dumont, 1989), os inventários de biodiversidade têm adquirido uma importância cada vez maior. Dada a velocidade com que os ambientes naturais nos trópicos estão sendo degradados ou inteiramente destruídos, é urgente que o maior número possível de áreas tropicais sejam inventariadas quanto a suas espécies de animais e plantas, muitas das quais talvez venham a ser extintas antes mesmos

que possam ser descritas e, sobretudo, que tenham seus usos potenciais analisados (Prance, 1977; Alberch, 1993; Wilson, 1994).

Contudo, o volume de dados obtido por tais inventários frequentemente constitui-se em um grande problema, no que se refere ao armazenamento, atualização, verificação, recuperação e análise destes dados (Alberch, 1993; Lawton *et al.*, 1998; Sharkey, 2001; Scudeller & Martins, 2003). A dificuldade de acesso rápido às informações oriundas de levantamentos ecológicos de campo e inventários de biodiversidade tem sido responsável pela lentidão do processo de análise e, conseqüentemente, de produção de resultados úteis para apoiar os esforços de conservação e uso sustentável dos recursos naturais. Neste contexto um Sistema de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBD) apresenta-se como um eficiente meio de armazenamento e organização dos dados sobre diversidade de espécies, reduzindo seu tempo de acesso e processamento e garantindo sua integridade e consistência.

Sistemas gerenciadores de bancos de dados vêm sendo empregados no manejo de dados de inventários de biodiversidade pelo menos desde a década de 1970 (Erwin 1976; Sweet & Poppleton 1977). Não obstante, até recentemente, poucos sistemas específicos estavam disponíveis, sendo todos invariavelmente desenvolvidos para computadores de grande porte ou minicomputadores (Gall

Et Christian, 1984; Edwards, 1985; Fitter Et Peat, 1994); a proliferação dos microcomputadores, a partir dos anos 1980, levou ao desenvolvimento de várias novas aplicações, de baixo custo operacional e mais amplamente acessíveis (Pérez-Trejo Et Jameson, 1986; Beaman Et Regalado, 1989).

A ampla disponibilidade dos microcomputadores propicia atualmente muitas oportunidades para o desenvolvimento de sistemas gerenciadores de bancos de dados ecológicos. Efetivamente, os microcomputadores atuais, dotados de grande velocidade e capacidade de armazenamento, aliadas ao baixo custo e à disponibilidade de ferramentas para o desenvolvimento rápido de aplicações baseadas em interfaces gráficas de usuário, podem facilitar a qualquer organização, projeto ou indivíduo envolvidos em levantamentos ecológicos de campo e inventários de biodiversidade, o acesso à moderna tecnologia disponível de bancos de dados (Stevenson *et al.*, 2003; Scudeller Et Martins, 2003). Todavia, sistemas de confiança e compatíveis com as necessidades de gerenciamento de dados ecológicos são um ponto crítico para o sucesso de projetos de inventários de biodiversidade (Ailkin Et Winfield, 1993; Camargo *et al.*, 2004). Projetos de inventários florísticos ou faunísticos, mesmo aqueles de grande prestígio, frequentemente não fazem pleno uso dos dados obtidos em virtude da inadequação de seus programas aplicativos. Por exemplo, a inexistência de um sistema eficiente de organiza-

ção, integração e compartilhamento de dados oriundos de levantamentos ecológicos de campo, foi considerada por Camargo *et al.* (2004) um dos principais pontos fracos do Projeto "Janelas para a Biodiversidade" conduzido pela Fundação Vitória Amazônica no Parque Nacional do Jaú.

A necessidade de um sistema de gerenciamento de bancos de dados com capacidade relacional, especificamente projetado para o manejo de dados sobre locais, espécies e indivíduos obtidos em levantamentos ecológicos de campo e inventários de biodiversidade, no âmbito da comunidade científica nacional, levou à proposta de desenvolvimento de um sistema gerenciador de bancos de dados específico para levantamentos ecológicos de campo (ECOLOG), que pudesse ser utilizado por projetos e organizações envolvidos em atividades de prospecção da diversidade biológica e uso sustentável de recursos naturais (Cavalcanti, 1991; 1993; 1998; 2005).

O sistema ECOLOG foi especificamente projetado para o manejo de dados obtidos em levantamentos ecológicos de campo e inventários biológicos em microcomputadores da linha PC e já conta com 20 anos de investimento em seu desenvolvimento. Sua flexibilidade, que pode ser testemunhada pela natureza diversa dos projetos que o utilizam (Sá *et al.*, 1991; Dalcin *et al.*, 1997; Kurtz Et Araujo, 2000; Cavalcanti, 2005) e maturidade inspiram confiança em seus usuários.

Este sistema apresenta como características básicas: a utilização em equipamentos de baixo custo e fácil acesso (microcomputadores da linha PC); a rapidez e facilidade de operação, dispensando conhecimentos especializados em computação por parte dos usuários; a validação completa dos dados de entrada; a flexibilidade na recuperação de registros para consulta e produção de relatórios (a partir de qualquer atributo ou combinação de atributos); a possibilidade de produzir análises quantitativas de dados ecológicos (índices de diversidade, frequência e dominância, curvas de rarefação, etc.); a geração de listagens de espécies e etiquetas de coleta de campo; e a exportação de dados em vários formatos, para utilização em outros sistemas (inclusive planilhas eletrônicas e pacotes estatísticos)..

O Projeto Biotupé é uma proposta de estudo multidisciplinar de longo prazo em execução na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé (RDS do Tupé), envolvendo pesquisadores de várias instituições. Um dos principais objetivos deste projeto é inventariar, identificar e quantificar a biodiversidade dessa área. O programa envolve a coleta e organização de dados científicos sobre a biodiversidade da área e sua integração em um ou mais bancos de dados, que possam fornecer apoio às estratégias de conservação e manejo sustentado na RDS. Um requisito básico do Projeto Biotupé é, justamente, a disponibilidade de um sistema gerenciador de bancos de

dados especializado, de fácil utilização e livremente acessível, para integrar os dados sendo coletados e permitir comparações entre estes.

Considerando-se a importância científica e econômica dos dados sobre biodiversidade, bem como seu valor estratégico no apoio aos processos decisórios referentes à administração e uso sustentável dos recursos naturais, é de grande interesse a disponibilidade de uma versão atualizada de um sistema flexível e eficiente, de aplicação genérica, como o ECOLOG, que possibilite o gerenciamento rápido e eficiente de dados ecológicos. O desenvolvimento e implementação de tal sistema também proporciona a oportunidade de discutir os processos de coleta, armazenamento, distribuição e análise computacional de dados ecológicos, bem como as questões referentes ao seu controle, disseminação e aplicação a problemas de interesse prático, como a delimitação de áreas protegidas e o suporte a estudos de impacto ambiental.

Histórico

A primeira versão do ECOLOG foi desenvolvida em 1990 com apoio das Linhas de Ação em Botânica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq proc. #402372/89-1//FV), Programa Mata Atlântica do Jardim Botânico do Rio de Janeiro/IBAMA (CNPq proc. #407809/84.4), Instituto Brasileiro

de Pesquisas e Estudos Ambientais (Pró-Natura), John D. & Catharine T. MacArthur Foundation (proc. #8900-527 Environment) e Shell do Brasil para o Projeto "Banco de Dados da Mata Atlântica". Esta versão foi utilizada até 1991, quando foi substituída por outra versão, incorporando diversos aperfeiçoamentos em nível de projeto físico do banco de dados e interface de usuário (Cavalcanti, 1991; Cavalcanti, 1993).

A versão original do ECOLOG foi desenvolvida com o compilador Clipper versão Summer '87 da Nantucket Corporation, para uso em microcomputadores compatíveis com o IBM-PC XT/AT, sob o sistema operacional MS-DOS, utilizando arquivos de dados no padrão xBase.

Dirigido por menus e contando com um sistema simples de auxílio ao usuário, o ECOLOG foi concebido para ser de operação bastante fácil, permitindo a inclusão, exclusão e alteração de registros, geração de uma grande variedade de relatórios úteis e funções utilitárias para a manutenção de bancos de dados de levantamentos ecológicos de campo. Contudo, apesar de sua flexibilidade e eficiência no gerenciamento de dados ecológicos, este sistema não oferecia suporte à documentação dos dados (metadados) e ao manejo de dados ambientais, era restrito ao sistema operacional MS-DOS e o compartilhamento de dados só era possível em ambiente de rede local.

A partir de 2003, a demanda por uma ferramenta de software

especializada para atender às necessidades de manejo de dados sobre locais, espécies e indivíduos obtidos no inventário de biodiversidade do Lago Tupé, na Amazônia Central, conduzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Projeto Biotupé), despertou novo interesse pelo desenvolvimento de uma versão atualizada do ECOLOG (Cavalcanti, 2005).

Em sua nova versão, liberada em 2009, o ECOLOG foi projetado para operar como uma aplicação nativa de 32-bits, sob os sistemas operacionais GNU/Linux, MS-Windows e Mac OS X, utilizando a linguagem de programação Python (www.python.org). A escolha foi feita levando-se em consideração a flexibilidade da linguagem, a eficiência e confiabilidade do interpretador e a possibilidade de desenvolvimento rápido de aplicações multiplataforma para computação científica (Beazley, 2000; Bassi, 2007; Oliphant, 2007). Esta versão do ECOLOG está capacitada a ler, gerar e manipular tabelas compatíveis com a máquina de banco de dados SQLite (www.sqlite.org), com suporte pleno à linguagem de consulta estruturada (SQL).

Características

A nova versão do ECOLOG tem como características básicas, além daquelas oferecidas pela versão anterior: 1) Interface gráfica de usuário dirigida por menus suspensos, incluindo janelas com planilhas simples para consulta, inclusão e edição dos

dados; 2) Definição interativa de filtros para seleção de registros, a partir de qualquer atributo ou combinação de atributos, inclusive campos baseados em texto; 3) Geração de relatórios (pré-definidos ou definidos pelo usuário) em formato HTML, para a produção automática de páginas de apresentação na Web a partir do conteúdo do banco de dados; 4) Manejo de variáveis ambientais e descritores morfológicos e biométricos definidos pelo usuário; 5) Geração de estatísticas do banco de dados e gráficos, cálculo de índices de diversidade e curvas de acumulação de espécies ("curva do coletor"); 6) Importação/exportação flexível de dados em vários formatos diferentes para intercâmbio com outros programas, inclusive planilhas eletrônicas e pacotes estatísticos; 7) Suporte ao gerenciamento de imagens dos espécimes ("exsicatas eletrônicas") e conteúdo multimídia (como gravações de áudio de vocalizações de aves e anfíbios e vídeos); 8) Suporte ao armazenamento e análise estatística de sequências curtas de genes para utilização em inventários de biodiversidade usando códigos de barras de DNA (Janzen *et al.* 2009); 9) Suporte à descrição do conteúdo, contexto, qualidade, estrutura e acessibilidade dos conjuntos de dados (metadados).

Em futuras versões do ECOLOG, serão adicionadas outras funcionalidades, a saber: 1) Suporte à análise multivariada de dados ecológicos (índices de similaridade, análise de agrupamentos, técnicas

de ordenação: Gauch, 1982; Digby & Kempton, 1987; Ludwig & Reynolds, 1988; Legendre & Legendre, 1998); 2) Operação em ambiente cliente-servidor, compatível com o gerenciador de bancos de dados MySQL, facilitando o intercâmbio e compartilhamento dos dados obtidos por diferentes projetos; 3) Suporte à localização, com versões em Inglês, Francês e Espanhol, dirigidas a outros países da América Latina, Caribe e África; 4) Armazenamento e análise de interações entre animais e plantas (redes mutualísticas), para estudos de frugivoria, dispersão de sementes, polinização, predação e parasitismo (Bascompte & Jordano 2007); 5) Integração com um sistema de inferência baseado em regras (sistema especialista), para apoio à decisão em diagnósticos ambientais (Starfield & Bleloch, 1983; Rykiel, 1989; Pivello, 1997).

O gerenciamento de metadados é baseado na Ecological Metadata Language (EML), um padrão de metadados desenvolvido pela Ecological Society of America (Michener *et al.*, 1997; Fegraus *et al.*, 2005). EML é implementada como um conjunto de documentos em formato XML que podem ser utilizados, de forma modular e extensível, para a documentação de dados ecológicos. Cada módulo EML é projetado para descrever uma parte lógica dos metadados que devem ser incluídos com qualquer conjunto de dados ecológicos.

Como na versão anterior, o sistema também inclui completa documentação técnica e de usuário (na

forma de um manual, neste caso), que fornece toda a informação necessária para instalar e usar o sistema.

O ECOLOG é distribuído gratuitamente como software livre, de código aberto, nos termos da Licença Pública Geral GNU (GNU GPL), versão 2 ou posterior. Pacotes de instalação para GNU/Linux e MS-Windows, além de documentação de usuário e código-fonte, estão disponíveis na página do programa na Internet (ecolog.sourceforge.net).

Modelo de Dados

O ECOLOG utiliza uma estrutura relacional simples e eficiente, baseada em três tabelas de dados (Indivíduos, Espécies e Locais), que se relacionam por campos compartilhados. Estas tabelas armazenam dados sobre as características gerais de cada espécie (como taxonomia e nomenclatura), dados de coleta de cada espécime individual (coletor, data, procedência, biometria, notas) e a localização espacial (coordenadas geográficas, altitude) de cada unidade amostral (Fig.1). Os dicionários de descritores morfológicos e variáveis ambientais são inteiramente definidos pelo usuário, tornando o sistema flexível e aplicável a qualquer metodologia utilizada.

Esta estrutura pode ser considerada uma versão muito simplificada do modelo geral de informação para coleções biológicas proposto por Berendsohn *et al.* (1999) ou, ainda, da mais recente

ontologia formal apresentada por Madin *et al.* (2007). As tabelas do sistema armazenam dados sobre as características gerais de cada espécie (como taxonomia e nomenclatura), os dados de coleta de cada espécime (coletor, data, procedência, biometria, morfologia, notas) e a localização espacial (coordenadas geográficas, altitude/profundidade) de cada unidade amostral. A partir de cada uma destas tabelas de dados, são criados índices internos que permitem a busca e recuperação de informações através de múltiplas chaves.

A utilização de uma estrutura relacional permite reduzir a duplicação e a redundância nos dados e favorece a eficiência no seu armazenamento. Assim, por exemplo, uma vez que cada espécie compreende um registro único na tabela de espécies, é necessário armazenar apenas o número do táxon para os registros daquela espécie, ao invés de repetir o nome completo da espécie para cada coleta no banco de dados. Da mesma forma, qualquer alteração em um registro nas tabelas de espécies ou locais é automaticamente refletida em todos os registros de indivíduos relacionados àquela espécie ou àquele local.

Como as tabelas de dados do sistema possuem campos de tamanho fixo, procurou-se otimizar ao máximo o tamanho de cada campo para assegurar o armazenamento adequado dos dados, sem um consumo excessivo de espaço em disco. Esta restrição implica no aumento do espaço de armazenamento

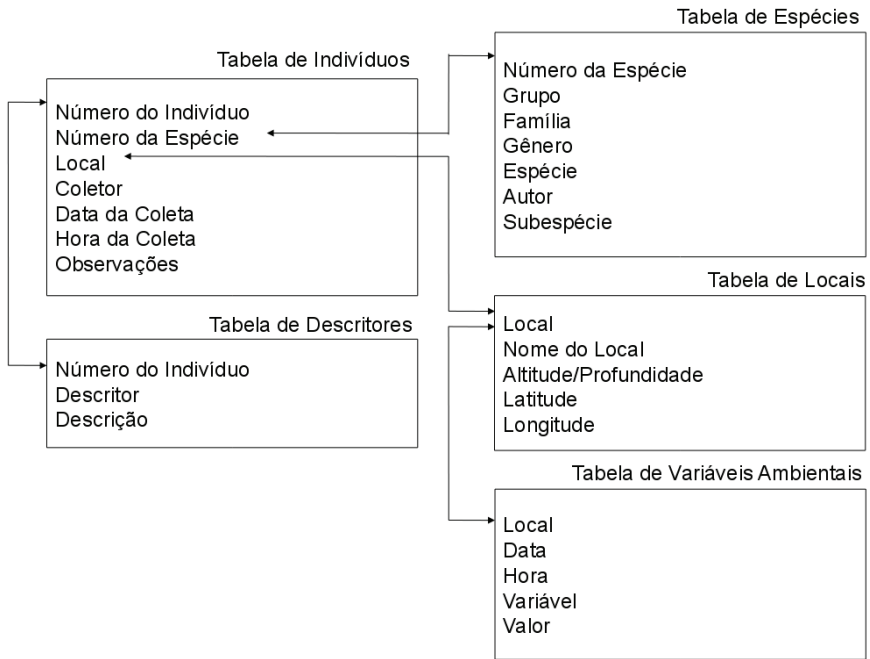


Figura 1: Modelo de dados do ECOLOG.

necessário ao banco de dados, bem como da complexidade da estrutura lógica do mesmo, porém não impõe limites ao tamanho do mesmo.

Casos de Uso

- Programa Mata Atlântica do Jardim Botânico do Rio de Janeiro/IBAMA, que organizou uma base de dados com cerca de 20.000 registros de espécimes e 2.000 registros de espécies de plantas coletadas na Reserva Ecológica de Macaé de Cima, Município de Nova Friburgo, Rio de Janeiro (Dalcin *et al.*, 1997) e outra com cerca de 600 indivíduos e 140 espécies vegetais da Estação Ecológica Estadual do Paraíso,

Município de Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro (Kurtz & Araujo, 2000).

- Projeto Levantamento Biológico Integrado da Reserva Ecológica Estadual de Jacarepiá, Município de Saquarema, Rio de Janeiro, da Fundação Estadual de Engenharia do Meio-Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA), que organizou uma base de dados com cerca de 300 indivíduos e 200 espécies de plantas da área (Sá *et al.*, 1991).

- Projeto Biotupé, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/MCT), Município de Manaus, Amazonas, direcionado ao gerenciamento e análise dos dados sobre a biodiversidade da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Lago Tupé (Cavalcanti, 2005).

Conclusão

Com a atualização do ECOLOG, um sistema especializado para o gerenciamento de dados oriundos de levantamentos ecológicos de campo, cujo funcionamento é conhecido e que já esteve em uso bem-sucedido em vários projetos similares em outras partes do país (Sá *et al.*, 1991; Dalcin *et al.*, 1997; Kurtz & Araujo, 2000), o Projeto Biotupé irá beneficiar-se dos investimentos prévios efetuados no desenvolvimento deste sistema e evitar sobreposição ou repetição desnecessária de esforços. O ECOLOG fornecerá aos inventários do Projeto Biotupé uma ferramenta genérica e confiável para a criação e manutenção de bancos de dados ecológicos, contribuindo para uma aplicação mais eficiente e efetiva destes dados aos esforços de conservação e uso sustentável da imensa diversidade biológica da Bacia Amazônica.

Agradecimentos

Ao Dr. Gustavo Martinelli (coordenador do Programa Mata Atlântica, Jardim Botânico do Rio de Janeiro), pelo apoio ao desenvolvimento da versão original do ECOLOG.

Ao Dr. Edinaldo Nelson dos Santos-Silva (coordenador do Projeto Biotupé, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), pelo apoio ao desenvolvimento da nova versão e atualizações do ECOLOG.

A todos os botânicos, nas pessoas dos Drs. Veridiana Vizoni Scudeller

(Universidade Federal do Amazonas), Eduardo Couto Dalcin (Jardim Botânico do Rio de Janeiro) e Cyl Farney Catarino de Sá (Jardim Botânico do Rio de Janeiro), que contribuíram para o aperfeiçoamento do ECOLOG com críticas construtivas e sugestões úteis.

Referências bibliográficas

ALBERCH, P. 1993. Museums, collections and biodiversity inventories. *Trends in Ecology and Evolution*, 8: 372-378.

ALLISON, A. 2003. Biological surveys - new perspectives in the Pacific. *Organisms Diversity & Evolution*, 3: 103-110.

ALLKIN, R. & WINFIELD, P.J. 1993. Cataloguing biodiversity: new approaches to old problems. *Biologist*, 40: 179-183.

BALMFORD, A. & GASTON, K.J. 1999. Why biodiversity surveys are good value. *Nature*, 398: 204-205.

BASCOMPTE, J. & JORDANO, P. 2007. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38: 567-593.

BASSI, S. 2007. A primer on Python for life science researchers. *PLoS Computational Biology*, 3: 2052-2057.

BEAMAN, J.H. & REGALADO, J.C., Jr. 1989. Development and management

of a microcomputer specimen-oriented database for the flora of Mount Kinabalu. *Taxon*, 38: 27-42.

BEAZLEY, D.M. 2000. Scientific computing with Python. In: MANSET, N., VEILLET, C. & CRABTREE, D. (eds.) *Astronomical Data Analysis Software and Systems IX*. San Francisco, ASP Conference Series, Vol. 216. pp. 49-58.

BERENDSOHN, W.G.; ANAGNOSTOPOULOS, A.; HAGEDORN, G.; JAKUPOVIC, J.; NIMIS, P.L.; VALDÉS, B.; GUNTSCHE, A.; PANKHURST, R.J. & WHITE, R.J. 1999. A comprehensive reference model for biological collections and surveys. *Taxon*, 48: 511-562.

CAMARGO, J.L.C., BORGES, S.H., DURIGAN, C.C., PINHEIRO, M.R. & IWANAGA, S. 2004. Projetos Janelas para a Biodiversidade: avaliação e perspectivas. In: BORGES, S.H., IWANAGA, S., DURIGAN, C.C. & PINHEIRO, M.R. (eds.), *Janelas para a Biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: Uma Estratégia para o Estudo da Biodiversidade na Amazônia*. Manaus, Fundação Vitória Amazônica. Pp. 259-272.

CAVALCANTI, M.J. 1991. ECOLOG: um sistema de banco de dados para levantamentos ecológicos de campo. Pp. 557 In: *Resumos do XVIII Congresso Brasileiro de Zoologia*, Salvador.

CAVALCANTI, M.J. 1993. ECOLOG: um sistema gerenciador de bancos de dados para levantamentos ecológicos de campo. Pp. 44-45 In: *Resumos do I*

Simpósio de Aplicações da Informática em Biologia, Campinas.

CAVALCANTI, M.J. 1998. Aplicações de Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados em Ecologia e Sistemática. *Acta Biologica Leopoldensia*, 20: 5-20.

CAVALCANTI, M.J. 2005. Bancos de dados sobre biodiversidade na Amazônia: a experiência do Projeto Biotupé. In: SANTOS-SILVA, E.N., APRILE, F.M., SCUDELLER, V.V. & MELO, S. (eds.). *BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. pp. 199-213.

DALCIN, E.; SOLANO, L. & PIZARRO, R. 1997. De banco de dados a centro de informações e serviços: uma experiência para a Reserva Ecológica Macaé de Cima. Pp. 307-314 In: Lima, H.C. & Guedes-Bruni, R.R. (eds.). *Serra de Macaé de Cima: Diversidade Florística e Conservação em Mata Atlântica*. Rio de Janeiro, Jardim Botânico do Rio de Janeiro.

DIGBY, P.G.N. & KEMPTON, R.A. 1987. *Multivariate Analysis of Ecological Communities*. Chapman and Hall, London. 206p.

DUMONT, R. *Um Mundo Intolerável: O Liberalismo em Questão*. Editora Revan, Rio de Janeiro. 240p.

EDWARDS, M. 1985. Database systems for ecological information: an

- application using biological data from Antarctica. *Journal of Environmental Management*, 21: 33-46.
- ELLIS, D.V. 1988. Quality control of biological surveys. *Marine Pollution Bulletin*, 19: 506-512.
- ERWIN, L.J.M. 1976. Application of a computerised general purpose information management system (SELGEM) to a natural history research data bank (Coleoptera: Carabidae). *Coleopterists' Bulletin*, 30: 1-32.
- FEGRAUS, E.H., ANDELMAN, S., JONES, M.B. & SCHILDHAUER, M. 2005. Maximizing the value of ecological data with structured metadata: an introduction to Ecological Metadata Language (EML) and principles of metadata creation. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 86: 158-168.
- FITTER, A.H. & PEAT, H.J. 1994. The Ecological Flora Database. *Journal of Ecology*, 82: 415-425.
- GALL, B.C. & CHRISTIAN, K.R. 1984. A program for a wildlife inventory. *Journal of Environmental Management*, 19: 277-289.
- GAUCH, H.G., Jr. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. 239 p.
- HAILA, Y. & MARGULES, C. R. 1996. Survey research in conservation biology. *Ecography* 19: 323-331.
- JANZEN, D.H. *et al.* 2009. Integration of DNA barcoding into an ongoing inventory of complex tropical biodiversity. *Molecular Ecology Resources*, 9 (Suppl. 1): 1-26.
- KURTZ, B.C. & ARAUJO, D.S.D. 2000. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de um trecho de Mata Atlântica na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, 51: 69-112.
- LAWTON, J.H.; BIGNELL, D.E.; BOLTON, B.; BLOEMERS, G.F.; EGGLETON, P.; HAMMOND, P.M.; HODDA, M.; HOLT, R.D.; LARSEN, T.B.; MAWDSLEY, N.A.; STORK, N.E.; SRIVASTAVA, D.S. & WATT, A.D. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, 391: 72-76.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. 1998. *Numerical Ecology*. 2nd ed. Elsevier Science, Amsterdam, 853 p.
- LUDWIG, J.A. & REYNOLDS, J.F. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Wiley & Sons, New York. 337 p.
- MADIN, J., BOWERS, S., SCHILDHAUER, M., KRIVOV, S., PENNINGTON, D. & VILLA, F. 2007. An ontology for describing and synthesizing ecological observation data. *Ecological Informatics*, 2: 279-296.

- MICHENER, W.K., BRUNT, J.W., HELLY, J.J., KIRCHNER, T.B. & STAFFORD, S.G. 1997. Nongeospatial metadata for the ecological sciences. *Ecological Applications*, 7: 330-342.
- OLIPHANT, T.E. 2007. Python in scientific computing. *Computing in Science & Engineering*, 9: 10-20.
- PÉREZ-TREJO, F. & JAMESON, D.A. 1986. Microcomputers in natural resource management in the Third World. *Interciencia*, 11: 242-249.
- PIVELLO, V.R. 1997. An expert system for assistance in ecological decisions. *Ciência & Cultura*, 49: 167-169.
- PRANCE, G.T. 1977. Floristic inventory of the tropics: where do we stand? *Annals of the Missouri Botanical Garden* 64: 659-684.
- RYKIEL, E.J., Jr. 1989. Artificial intelligence and expert systems in ecology and natural resources management. *Ecological Modelling*, 46: 3-8.
- SÁ, C.F.C.; ARAUJO, D.S.D.; LIMA, H.C.; CAVALCANTI, M.J.; PEREIRA, M.C.A. & FONTOURA, T. 1991. Composição florística e estrutura da floresta de cordão arenoso da Reserva Ecológica de Jacarepiá, Saquarema (RJ): dados preliminares. Pp. 527 In: Resumos do XLII Congresso Nacional de Botânica, Goiânia.
- SCUDELLER, V.V. & MARTINS, F.R. 2003. FITOGEO – um banco de dados aplicado à fitogeografia. *Acta Amazônica*, 33: 9-21.
- SHARKEY, M.J. 2001. The All Taxa Biological Inventory of the Great Smoky Mountains National Park. *Florida Entomologist*, 84: 556-564.
- STARFIELD, A.M. & BLELOCH, A.L. 1983. Expert systems: an approach to problems in ecological management that are difficult to quantify. *Journal of Environmental Management*, 16: 261-268.
- STEVENSON, R.D.; HABER, W.A. & MORRIS, R.A. 2003. Electronic field guides and user communities in the eco-information revolution. *Conservation Ecology* 7: 3. <http://www.consecol.org/vol7/iss1/art3>.
- SWEET, H.C. & POPPLETON, J.E. 1977. An EDP technique designed for the study of a local flora. *Taxon*, 26: 181-190.
- WILSON, E.O. 1994. *Diversidade da Vida*. Companhia das Letras, São Paulo. 447p.