

Caracterização & estimação de diversidade

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Conselho de Administração

José Amauri Dimárzio

Presidente

Clayton Campanhola

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tollini

Ernesto Paterniani

Luis Fernando Rigato Vasconcellos

Membros

Diretoria–Executiva da Embrapa

Clayton Campanhola

Diretor-Presidente

Mariza Marilena Tanajura Luz Barbosa

Gustavo Kauark Chianca

Herbert Cavalcante de Lima

Diretores-Executivos

Embrapa Roraima

Antonio Carlos Centeno Cordeiro

Chefe Geral

Oscar José Smiderle

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Miguel Amador de Moura Neto

Chefe Adjunto de Administração



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agroflorestal de Roraima
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*ISSN 0101 – 9805
Dezembro, 2003*

Documentos 05

Caracterização & estimação de diversidade

Moisés Mourão Júnior
Paulo Roberto Valle da Silva Pereira
Patrícia Costa

Boa Vista, Roraima
2003

Exemplares desta publicação podem ser obtidos na:

Embrapa Roraima

Rod. BR-174 Km 08 - Distrito Industrial Boa Vista-RR

Caixa Postal 133

69301-970 - Boa Vista - RR

Telefax: (095) 626.7018

e_mail: sac@cpafrr.embrapa.br

www.cpafr.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Oscar José Smiderle

Secretário-Executivo: Bernardo de Almeida Halfeld Vieira

Membros: Evandro Neves Muniz

Hélio Tonini

Moisés Cordeiro Mourão de Oliveira Júnior

Patrícia da Costa

Paulo Roberto Valle da Silva Pereira

Normalização Bibliográfica: Maria José Borges Padilha

Editoração Eletrônica: Maria Lucilene Dantas de Matos

1ª edição

1ª impressão (2003): 300

MOURÃO JÚNIOR, M. ; PEREIRA, P.R.V. da S.; COSTA, P. Caracterização & estimação de diversidade. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2003. 25 p. (Embrapa Roraima. Documentos, 5)

1. Diversidade. 2. Caracterização. I. Título. II Série

CDD: 519.5

Autores

Moisés Mourao Júnior

Estatístico, Pesquisador Embrapa Roraima, CP 133, CEP69301970,
e-mail: mmourao@cpafrr.embrapa.br

Paulo Roberto Valle da Silva Pereira

Entomologista, DSc. Pesquisador Embrapa Roraima, CP 133,
CEP69301970, e-mail: paulo@cpafrr.embrapa.br

Patrícia Costa

Pesquisadora Embrapa Roraima, CP 133, CEP69301970, e-mail:
patrica@cpafrr.embrapa.br

Sumário

ISSN 0101 - 9805.....	1
Dezembro, 2003.....	1
República Federativa do Brasil.....	2
Telefax: (095) 626.7018.....	4
Introdução.....	9
Abordagens da diversidade.....	10
Diversidade α	12
Critérios baseados em S.....	12
Número da táxons.....	12
Critérios baseados na relação S:N.....	13
Descritivos.....	13
Abundância.....	14
k-dominance.....	14
Estatística Q.....	15
Paramétricos.....	16
Série geométrica.....	17
Série logarítmica.....	20
Distribuição lognormal.....	21
Não paramétricos.....	22
Índice de Simpson-Yule (D).....	22
Índice de Margalef (DMg).....	22
Índice de Mehinick (DMn).....	22
Índice de McIntosh (U).....	23
Índice de Berger-Parker (d).....	23
Índice de Shannon-Wiener (H').....	23
Índice de Brillouin (HB).....	24
Diversidade β	24
Baseados em S.....	24
Baseados em S:N.....	25
Paramétricos.....	25
Não paramétricos.....	25
Referências Bibliográficas.....	25
Recursos computacionais.....	27

Caracterização & estimação de diversidade

Moisés Mourão Júnior
Paulo Roberto Valle da Silva Pereira
Patrícia Costa

Introdução

Os estudos ecológicos tem como objetivo principal a determinação de fatores que influam na presença e abundância de organismos; objetivo aparentemente simples, mas que implica em diferentes enfoques. O que pode definir abordagens de natureza descritiva, funcional ou evolutiva, empregadas em estudos teóricos, laboratoriais ou de campo; revertendo-se assim em explicações aproximativas ou conclusivas. A própria escala de avaliação do arranjo dos organismos, que pode variar desde o nível individual até a própria biosfera (Figura 1).

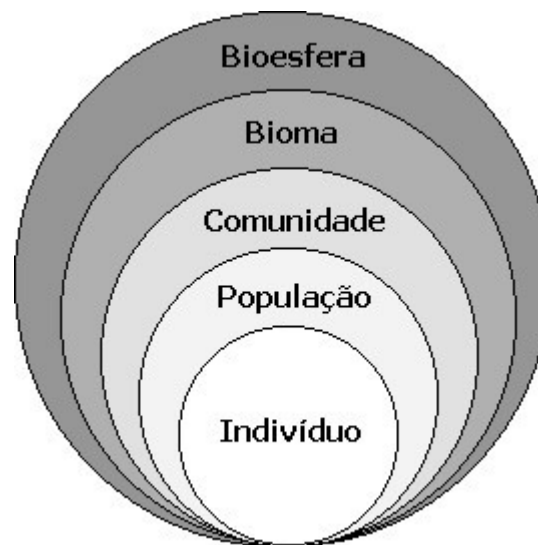


Fig. 1. Estrutura hierárquica dos estudos ecológicos

Atualmente o paradigma da Ecologia preconiza uma visão holística, onde os fenômenos são avaliados à luz de diversos fatores em várias escalas. Assim, estudos auto-ecológicos

apresentam respostas mais restritivas e, de certa forma, discordantes com o paradigma atual, de natureza politética ou multiespecífica.

Então, os estudos de comunidades representam a forma de descrever e avaliar a funcionalidade nos ecossistemas ou biomas. Um dos critérios a serem considerados é a diversidade das comunidades, o que implica na riqueza de espécies e sua abundância.

Diversidade ou biodiversidade implicam invariavelmente em variabilidade, no caso de formas de vida rotuladas sob táxons. Assim, a diversidade pode ser tomada como um atributo centralizador, médio, sumarizador da comunidade

A seguir, transcreve-se um trecho do naturalista Alfred Russel Wallace ao descrever uma floresta tropical:

Se um viajante observa uma espécie em particular e deseja encontrar mais como semelhantes a esta, ele deve virar seus olhos a esmo em qualquer direção. Árvores de formas variadas, dimensões e cores estarão ao seu redor, mas raramente ele observará alguma delas repetida. Hora após hora, ele chegará próximo a uma árvore semelhante à que ele busca, mas uma inspeção mais atenta indicará que estas são diferentes. Quem sabe se após mais meia milha ele não possa encontrar um segundo espécime desejado, ou quem sabe, por acidente, em outra ocasião tropeçar no mesmo espécime.

Com base no relato acima, pode-se representar o conceito de diversidade como uma taxa média de raridade de espécies na comunidade, sintetizando, deste modo, valores de maior ou menor dominância de espécies.

Abaixo um exemplo hipotético (Figura 2) de espécies pertencentes ao gênero hipotético de Coleoptera. No exemplo são apresentadas 05 espécies distribuídas aleatoriamente, onde a grande maioria apresenta diferenças marcantes, tomando-se coloração do élitro como identificador morfológico. Tente observar com máximo de atenção possível.

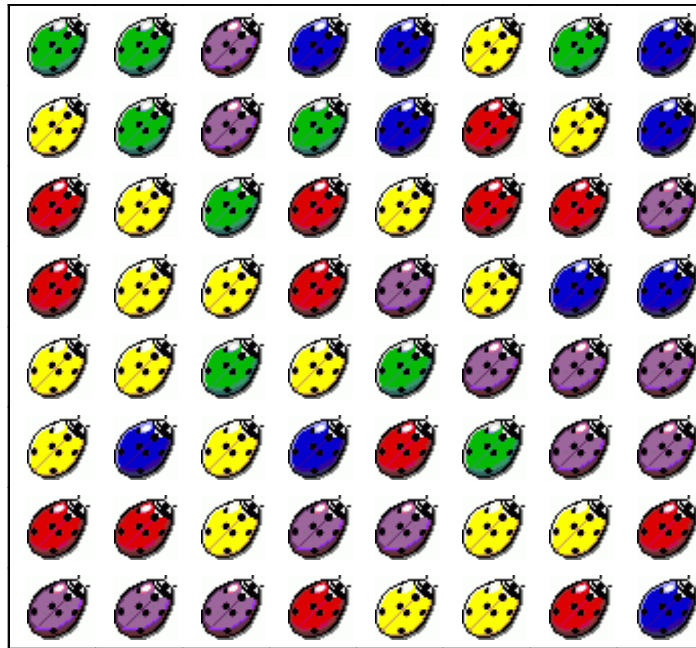







Fig. 2. Representação esquemática de uma amostragem de espécies hipotéticas de um gênero, também hipotético, de Coleoptera

O resumo da “coleta” é apresentado na Tabela 1. Onde observa-se uma maior abundância de sp 04 (28%), seguida de sp 03 e sp 05 (20%) e sp 01 e sp 02 (15%) (Tabela 1). A sutil diferença, dada pela variação de cores neste gênero hipotético, deve ser preservada na determinação taxonômica das espécies, mantendo, deste modo, a riqueza de espécies.

Tabela 1. Frequência das espécies hipotéticas do gênero, também hipotético de Coleoptera

Táxons	n	p_i
sp 01 	10	15,63
sp 02 	9	14,06
sp 03 	14	21,88
sp 04 	18	28,13
sp 05 	13	20,31
Total	64	100,00

Deste modo, a definição do nível taxonômico a ser utilizado nas diferentes unidades taxonômicas operacionais, é uma exigência aprirística, podendo este ser tratado desde um nível supra-específico (gêneros, famílias, ordens), até os infra-específicos (variedades, meta-populações, etc.), entretanto a unidade taxonômica mais utilizada — e legítima para inferências com relação a comunidades — é a espécie. Nos estudos de diversidade, várias abordagens podem ser tomadas, como será definido a seguir.

Abordagens da diversidade

Estudos de diversidade, seja de comunidades animais ou vegetais, devem ser precedidos de uma determinação prévia do nível de detalhamento pretendido, já que o grau de complexidade das hipóteses e das, conseqüentes, inferências cabíveis, está diretamente associado ao esforço amostral. Assim, quanto mais complexa a hipótese, mais abrangente é a inferência; logo o esforço amostral também será maior. Ressalta-se o fato de que os esforços amostrais devam ser uniformes para que não ocorra subestimação ou superestimação em qualquer uma das amostras a serem tomadas, deste modo preserva-se a acuidade das inferências cabíveis.

Um exemplo, pode ser mais elucidativo:

- ☞ **Exemplo 1** Pretende-se caracterizar a diversidade de um trecho de um rio. Para tal são feitas 04 amostragens, com arrasto manual. Entretanto, este rio deve apresentar diferenças em uma escala de tempo, então as 04 amostragens devem ser feitas em, pelo menos 02 (i) períodos do ano. Deste modo já temos 08 amostragens a serem realizadas. Foi dito que o aparelho a ser utilizado seria arrasto manual, o que sugere que somente as espécies localizadas nas porções marginais devam ser amostradas ... e as espécies do canal? Sugere-se, então, o (ii) uso de outros aparelhos, como malhadeiras em diferentes estratos, digamos 03 com aproximadamente 5m. Deste modo, teríamos 36 amostragens a serem praticadas. A Figura 3 representa o exemplo proposto.

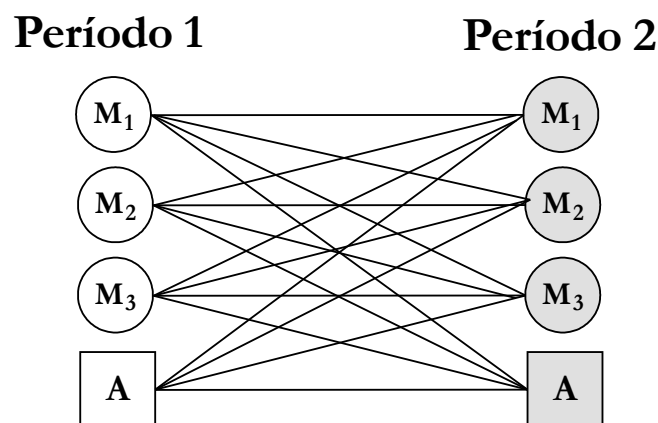


Fig. 3. Representação esquemática do Exemplo 1, considerando os efeitos (i) período do ano e (ii) tipo de aparelho, estando incluso o efeito de profundidade — em estrutura hierárquica. Onde: M — aparelho de amostragem malhadeira; A — aparelho de amostragem arrasto manual

Não satisfeito, pretende-se não somente caracterizar um trecho do rio, mas sim ele como um todo. Logo inclui-se o efeito de (iii) porções do rio em função de sua descarga — tomando-se para isto 05 trechos. Menos satisfeito ainda pretende-se compará-lo com outros 02 rios com o mesmo nível de detalhamento. Assim teríamos 04 amostragens em cada uma das 04 profundidades dos aparelhos, em cada um dos 05 trechos, nos 02 períodos do ano em cada um dos 03 rios, logo teria-se um esforço de 480 amostragens.

Os comentários acima não tem como objetivo desestimular qualquer tipo de trabalho com hipóteses mais complexas, mas sim referendar a necessidade de um delineamento experimental ou observacional adequado, já que o esforço amostral deve ser idêntico a fim de assegurar estimativas acuradas e o mais precisas possível.

Uma forma de determinar de maneira clara o grau de detalhamento do estudo das comunidades pode ser obtido através das abordagens do estudo de diversidade, sendo estas:

- **Diversidade α :** Refere-se à diversidade de espécies de uma comunidade restrita a um *habitat*, local ou período de tempo. Não emprega nenhum controle ou registro das variáveis ambientais. Sumariza e empacota a diversidade em uma lista de espécies. Resultados podem ser utilizados em estudos posteriores com certas limitações.

☞ Exemplos de estudos de diversidade α são os mais comuns, os inventários são um exemplo deste tipo de abordagem, como no caso do estudo do trecho do rio citado anteriormente.

- **Diversidade β :** Refere-se à medida da variação e magnitude da mudança das comunidades, sua composição, abundância, riqueza e diversidade em função de um gradiente, de um *habitat* a outros, diferentes locais ou períodos de tempo, bem como interações espaço-temporais.

☞ Exemplos de estudos de diversidade β tem sido cada vez mais utilizados, um rótulo atual seria gradient analysis. Onde *habitats* com diferentes condições ambientais tem seus fatores abióticos influentes sobre as espécies — ou grupos destas — isolados. Estudos de simulação tem surgido com aplicação direta em manejo ou de avaliação de impacto.

- **Diversidade γ** : Reportar a riqueza de espécies de um conjunto de *habitats*, em uma área geográfica definida, por exemplo uma ilha. É consequência das diversidades α em cada um dos habitat, juntamente com o conhecimento da diversidade β entre eles.

☞ Exemplos de estudos de diversidade γ são os mais conclusivos e tem sido obtidos de maneira secundária, ou seja, a partir da reunião de trabalhos anteriores realizados em uma área geográfica, incluindo todos os organismos possíveis.

Deve-se notar que com relação ao tipo de resultado obtido nas abordagens α , β e γ e que associa diversidade α e γ é que estas podem ser descritas e simplificadas por um simples número (escalar), normalmente o número de espécies S ou S_T número total de espécies. Na diversidade β é necessário tanto a magnitude da variabilidade, quanto sua orientação em função dos fatores ambientais (vetores). Deste modo, as abordagens são diferentes tanto na sua abrangência geográfica, como no trato dos resultados esperados.

Diversidade α

Crítérios baseados em S

São indicadores do grau de variabilidade taxonômica, são meramente contagens, não apresentando qualquer ponderação com a abundância. Mas são muito informativos. Utilizados extensivamente na determinação de abrangência geográfica das espécies e novos registros.

Número da táxons

O número de espécies, gêneros, famílias e ordens são os mais comuns. Outras representações como número médio de espécies/gênero também são muito informativas com relação ao tipo de diversificação da comunidade. Por exemplo, (i) sistemas marinhos apresentam um baixo número médio de espécies/gênero, enquanto que os (ii) sistemas fluviais apresentam um elevado número médio de espécies/gênero.

Estes dois sistemas poderiam ser apresentados como divergentes com relação a sua diversificação supra-específica, tendo os (i) sistemas marinhos um elevado número de ordens, famílias e gêneros e poucas espécies dentro destes níveis taxonômicos, já os (ii) sistemas fluviais um menor número de ordens, famílias e gêneros e muitas espécies dentro destes níveis taxonômicos.

☞ Inventários de macrolepidópteros em plantios florestais (CHEY, HOLLOWAY & SPEIGHT, 1997) são apresentados sob a forma de sùmula dos táxons assinalados nas amostragens (Tabela 2).

Tabela 2. Sùmula descritiva dos táxons de mariposas (Adaptado de CHEY, HOLLOWAY & SPEIGHT, 1997)

	Plantios						Total
	[AM]	[ED]	[GA]	[PC]	[PF]	[FS]	
Famílias	10	10	10	9	10	10	10
Gêneros	59	60	60	58	60	58	60
Espécies	69	69	71	71	69	67	71
G/F	5,90	6,00	6,00	6,44	6,00	5,80	6,00
G/F _(max)	26	26	26	26	26	25	26
S/F	6,90	6,90	7,10	7,67	7,10	6,70	7,10
S/F _(max)	31	30	31	31	31	30	31
S/G	1,17	1,15	1,18	1,19	1,18	1,16	1,18
S/G _(max)	3	4	4	4	4	4	4

Onde: F – número de famílias; G – número de gêneros; S – número de espécies; G/F - média do número de gêneros/família; G/F_{max} – maior número de gêneros/família; S/F – média do número de espécies/família; S/F_{max} – maior número de espécies/família; S/G – média do número de espécies/gênero; S/G_{max} – maior número de espécies/gênero. [AM] – *Acacia mangium*; [ED] – *Eucalyptus deglupta*; [GA] – *Gmelina arborea*; [PF] – *Paraserianthes falcataria*; [PC] – *Pinus caribea*; [FS] – floresta secundária

	Recursos computacionais						
	Excel	Excel (Macro)	Biodiversity Pro	BioDap	MVSP	Krebs Win	Krebs Dos
Estruturação do banco de dados	✓						
Operadores matemáticos	✓						
Determinação do número de espécies		✓	✓	✓	✓	✓	✓

Critérios baseados na relação S:N

Já ponderam a relação número de espécies:abundância. São mais informativos que os critérios baseados em S, já que os englobam de maneira indireta ou tem estes como derivados.

Descritivos

Não utilizam ou estimam qualquer parâmetro a partir dos dados, são representações preliminares, mas bastante informativas sobre a estrutura da diversidade nas comunidades.

Abundância

Normalmente expresso por uma relação gráfica entre a posição das espécies mais abundantes (*rank*), obtido através de uma ordem decrescente de abundância ou biomassa, e o número de indivíduos em cada uma das espécies (abundância) (Figura 4). Os valores de abundância podem ser logaritimizadas, normalmente na base neperiana.

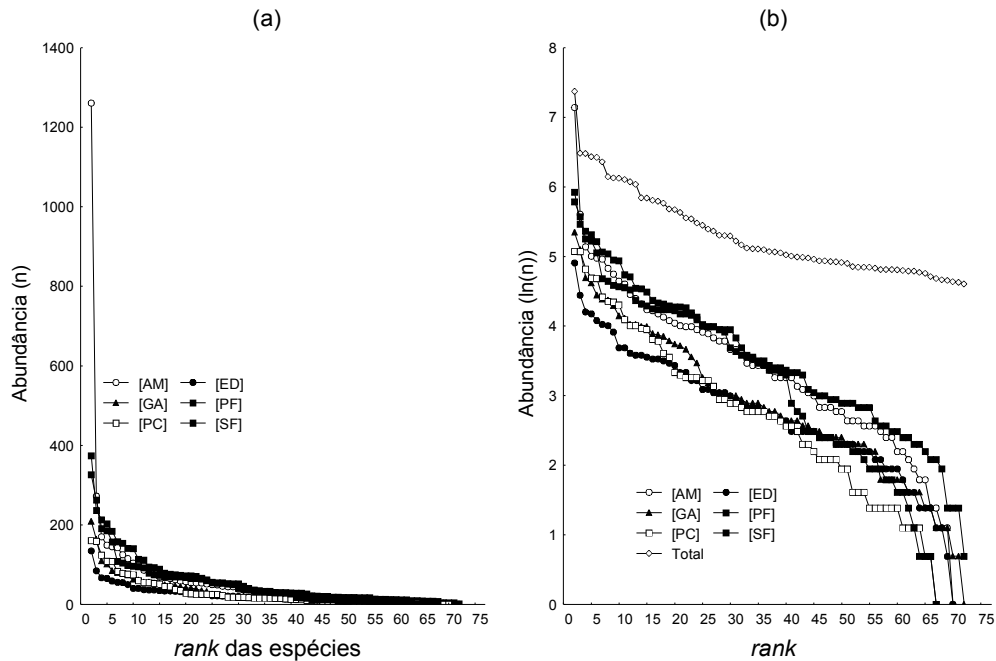


Fig.4. Relação entre o rank das espécies e sua (a) abundância e (b) logaritmo neperiano da abundância, de espécies de macrolepdópteras em plantios florestais (Adapatado de CHEY, HOLLOWAY & SPEIGHT, 1997)

Outras formas de representação seria o número de espécies superiores a um limiar de 5 ou 1% de abundância ou biomassa.

k-dominance

Também refere-se à disposição gráfica, só que entre a abundância relativa (%) acumulada e a posição das espécies mais abundantes. A Figura 5 representa o uso desta técnica. Medidas de biomassa relativa acumulada também são utilizáveis neste caso.

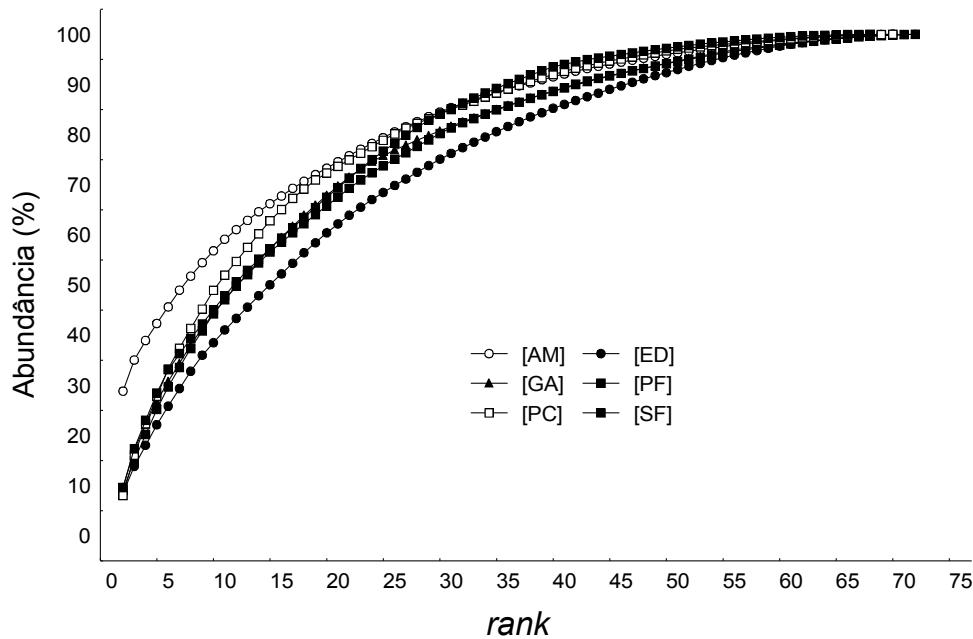


Fig. 5. Relação entre o *rank* das espécies e a abundância relativa acumulada de espécies de macrolepdópteros, em plantios florestais (Adapatado de CHEY, HOLLOWAY & SPEIGHT, 1997)

	Recursos computacionais							
	Excel	Excel (Macro)	Biodiversity Pro	BioDap	MVSP	Krebs Win	Krebs Dos	
Estruturação do banco de dados	✓							
Operadores matemáticos	✓							
Rank de espécies	✓		✓	✓		✓	✓	
K-dominace			✓					

Estatística Q

A contribuição das espécies na abundância ou biomassa da comunidade, pode ser descrita por meio de indicações do número de espécies nos quartis.

Como quartis, são definidos os pontos onde os valores ordenados de uma variável aleatória apresentam valores de número de observações acumulada conhecida. Um exemplo de quartil é mediana que representa 50% das observações. Os quartis conhecidos são: Q_0 – com 0% das observações; Q_1 – com 25% das observações; Q_3 – com 75% das observações e Q_4 com 100% das observações da variável aleatória. Além dos quartis temos os decis ou percentis representando outras escalas, como por exemplo o D_{90} , que representa 90% das observações, o D_{95} , que representa 95% das observações e assim por diante.

Deste modo, podemos indicar o número de espécies que é assinalada em cada um dos quartis ou decis, como uma medida sumarizadora e discriminante, bem como altamente informativa com relação à taxa de raridades das espécies, em função de sua abundância e biomassa.

Tabela 3. Número de espécies nos percentis 50, 75, 90 e 99% de abundância nos períodos do ano, nos igarapés das porções interna e externa da baía de Marajó (Adaptado de MOURÃO JR., 1998)

Percentis	Porções					
	Interna			Externa		
	C	T	S	C	T	S
Q ₅₀	3	4	8	8	10	11
Q ₇₅	5	6	17	14	16	22
Q ₉₀	8	8	25	20	21	33
Q ₉₉	9	9	36	25	24	45
S	9	10	37	26	25	47

Onde: Porção Interna ~ Igarapé Sapucajuba; porção externa ~ Igarapé Anuerá; C ~ período de chuva; T ~ períodos de transição chuva/seca, seca/chuvas; S ~ período de seca

Uma outra maneira de representar os quartis é através da estatística Q, que é um coeficiente angular entre-quartis, indicando a diversidade da comunidade sem o peso de espécies muito abundantes ou raras, já que utiliza os quartis Q₂ e Q₃, respectivamente 50 e 75%. Definida por .

$$Q = \frac{\frac{1}{2}n_{R_1} + \sum n_r + \frac{1}{2}n_{R_2}}{\log\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

Onde: n_{R1} – número de espécies abaixo do quartil 25%; n_{R2} – número de espécies acima do quartil 75%; n_r – número de espécies entre os quartis; R₁ – número de indivíduos no quartil 25%; R₂ – número de indivíduos no quartil 75%.

Recursos computacionais							
	Excel	Excel (Macro)	Biodiversity Pro	BioDap	MVSP	Krebs Win	Krebs Dos
Estruturação do banco de dados	✓						
Operadores matemáticos	✓						
Estatística Q					✓		

Paramétricos

São definidos como critérios paramétricos aqueles que envolvem estimativas obtidas diretamente dos dados. São apresentadas séries de aproximação.

Série geométrica

Trata-se de um ajuste, originalmente proposto por Motomura, também conhecido como hipótese do nicho disponível (*pre-emption niche*). Baseia-se no princípio de que se uma espécie ocupa uma fração k de um *habitat*, outras espécies utilizarão a mesma fração k do restante do nicho disponível (Figura 6). Definido por .

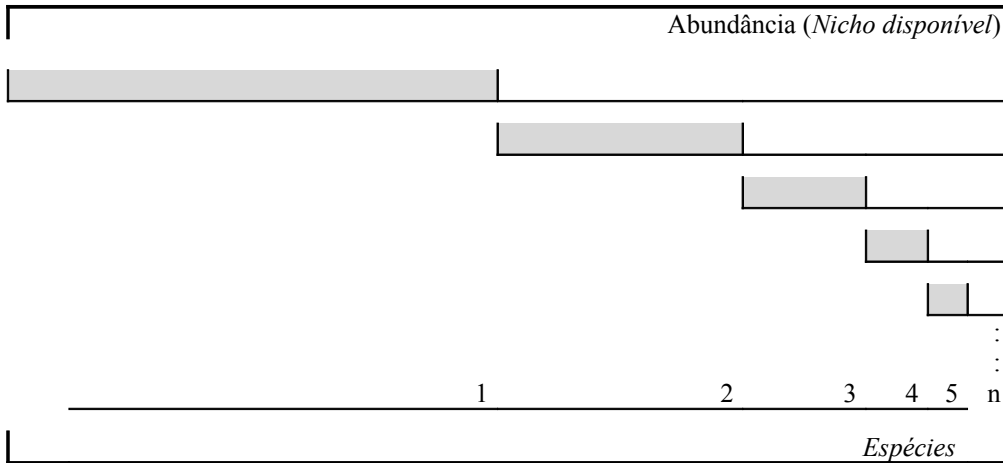


Fig.6. Representação da hipótese do nicho disponível da série geométrica

$$n_i = NC_k k (1-k)^{i-1}$$

Onde: n_i – número de indivíduos da i -ésima espécie; N – número total de indivíduos; $C_k = \left[1 - (1-k)^S \right]^{-1}$; S – número de espécies; k – proporção do nicho disponível.

A obtenção dos parâmetros é feita de maneira iterativa, tendo como passo 1 determinação da proporção do nicho disponível (k), que pode ser obtido por meio de tentativas pelo balanceamento da igualdade .

$$\frac{N_{\min}}{N} = \left[\frac{k}{(1-k)} \right] \left[\frac{(1-k)^S}{1 - (1-k)^S} \right]$$

Onde: N_{\min} – número de indivíduos na espécie menos abundante; N – número total de indivíduos. Esta igualdade tende a $\frac{1}{N}$.

A série geométrica tem como limitação seu uso com restrições a comunidades com um pequeno número de espécies. A adequação do modelo dado pelo teste de χ^2 de aderência, com $S-1$ graus de liberdade.

- ☞ A partir dos dados de abundância de peixes (Tabela 4) no igarapé da porção interna da baía de Marajó, na transição entre os períodos de

seca e chuvas será ajustada e testada a série geométrica (Adaptado de MOURÃO JR., 1998).

Tabela 4. Frequência de espécies no igarapé da porção interna da baía de Marajó, no período de transição entre os períodos de seca e chuvas (Adaptado de MOURÃO JR., 1998)

Espécies	n_i
<i>Gasteropelecus sternicla</i>	12
<i>Hyphessobrycon minor</i>	12
<i>Tomeurus gracilis</i>	12
<i>Astyanax bimaculatus</i>	11
<i>Leiarius marmoratus</i>	11
<i>Anchoviella elongata</i>	8
<i>Micropoecilia</i> sp.	8
<i>Triportheus elongatus</i>	8
<i>Curimata simulatta</i>	4
<i>Vandellia plazaii</i>	3
S	10
N	89

O valor de $\frac{N_{\min}}{N} = \frac{3}{89} \cong 0,03371$. Então teremos a igualdade.

$$0,03371 = \left[\frac{k}{(1-k)} \right] \left[\frac{(1-k)^S}{1-(1-k)^S} \right]$$

Nas iterações teríamos:

k	N_{\min}/N	Diferença
0,600	0,00016	0,03355
0,400	0,00406	0,02965
0,200	0,03007	0,00364
0,190	0,03246	0,00124
0,188	0,03296	0,00075
:	:	:
0,185	0,03371	0,0000
:	:	:
0,184	0,03396	-0,00025

Logo o valor de k adotado é o de 0,185, pois a diferença torna-se nula.

$$C_k = \left[1 - (1 - 0,185)^{10} \right]^{-1} = 1,1485. \text{ Para a estimativa de } n_i \text{ teremos:}$$

$$n_1 = 89 * 1,1485 * 0,185 * (1 - 0,185)^0 = 18,91$$

$$n_2 = 89 * 1,1485 * 0,185 * (1 - 0,185)^1 = 15,41$$

⋮
⋮

$$n_{10} = 89 * 1,1485 * 0,185 * (1 - 0,185)^9 = 3,00$$

Espécies	Observado	Esperado	χ^2
Gasteropelecus sternicla	12	18,91	2,52
<i>Hyphessobrycon minor</i>	12	15,41	0,76
<i>Tomeurus gracilis</i>	12	12,56	0,03
<i>Astyanax bimaculatus</i>	11	10,24	0,06
<i>Leiarius marmoratus</i>	11	8,34	0,85
<i>Anchoviella elongata</i>	8	6,80	0,21
<i>Micropoecilia</i> sp.	8	5,54	1,09
<i>Triportheus elongatus</i>	8	4,52	2,69
<i>Curimata simulatta</i>	4	3,68	0,03
<i>Vandellia plazaii</i>	3	3,00	0,00
		$\chi^2=8,23$	$p>0,30$

O ajuste da série geométrica foi adequado ($p>0,30$), mesmo com algumas discrepâncias observáveis (Figura 7).

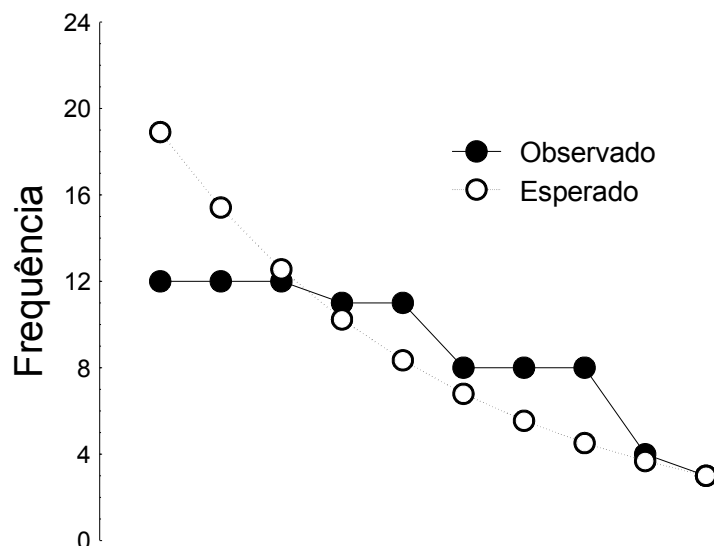


Fig.7. Ajuste da série geométrica aos dados de abundância de espécies no igarapé da porção interna da baía de Marajó, no período de transição entre os períodos de seca e chuvas (Adaptado de MOURÃO JR., 1998)

Série logarítmica

Proposta originalmente por Fisher, é a primeira tentativa válida de descrever matematicamente a relação entre número de espécies e o número de indivíduos em cada espécie.

Em comparação ao modelo anterior, trata-se de um modelo mais maleável e adequado ao ajuste de dados empíricos. Distinções são fixadas entre a série geométrica e a série logarítmica, entretanto relações entre as duas séries são observáveis.

A série logarítmica ou modelo série logarítmica de Fisher, ou simplesmente log-serie é dado por .

$$\alpha x, \frac{\alpha x^2}{2}, \frac{\alpha x^3}{3}, \dots, \frac{\alpha x^n}{n}$$

Onde: αx – número de espécies predito para ter 01 indivíduo, $\frac{\alpha x^2}{2}$ - número de espécies predito para ter 02 indivíduos, ... , $\frac{\alpha x^n}{n}$ - número de espécies predito para ter n indivíduos.

O número total de espécies é obtido pelo somatório dos termos reduzido a .

$$S = \alpha \left[-\ln(1-x) \right]$$

Onde: α – índice da série logarítmica;

Sendo que x pode ser obtido de maneira iterativa através da igualdade a ser balanceada.

$$\frac{S}{N} = \frac{(1-x)}{x \left[-\ln(1-x) \right]}$$

Na prática, $0,90 \leq x \leq 1,0$. Se a razão $N/S > 20$, então $x > 0,99$.

Os parâmetros α , o índice da série logarítmica, e N sumarizam toda a distribuição e estão relacionados por .

$$N = \alpha \ln \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right)$$

Podendo α ser tomado como um índice de diversidade, a partir de com intervalo de confiança dado por .

$$\alpha = \frac{N(1-x)}{x}$$

$$Var(\alpha) = \frac{\alpha}{-\ln(1-x)}$$

A aderência da distribuição pode ser medida via χ^2 corrigido ou através do teste G de Wills.

Distribuição lognormal

A distribuição lognormal (S_L), pertence à família exponencial, mesma da distribuição normal ou gaussiana. Pertencendo ao sistema de Johnson, com as distribuições S_U e S_B . Esta distribuição tem uso amplo em diversos ramos das ciências, devido sua plasticidade, já que baseia-se em 04 parâmetros.

Seu uso em estudos de diversidade é efetuado através de sua aplicação no ajuste da abundância de espécies a “oitavas” (classes ou intervalos de abundância).

A distribuição é dada usualmente por .

$$S_{(R)} = S_0 \exp(-a^2 R^2)$$

Onde: $S_{(R)}$ – número de espécies na r_i oitava; S_0 – número de espécies na oitava modal; $a - \left(2\sigma^2\right)^{\frac{1}{2}}$, a inversa da variância da distribuição.

Outro parâmetro a ser definido é o γ , que define a relação entre a oitava modal e o limite superior da curva de espécies, ou seja a média/máximo, dado por .

$$\gamma = \frac{R_N}{R_{\max}} = \frac{\ln 2}{2a(\ln S_0)^{\frac{1}{2}}}$$

Onde: R_N – oitava modal; R_{\max} – oitava com as espécies mais abundantes

O cômputo da distribuição lognormal é dificultado pela necessidade de tabelas específicas, no caso do método dos momentos padronizados, ou da resolução de sistemas de equações não-lineares simultâneas.

Maiores informações podem ser obtidas em SLIKFER & SHAPIRO (1980). Diversos pacotes estatísticos apresentam a adequação da abundância de espécies a oitavas, como visto abaixo.

Recursos computacionais								
	Excel	Excel (Macro)	Biodiversity Pro	BioDap	MVSP	Krebs Win	Krebs Dos	
Estruturação do banco de dados	✓							
Operadores matemáticos	✓							
Série geométrica				✓				
Série logarítmica (log-serie)				✓			✓	
Log-normal		✓		✓			✓	

Não paramétricos

Nesta secção são apresentados os índices de diversidade que sintetizam valores de número de espécies (S) e abundância (N). Estes índices são definidos em dois grupos, a saber:

☐ Índices de dominância

Índices baseados na relação direta entre S e N. São índices de cômputo simplificado, entretanto, sem grande poder discriminatório. Não apresentam testes formais para comparação. São simples indicadores, mas cumprem seu papel. Neste grupo são alocados os índices de: Simpson-Yule, Margalef, Mehinick, McIntosh e Berger-Parker.

☐ Índices de informação: Índice de Shannon-Wiener

Índices baseados em princípios da teoria da comunicação, onde a quantidade de espécies e sua abundância, são combinadas na obtenção de um número único (escalar). São mais informativos e apresentam maior poder discriminatório. Apresentam testes formais. São a alternativa mais empregada.

Índice de Simpson-Yule (D)

$$\text{Expresso por } D = \sum p_i^2$$

Índice de Margalef (D_{Mg})

$$\text{Expresso por } D_{Mg} = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Índice de Mehinick (D_{Mn})

$$\text{Expresso por } D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Índice de McIntosh (U)

Expresso por $U = \sqrt{\sum n_i^2}$, entretanto U não é por si um índice de diversidade, mas sim D^*

definido por $D^* = \frac{N - U}{N - \sqrt{N}}$.

Índice de Berger-Parker (d)

Também apresentada a simbologia N_{\max} , é definido por $d = \frac{N_{\max}}{N}$.

Índice de Shannon-Wiener (H')

Diferentes denominações são imputadas ao H' , como: índice de Shannon-Wiener, índice de Shannon-Weaver e índice de Shannon. Apesar da primeira ser a mais adequada, as outras são consagradas pelo uso. Entretanto, recomenda-se utilizar simplesmente índice de Shannon.

É definido por $H' = -\sum (p_i \log p_i)$. Sem sombra de dúvidas é o índice mais utilizado, devido seu grau de informação, e facilidade de cômputo. As bases de logaritmos comumente utilizadas são base 2, base 10 e base neperiana ou natural, sendo esta última a opção padrão da maioria dos softwares de análise de dados ecológicos.

Comparações e contrastes

Realizado através de um teste t específico, apresenta a vantagem de impor uma correção, do tipo Satterthwaite, aos graus de liberdade, preservando o poder do teste, dada a heterogeneidade das variâncias.

O teste t é expresso por $t = \frac{H'_1 - H'_2}{\sqrt{\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2}}$

Sendo:

$$\text{Var}H' = \frac{\sum p_i (\log p_i)^2 - (\sum p_i \log p_i)^2}{N} - \frac{S-1}{2N^2}$$

$$g.l. = \frac{(\text{Var}H'_1 + \text{Var}H'_2)^2}{\left[\frac{(\text{Var}H'_1)^2}{N_1} \right] + \left[\frac{(\text{Var}H'_2)^2}{N_2} \right]}$$

Índice de Brillouin (H_B)

Definido por $H_B = \frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N}$, é facilmente perceptível sua relação com o índice de

Shannon, entretanto o uso de fatoriais, no caso de $N!$ e $n_i!$ dificulta profundamente sua implementação.

	Recursos computacionais						
	Excel	Excel (Macro)	Biodiversity Pro	BioDap	MVSP	Krebs Win	Krebs Dos
Estruturação do banco de dados	✓						
Operadores matemáticos	✓						
Índice de Simpson-Yule			✓	✓	✓	✓	✓
Índice de Margalef			✓	✓			
Índice de Mehinick				✓			
Índice de McIntosh			✓	✓			
Índice de Berger-Parker			✓	✓			
Índice de Brillouin				✓	✓	✓	✓
Índice de Shannon-Wiener		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Contrastes do índice de Shannon-Wiener				✓			

Diversidade β

Esta abordagem já apresenta um caráter comparativo, assim, as estimativas são as mesmas que as da diversidade α , entretanto os atributos deverão ser comparáveis.

Baseados em S

No caso de valores singulares, estes não podem ser comparados, a não ser através de técnicas de reamostragem, que adequam-se computacionalmente, mas nem sempre conceitualmente. Entretanto, no caso da existência de réplicas legítimas, como por exemplo: vários arrastos ou malhagens, sob mesma condição de esforço, tempo e espaço diversas técnicas podem ser utilizadas.

Assim, os valores de número de espécies, gêneros, famílias e razões quando avaliadas sob a influência de (i) fatores abióticos, que são expressos em escala quantitativa, análises como regressão simples e múltipla mostram-se bastante adequadas. No caso de (ii) comparações geográficas sem qualquer informação de parâmetros abióticos, a metodologia mais adequada parece ser a não paramétrica, representadas pelos testes de Mann-Whitney (ou teste U, para

duas amostras), teste de Kruskal-Wallis (ANOVA não paramétrica, para k amostras) e o teste de comparação múltipla de Dunn.

Maiores informações sobre estas técnicas que fogem o escopo desta publicação podem ser obtidas em publicações adequadas, tratando de análise de regressão e análises não paramétricas. Algumas como SOUTHWOOD (1978) e PIELOU (1984) são apresentadas nas referências bibliográficas.

Baseados em S:N

Paramétricos

Comparações entre os parâmetros como o α da log-serie e λ da lognormal. No caso de um gradiente: análise de correlação, regressão simples e múltipla são praticáveis, utilizando os coeficientes dos modelos de ajuste como variável regressora.

Não paramétricos

Mais aplicável ao caso do índice de Shannon, que apresenta um teste formal, entretanto no caso de gradientes, qualquer um dos índices pode ser utilizado como variável regressora dependente.

Referências Bibliográficas

BEGON, M.; HARPER, J. L. & TOWNSEND, C. R. 1986. **Ecology: Individuals, Population and Communities**. Blackwell. Oxford.

CHEY, V. K.; HOLLOWAY, J. D.; SPEIGHT, M. R. 1997. Diversity of moth in forest plantations and natural forest in Sabah. **Bulletin of Entomological Research**. 87, 371-385.

CLARKE, K. R. & WARWICK, R. M. 1994. **Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation**. Natural Environment Research Council. Plymouth.

HILL, M. O. 1973. Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. **Ecology**, 54, 427-431.

KEMPTON, R. A. 1979. Structures of Species Abundance and Measurement of Species Diversity. **Biometrics**, 35, 307-322.

KREBS, C. J. 1989. **Ecological Methodology**. Harper Collins Publishers. New York.

MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological Diversity and Its Measurement**. Princeton University Press. Princeton.

MOURÃO, JR. M. 1998. **Estrutura trófica da comunidades de peixes de igarapés de várzea estuarina da baía de Marajó – PA**. Monografia de graduação. Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal do Pará.

PATIL, G. P. PATIL & TAILLIE, C. 1982. Diversity as a Concept and Its Measurement. **Journal of the American Statistical Association [JASA]**. 77, 379, 548-561.

PEET, R. K. 1974. The Measurement of Species Diversity. **Annual Review of Ecology and Systematics**. 5, 285-307.

PIELOU, E. C. 1969. **An Introduction to the Mathematical Ecology**. John Willey and Sons. New York.








PIELOU, E. C. 1975. **Ecological Diversity**. John Willey and Sons. New York.

PIELOU, E. C. 1984. **The Interpretation of Ecological Data**. John Willey and Sons. New York.

SLIFKER, J. F & SHAPIRO, S. S. (1980). The Johnson system: selection and parameter estimation. **Technometrics**. 22, 2. 239-246.

SOUTHWOOD, T. R. E. 1978. **Ecological Methods: with particular reference to the study of insect populations**. Chapman & Hall. New York.

Recursos computacionais

  MS Excel	<p>Uma das planilhas eletrônicas mais populares, senão a mais popular. Utilizada no gerenciamento de bancos de dados ou lista. Apresenta recursos para a confecção de tabelas, ordenação de valores e operações matemáticas fundamentais.</p> <p>Além das funções do Excel, algumas macro são desenvolvidas por usuários, disponíveis no repositório</p>
  Krebs	<p>Pacote de programas que operacionalizam algumas técnicas analíticas descritas por KREBS (1989). As mais utilizadas são DIVERS (estimação de índices de diversidade), LOGSERIE (ajuste da distribuição logarítmica), LOGNORM (ajuste da distribuição log-normal), sob as versões DOS e Windows.</p> <p>São programas gratuitos, sendo que a versão Windows está disponível em :</p> <p>http://www2.biology.ualberta.ca/jbrzusto/krebswin.html</p>
 MVSP	<p>Pacote voltado as técnicas multivariadas, como PCA, DCA e análise de agrupamento. Tendo disponível estimação de riqueza e diversidade.</p> <p>É um shareware, ou seja, apresenta a necessidade de registro, após um tempo de uso. Estando disponível em:</p> <p>http://nhsbig.inhs.uiuc.edu/general_stats/mvsp21k.zip</p>
 Biodiversity Pro	<p>Pacote voltado as técnicas multivariadas, CCA, PCA, MDS e análise de agrupamento com ênfase as utilizadas em Ecologia Quantitativa. Apresenta além destas técnicas, outras de natureza univariada para comparação de amostras, de natureza paramétrica e não paramétrica. Bem como os estimadores de diversidade, em nível α e β.</p> <p>É distribuído gratuitamente, estando disponível em:</p> <p>http://www.sams.ac.uk/dml/projects/benthic/bdpro/</p>
 Bio-DAP	<p>Programa que operacionaliza todas as técnicas analíticas descritas em MAGURRAN (1988). Um dos pacotes mais completo para a estimação de diversidade α.</p> <p>Disponibilizado gratuitamente em:</p> <p>http://detritus.inhs.uiuc.edu/populations/bio-dap.zip</p>



Roraima

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO

