

MARIA LUISA DA SILVA



**Estrutura e organização de sinais de comunicação complexos: o caso do Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris* (Aves, Passeriformes, Turdinae)**



1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1  
0 1 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0  
1 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1  
1 1 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0  
0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0  
1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE PSICOLOGIA**

**Curso de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento**

**Estrutura e organização de sinais de comunicação  
complexos: o caso do Sabiá-laranjeira *Turdus  
rufiventris* (Aves, Passeriformes, Turdinae)**

**Maria Luisa da Silva**

**Orientador: José Roberto Castilho Piqueira**

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia  
da Universidade de São Paulo, como parte  
dos requisitos para obtenção do grau de  
Doutor em Psicologia, área de concentração:  
Neurociências e Comportamento

**São Paulo  
2001**

“ ... Saudações, ó rouxinol do jardim do amor! Geme graciosamente tuas notas por causa da dor e da ferida do amor; geme ternamente, como David, pela aflição de teu coração; canta as melodias que fazem os homens suspirar pela morte para que a cada instante cem almas façam o *niçar*\* por ti. Abre tua garganta melodiosa e canta sobre o sentido espiritual de todas as coisas; mostra o reto caminho aos homens por meio de tuas canções.”

\* palavra persa que significa louvor

Farid ud-Din Attar, em *Mantic Uttair*  
“A linguagem dos pássaros”,  
tradução de  
Álvaro de Souza Machado e Sérgio Rizek  
a partir da versão integral em persa e francês  
de Garcin de Tassy, Paris, 1863.

“ Sabiá de setembro tem orvalho na voz.  
De manhã ele recita o sol.”

Manoel de Barros, 1991.  
*Concerto a céu aberto para solos de ave.*  
Civilização brasileira, Rio de Janeiro.

## SUMÁRIO

Lista de figuras	II
Lista de tabelas	III
Agradecimentos	IV
Resumo	VI
Abstract	VII
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	2
MATERIAL E MÉTODOS	
O Sabiá-laranjeira	3
A análise bioacústica	9
A análise dos dados	13
RESULTADOS	
I - A comunicação e a teoria da informação	
A comunicação	15
A teoria da informação	22
O caso do Sabiá-laranjeira	37
Interpretação	52
II - Ontogênese dos sinais de comunicação	
Os modelos conhecidos	56
O caso do Sabiá-laranjeira	63
III - Diferenciação específica	
O conceito de especificidade	68
As espécies sintópicas	71
IV - Estrutura e organização do canto do Sabiá-laranjeira	
Análise de conglomerados	87
Caracterização da espécie	88
Índice de interações	93
Análises individuais	98
DISCUSSÃO	116
CONCLUSÕES	139
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
Anexos	152

## LISTA DE FIGURAS

1. - Representação esquematizada de duas notas consecutivas A e B, com a indicação dos parâmetros físicos: duração de cada nota ( $\tau$ ) e ritmo ( $\theta$ ).	11
2. - Diagrama do processo de comunicação.	18
3. - Publicações sobre a teoria da informação.	32
4. - Porcentagem de trabalhos relativos à teoria da informação.	32
5. - Tamanho do repertório dos indivíduos de 1 a 44 em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	40
6. - Repertório vs. entropia de 1º momento e função exponencial representativa da entropia máxima de 1º momento.	40
7. - Tamanho do repertório de notas duplas dos indivíduos de 1 a 44 em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	41
8. - Entropia de 2º momento vs. repertório de notas duplas com a curva de regressão.	41
9. - Valores da entropia de 1º momento em ordem crescente por indivíduo, entropia de 2º momento, entropia máxima de 1º momento e entropia máxima de 2º momento.	42
10. - Diferença percentual entre a entropia de 2º momento e a entropia de 1º momento em ordem crescente por indivíduo.	42
11. - Valores da média da duração das notas por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	43
12. - Valores da média do número de notas emitidas por segundo por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	43
13. - Taxa de entropia temporal média vs. repertório e curva de regressão.	44
14. - Taxa de entropia rítmica média vs. repertório e curva de regressão.	44
15. - Valores da entropia de 1º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	45
16. - Valores da entropia de 2º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	45
17. - Valores da entropia máxima de 1º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	46
18. - Valores da entropia máxima de 2º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.	46
19. - Valores da relação entre a entropia de 1º momento e a entropia máxima de 1º momento por indivíduo em ordem crescente.	47
20. - Valores da relação entre a entropia de 2º momento e a entropia máxima de 2º momento por indivíduo em ordem crescente.	47
21. - Valores dos diversos momentos de entropia do indivíduo 4.	48
22. - Valores dos diversos momentos de entropia do indivíduo 11.	48
23. - Valores da entropia segundo a localidade.	49
24. - Valores da taxa de entropia temporal média segundo a localidade.	49
25. - Valores da taxa de entropia rítmica média segundo a localidade.	50
26. - Valores da entropia de 1º momento segundo a região.	50
27. - Distribuição de <i>Turdus rufiventris</i> e valores de $E_f$ por região.	51
28. - Sonogramas dos cantos de <i>Hylocichla mustelina</i> .	62
29. - Sonograma do canto do indivíduo 21 de <i>Turdus rufiventris</i> .	65

30. - Sonogramas do jovem <i>Turdus rufiventris</i> criado em isolamento acústico.	66-67
31. - Ilustração, distribuição e exemplo de sonograma de <i>Turdus rufiventris</i> .	73
32. - Ilustração, distribuição e exemplo de sonograma de <i>Turdus leucomelas</i> .	74
33. - Ilustração, distribuição e exemplo de sonograma de <i>Turdus amaurochalinus</i> .	75
34. - Ilustração, distribuição e exemplo de sonograma de <i>Turdus albicollis</i> .	76
35. - Repertório das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	82
36. - $E_1$ das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	82
37. - Duração das notas das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	83
38. - Intervalo entre as notas das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	83
39. - Número de notas/segundo das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	84
40. - Frequências das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	84
41. - $E_f$ das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	85
42. - Dendrograma das quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> .	86
43. - Dendrograma dos 44 indivíduos de <i>Turdus rufiventris</i> .	92
44. - Índice de interações vs. entropia de 2º momento, valores da ordenada em ordem decrescente e curva de regressão.	94
45. - Índice de interações vs. entropia de 2º momento, valores da abcissa em ordem crescente e curva de regressão.	94
46. - Índice de interações vs. repertório de notas duplas e curva de regressão.	95
47. - Valores do índice de interações segundo a região.	95
48. - Valores da média e desvio-padrão de $E_1$ e $E_f$ segundo o habitat.	122
49. - Valores da média e desvio-padrão de $E_1$ e $E_f$ segundo a densidade populacional.	122
50. - Distribuição dos valores de $E_1$ em 22 classes.	123
51. - Distribuição dos valores de $E_2$ em 22 classes.	123
52. - Distribuição dos valores de $E_t$ em 22 classes.	124
53. - Distribuição dos valores de $E_f$ em 22 classes.	124
54. - Dendrograma dos 44 indivíduos de <i>Turdus rufiventris</i> com parâmetros temporais, entropia e repertório.	127
55. - Dendrograma esquemático da sucessão dos elementos do canto de <i>Luscinia luscinia</i> (A) e <i>Luscinia svecica</i> (B).	132

### LISTA DE TABELAS

I. - Localidades das quais foram obtidas as gravações da amostra, ordenadas de Norte a Sul.	12
II. - Amostra de referências sobre teoria da informação dos últimos 10 anos.	26
III. - Variância dos parâmetros temporais do canto.	38
IV. - Experimentos de "play-back" realizados com <i>Turdus rufiventris</i> no período reprodutivo de 1998.	69
V. - Dados referentes às quatro espécies sintópicas do gênero <i>Turdus</i> : <i>T. rufiventris</i> , <i>albicollis</i> , <i>leucomelas</i> e <i>amaurochalinus</i> .	77

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas participaram direta e indiretamente da elaboração dessa tese; àqueles cujo nome não foi citado, o meu muito abrigada.

Alguns foram imprescindíveis, pois sem a ajuda deles o trabalho não seria possível: o meu companheiro Prof. Dr. Jacques M. E. Vielliard, amigo, conselheiro e marido, que apostou em mim; o meu orientador Prof. Dr. José R. C. Piqueira, amigo, incentivador e verdadeiro Mestre; minha família e meus amigos pela compreensão por minhas ausências nesses últimos quatro anos, pelo afeto e apoio; a psicóloga Mariana Craciano e a psiquiatra e amiga Ida Ortolani, pela ajuda na superação das minhas inconvenientes crises existenciais.

Agradeço as sugestões e o interesse pelo meu trabalho dos Prof. Dr. Ronald Ranvaud, Prof. Dr. César Ades, Dr. Thierry Aubin e Prof. Dr. Nicolas Mathevon.

Os funcionários Waldeyer Arouca Jr. e Telma Elita, do Arquivo Sonoro Neotropical da Unicamp, contribuíram com presteza e dedicação para elaboração dos sonogramas e análises das gravações dessa tese.

Agradeço aos desenhistas Tomas Sigrist e Frederico Lencioni, que fizeram os desenhos desse trabalho apenas pela amizade e com a maior boa vontade.

Os amigos Noemi de Castro Plácido Rodrigues e Paulo Plácido Rodrigues Júnior possibilitaram o estudo da ontogênese do canto, cuidando de um filhote de Sabiá-laranjeira caído do ninho.

Agradeço as aulas de Lian Gong da professora e amiga educadora física Kátia Hildebrant, sem as quais não seria possível agüentar as horas intermináveis que passei na frente do computador.

Todos os colegas da Pós-Graduação tornaram mais agradáveis a árdua tarefa de cumprimento dos créditos.

As amigas Ivete Fantucci, Fátima Del Fava, Nathália de Brito Fuga contribuíram com a busca do conteúdo poético dessa tese.

Um muito obrigada especial à amiga Dra. Maria Martha Argel-de-Oliveira, que foi a primeira que acreditou que eu poderia fazer ciência e gastou muito do seu precioso tempo me ensinando a ser ornitóloga.

Outra pessoa que gastou tempo para essa tese sair foi o Prof. Dr. Keith Brown, que corrigiu o resumo em inglês.

Agradeço todos os colaboradores do Arquivo Sonoro Neotropical, sem os quais não teria sido possível ter uma amostra representativa.

Aos funcionários da Secretaria da Pós-Graduação, principalmente aqueles que me ajudaram nas horas de sufoco com a burocracia às vezes incompreensível, muito obrigada.

Agradeço aos órgãos de financiamento CAPES e FMB/Funcamp, que possibilitam pessoas como eu a realizar seus sonhos.

Ao sábio Sabiá, que canta, encanta e inspira poesia e ciência.



## RESUMO

O Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris* é uma espécie de pássaro conspícua e comum da fauna Neotropical. Seu canto melodioso e variado é o principal responsável pela sua popularidade no Brasil. O canto do Sabiá-laranjeira é um sinal de comunicação complexo, com função de reconhecimento específico, que apresenta variação inter e intra-individual. O repertório é representado pelos diferentes tipos de unidades constituintes do canto, as notas, que são emitidas em seqüências de imprevisibilidade variável e com uma ritmicidade regular, entre pausas mais longas que delimitam as frases. Cada indivíduo possui um repertório próprio, com diferentes tipos de notas emitidas em seqüências variáveis.

Na nossa amostra de gravações de 44 indivíduos diferentes provenientes de toda área de distribuição, identificamos e denominamos cada uma das 7826 notas emitidas com uma letra do alfabeto, além de medirmos seus parâmetros físicos. Aplicamos ferramentas matemáticas baseadas na teoria da informação e criamos um índice que integra os valores da entropia e ritmicidade do canto individual para amenizar a heterogeneidade da amostra e elucidar a magnitude da variação. Analisamos os dados de entropia de 2º momento, esquematizamos as seqüências e sintetizamos os resultados em análises de conglomerados para definir a estrutura e organização do canto.

Não obstante essas suas características que desafiam nossa compreensão acerca da comunicação animal, o Sabiá-laranjeira se reconhece como espécie, se comunica e estabelece todas as funções vitais necessárias de forma bem sucedida.

A teoria da informação, aplicada à estrutura e organização do canto de *Turdus rufiventris*, permitiu identificar o comportamento caótico desse sinal de comunicação, abrindo o caminho para futuras análises que demonstrem de forma mais clara a funcionalidade e codificação dos sistemas complexos de comunicação sonora.

## ABSTRACT

The Rufous-bellied Thrush *Turdus rufiventris* is a conspicuous and common Neotropical bird. Its melodious and varied song is the main reason for its popularity in Brazil. This song is a complex communication signal, fulfilling the function of species-specific recognition, and showing inter- and intra-individual variation. The repertory is made up of various types of notes, sound units which form the song, emitted in more or less unpredictable sequences and at a defined rhythm, with longer pauses delimiting phrases. Each individual has its own repertory, with different note types and sequences.

In our recordings of 44 different individuals from all over the species distribution, each of the 7826 notes emitted was identified and named with an alphabet letter, and its physical parameters measured. Mathematical tools based on the theory of information helped to create an index integrating the values of entropy and rhythmicity of the individual songs, in order to reduce the heterogeneity of our sample and elucidate the breath of the observed variation. To define the structure and organization of this species' song, values of the second order entropy were analyzed to establish individual sequences, and results were synthesized through cluster analysis.

Although its song characteristics challenge human understanding of animal communication, the Rufous-bellied Thrush recognizes itself as a species, and successfully establishes intra-specific communication and all necessary biological functions.

Our application of the theory of information to the structure and organization of *Turdus rufiventris* song allows to identify the chaotic behavior of this communication signal, opening the way for further analyses which could demonstrate more clearly the function and codification of complex sound communication systems.

## INTRODUÇÃO

Apresentamos neste estudo uma nova abordagem para análise da estrutura e organização de sistemas de comunicação complexos. Aplicamos os princípios da teoria da informação e outras ferramentas matemáticas que criamos a partir desses conceitos utilizando como modelo a comunicação sonora do Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris*, a qual tinha sido descrita detalhadamente na nossa dissertação de Mestrado “Descrição do repertório vocal do Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris* (Aves, Passeriformes, Turdinae)”, apresentada em 1997. Produzimos um montante de dados substancial nesta dissertação, que é a base do trabalho que aqui apresentamos. Dessa forma, essa continuidade do estudo inicial é uma tentativa de dar respostas a questões relativas à funcionalidade de sinais complexos presentes na comunicação animal, particularmente o intrigante caso do Sabiá-laranjeira.

Faremos uma breve retomada dos dados descritivos e apresentaremos a metodologia utilizada nesse trabalho, que inclui uma análise bioacústica e uma análise matemática. Os resultados estão dispostos em quatro capítulos, cada um com as respectivas introduções teóricas e aplicações dos temas abordados:

I – A comunicação e a teoria da informação,

II – Ontogênese dos sinais de comunicação,

III – Diferenciação específica, e

IV – Estrutura e organização do canto do Sabiá-laranjeira.

## OBJETIVOS

Sabemos que a comunicação sonora do Sabiá-laranjeira apresenta enorme variação inter e intra-individual e que não há dialetos populacionais (Silva 1997). Se compararmos o sinal de comunicação dessa espécie com a linguagem humana, podemos dizer que essa variação se dá em vários níveis: nível de fonema ou letra (análogo à nota para o canto de pássaros), de palavra (frase do canto) e de organização da sentença (o conjunto de frases).

Com a seleção de gravações de 44 indivíduos diferentes provenientes de toda área de distribuição da espécie estudada, identificamos e denominamos cada uma das 7826 notas da amostra com uma letra do alfabeto, além de medirmos os parâmetros temporais e de frequência. As notas estão distribuídas em seqüências temporais, que são estruturadas de forma diferenciada para cada indivíduo, e intra-individualmente de forma caótica, como demonstraremos a seguir. Não obstante essas características que desafiam nossa compreensão acerca da comunicação animal, o Sabiá-laranjeira reconhece-se como espécie, comunica-se e estabelece todas as funções vitais de forma bem sucedida.

Neste contexto, temos como objetivo caracterizar a estrutura e organização do canto do Sabiá-laranjeira, medir sua variação e avaliar sua funcionalidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### O SABIÁ-LARANJEIRA

*Turdus rufiventris* foi escolhido como modelo biológico por ser uma espécie abundante e largamente distribuída, facilitando assim a obtenção de gravações. Geralmente, o fator limitante de estudos de sistemas de comunicação complexos é a insuficiência de dados (McCowan *et al.* 1999). A abundância dessa espécie facilita a obtenção das gravações diretamente de seu ambiente natural, outro limitante que eliminamos, já que não há os inconvenientes da falta de controle e da dificuldade de interpretação dos resultados quando são feitas coletas de dados comportamentais em laboratório. Nesse mesmo sentido, a utilização de ferramentas matemáticas com a base de dados produzida na natureza é uma boa alternativa à análise feita por manipulações com sons artificiais e apresentadas a indivíduos mantidos em cativeiro, com resultados discutíveis. Apesar desse aspecto, não descartamos o uso de experimentos em cativeiro quando esses são imprescindíveis, como no caso de estudos de cognição.

Pretendemos, com os resultados aqui apresentados, elucidar ao menos parte do código da sofisticada comunicação sonora do Sabiá-laranjeira, e talvez, abrir precedentes para estudos e entendimento da comunicação animal em geral.

O Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris* é uma espécie de pássaro conspícua e muito comum da fauna Neotropical. Sua aparência física, ventre cor de laranja, o bico e a região orbicular amarelo-vivo contrastante com a garganta clara estriada de preto, não é tão extraordinária quanto seu canto, melodioso, variado e principal responsável pela sua popularidade no Brasil (Silva 1997).

Vive na mata (floresta mesófila, floresta secundária), bordas de floresta ombrófila, parques, quintais e até mesmo no centro das cidades quando há algum ajardinamento.

Ocorre no Brasil Oriental e Central, do Maranhão até a Paraíba, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, além de Uruguai, Paraguai e regiões limítrofes da Bolívia e Argentina (Schauensee 1970).

O período reprodutivo vai de agosto a meados de janeiro, quando os machos apresentam seu canto de reconhecimento específico. Diversos gritos podem ser ouvidos durante todo o ano.

O canto de *T. rufiventris* é melodioso, variado, com notas nas quais predominam os sons puros modulados, intercalando notas sem modulação ou sons puros combinados com trinados. Alguns indivíduos costumam emitir notas de curta duração amplamente moduladas no final da frase. Cantam na faixa de frequência situada entre 1,0 kHz e 4,0 kHz. As frases, em geral, são longas e emitidas continuamente (Silva 1997).

Curiosamente, a faixa de frequência na qual é emitido o canto do Sabiá-laranjeira corresponde à de maior sensibilidade auditiva humana, outro fator que contribui para explicar a influência que esse pássaro tem nas manifestações populares. Desde o famoso poema "Canção do exílio" de Antônio Gonçalves Dias, escrito em Coimbra em 1843, citaremos alguns fragmentos de outros poemas mais recentes, além de exemplos da música popular brasileira.

A expressão poética revela a sensibilidade ao canto do Sabiá-laranjeira pelo leigo, que talvez seja, como já disse o poeta Ferreira Gullar, uma forma de tornar os problemas científicos mais assimiláveis.

## Poemas

- Canção do exílio

Minha terra tem palmeiras,

Onde canta o Sabiá;

As aves, que aqui gorjeiam,

Não gorjeiam como lá.

(...)

Não Permita Deus que eu morra,

Sem que eu volte para lá;

Sem que desfrute os primores

Que não encontro por cá;

Sem qu'inda aviste as palmeiras,

Onde canta o Sabiá.

- Meu Sabiá

Manoel Sobrinho

(...)

Tudo acordava e ria um rio amável, tudo!

Só na estreita gaiola, impassível e mudo,

Dir-se-me-ia meu sabiá num pensamento absorto...

É que – maldade humana! – o pobre passarinho,

De saudades, talvez, do profanado ninho,

Perdera a voz, que eu tanto ouvira... – Estava morto!

- O Sabiá e o Gavião

Antônio Gonçalves da Silva – Patativa do Assaré

(...)

O Sofreu e a Patativa,  
Como o canaro e o Campina  
Tem canto que me cativa,  
Tem musga que me domina,  
E inda mais o sabiá,  
Que tem premêro lugá,  
É o chefe dos serestêro,  
Passo nenhum lhe condena,  
Ele é dos musgo de pena  
O maió do mundo intêro.

(...)

## **Músicas**

- Sabiá

Tom Jobim – Chico Buarque, 1968

Vou voltar  
Sei que ainda vou voltar  
Para o meu lugar  
Foi lá e é ainda lá  
Que eu ei de ouvir cantar  
Uma sabiá  
(...)



- Sabiá

Luiz Gonzaga – Zé Dantas

A todo mundo eu dou psiu

Perguntado por meu bem

Tendo o coração vazio

Vivo assim a dar psiu

Sabiá vem cá também

Tu que andas pelo mundo

Tu que tanto já voou

Tu que cantas passarinho

Alivia a minha dor

(...)

- Fazenda

Nelson Angelo – Milton Nascimento

(...)

Eu era criança hoje e você

E o amanhã, nós

Água de beber

Bica no quintal

sede de viver tudo

e o esquecer era tão normal

Que o tempo parava

Tinha Sabiá, tinha laranjeira,

tinha manga-rosa, tinha o sol da manhã,

e na despedida, tios na varanda,

Jipe na estrada e o coração lá.

- Vou para Campinas

Vicente Barreto – Alceu Valença

(...)

Sou Azulão

Passarinho cantador

Cantor das festas

De São Pedro e São João

Vou no destino

Da cidade de Campinas

Ver as Meninas

Hoje eu sei

Que vou brincar

Brilhar bonito

Feito a estrela matutina

Te encontrar menina

Sou teu Sabiá.

Esses exemplos de manifestação artística em torno do Sabiá ilustram a importância que tem o canto desse pássaro para as pessoas, freqüentemente representando as origens, a terra natal e a infância, simbolizando as coisas boas da vida.

A seguir introduziremos a análise científica do canto do Sabiá-laranjeira, conhecimento que evidencia ainda mais a beleza desse fenômeno da Natureza.

## A ANÁLISE BIOACÚSTICA

Como já dissemos, este trabalho tem como fonte de dados as análises do canto de *Turdus rufiventris* produzidas na nossa dissertação de Mestrado. Consideramos aqui apenas o canto emitido pelos machos durante o período reprodutivo, correspondente ao sinal de comunicação sonora que tem a informação de reconhecimento específico.

A amostra utilizada no estudo da comunicação sonora de *T. rufiventris* é representada por gravações de qualidade profissional, a maioria produzida em Nagra E com microfone ultradirecional Senheiser MKH 816, outras em DAT e algumas em cassete comum com microfone ultradirecional Senheiser ME 88, de forma que se permita a realização das análises no sonógrafo digital UNISCAN II. As gravações, executadas na natureza, todas devidamente identificadas conforme as normas internacionais (Kettle & Vielliard 1991), estão depositadas no Arquivo Sonoro Neotropical (ASN) da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. O código internacional de referência contém as iniciais do nome do coletor, o número referente à fita em que foi feita a gravação e número do "cut" em ordem cronológica.

O ASN possui um total de 75 gravações de cantos de *T. rufiventris*, das quais 4 (ind. 8, 14, 16 e 21) estão disponíveis nos CDs publicados por Johan Dalgas Frisch e Jacques Vielliard. Foram escolhidas gravações de 44 indivíduos provenientes de 24 localidades diferentes no Brasil e Argentina (ver tabela I). As gravações provenientes da Argentina foram gentilmente cedidas pelo Arquivo Sonoro Inglês, o British Library of Wildlife Sounds (BLOWS). Na tabela I identificamos as localidades, a designação da região, dividida em Nordeste (NE), Centro-oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S), e o número que designa os indivíduos.

Definimos como nota a unidade sonora que pode ser individualizada no sonograma. Geralmente são unidades contínuas de som, porém, a

diversidade apresentada para a espécie aqui estudada é enorme: encontramos sons puros, vibratos, trinados, harmônicos, "double voice", entre outros. Sons descontínuos foram considerados como uma única nota quando tinham um intervalo de tempo menor que 5% do valor da média de intervalo de tempo entre as outras notas. As notas são identificadas por indivíduo, considerando a primeira nota da gravação como A e as seguintes denominadas em ordem alfabética.

A frase é definida como o conjunto de notas separadas por um intervalo de tempo pelo menos 5 vezes maior que a média do intervalo entre as notas; as frases são enumeradas em ordem crescente e no tempo real de gravação, registrando-se as interrupções. Para efeito de cálculo, as interrupções não foram consideradas, sendo que as frases foram registradas em ordem cronológica de aparecimento na gravação. Foram desprezadas as raras frases e notas alteradas, indecifráveis no sonograma .

As gravações feitas em dias diferentes ou por pessoas diferentes, mas que eram comprovadamente do mesmo espécime, foram analisadas como um registro único, mantendo uma seqüência de notas em ordem cronológica.

Quanto aos parâmetros físicos, medimos o tempo de duração de cada nota ( $\tau$ ) e o ritmo ( $\theta$ ) (ver figura 1). As medidas foram realizadas na tela do sonógrafo UNISCAN II, que oferece uma precisão de 6 ms na escala de tempo e de 40 Hz na escala de freqüência. Medimos uma quantidade representativa de emissões de cada indivíduo cobrindo, quando a qualidade técnica permitia, a totalidade do repertório. Foram selecionadas as melhores partes das gravações e medimos as que possuíam clareza e definição na tela do sonógrafo, com baixo grau de reverberação, intensidade forte porém sem distorções e baixo nível de ruído extrínseco. Anotamos os valores em fichas que foram digitadas em uma planilha do programa de computador "Statistica".

Cada tipo de nota é definido por uma letra do alfabeto para cada indivíduo. Partimos do "dicionário" de notas estabelecido na dissertação de Mestrado (592 tipos em um total de 44 indivíduos), onde está definido o repertório individual e as seqüências naturais de emissão. Esse material, que corresponde ao 2º volume da dissertação de Mestrado, onde estão todos os sonogramas e as seqüências das notas, foi utilizado para as análises matemáticas que descreveremos a seguir.

A partir do repertório individual de notas, calculamos o número de combinações de duplas de notas observado, valor referido ao longo do texto como número de notas duplas, o qual utilizamos no cálculo da entropia condicionada.

Figura 1. – Representação esquematizada de duas notas consecutivas A e B, com a indicação dos parâmetros físicos: duração de cada nota ( $\tau$ ) e ritmo ( $\theta = 1/\phi$ ).

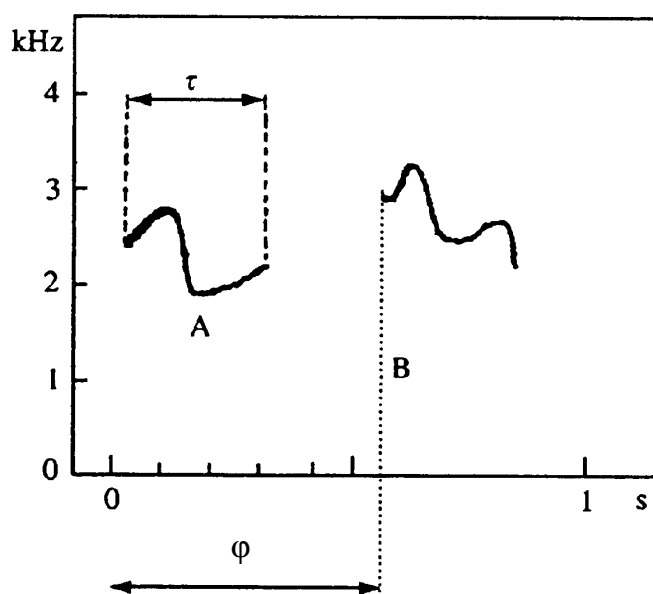


Tabela I. - Localidades das quais foram obtidas as gravações da amostra, ordenadas de Norte a Sul.

<b>nº</b>	<b>Região</b>	<b>Localidade</b>	<b>Indivíduo</b>
I	NE	Crato, CE	2
II	NE	Caruaru, PE	1
III	NE	Formosa do Rio Preto, BA	9
IV	NE	Morro do Chapéu, BA	3
V	NE	Itabuna, BA	4, 5, 6, 7 e 10
VI	CO	Brasília, DF	19
VII	CO	Poconé, MT	16
VIII	CO	Piracanjuba, GO	21
IX	CO	Rio Miranda, MS	29
X	SE	Santa Teresa, ES	40 e 41
XI	SE	Rio de Janeiro, RJ	11
XII	SE	Piracicaba, SP	17 e 18
XIII	SE	Cunha, SP	35, 36, 37 e 38
XIV	SE	Picinguaba, SP	20
XV	SE	Caraguatatuba, SP	31, 42, 43 e 44
XVI	SE	Boracéia, SP	15
XVII	SE	São Paulo, SP	8, 28, 30, 32, 33 e 34
XVIII	SE	Sete Barras, SP	22
XIX	SE	Ilha do Cardoso, SP	14
XX	S	La Cornisa de Jujuy, Salta-ARG.	23
XXI	S	Palmas, PR	12 e 13
XXII	S	Pelotas, RS	39
XXIII	S	Reserva Costanera Sur, Bs Aires, BA-ARG.	27
XXIV	S	Estancia El Destino, Magdalena, BA-ARG.	24, 25 e 26

## A ANÁLISE DOS DADOS

### 1 - Cálculo das entropias

A partir dos valores computados no programa "Statistica", da Statsoft, calculamos a entropia de 1º momento ou não condicionada ( $E_1$ ), taxa de entropia temporal média ( $E_t$ ), taxa de entropia rítmica média ( $E_f$ ), entropia máxima ( $E_{max}$ ) e entropia de 2º momento ou condicionada ( $E_2$ ). Entropias de maior condicionamento foram apresentadas para apenas dois indivíduos como exemplo. As fórmulas para esses índices encontram-se no capítulo I.

A tabela geral dos dados está no anexo 1. A coluna 1 indica o número de identificação dos indivíduos, de 1 a 44. Em seguida vem os valores correspondentes de  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{max1}$  e  $E_{max2}$  (colunas 2 a 5). As colunas seguintes (6 e 7) apresentam os valores das entropias de 1º momento e das de 2º momento divididas pelas respectivas entropias máximas. A coluna 8 apresenta a relação  $E_2/E_1$  em porcentagem. Os parâmetros temporais apresentados são: duração das notas em ms, número de notas emitidas por segundo e intervalo de tempo entre as notas em ms (colunas 9 a 11).  $E_t$  corresponde a uma combinação entre a entropia de 1º momento e a duração,  $E_f$  combina a mesma entropia com o número de notas emitidas por segundo (colunas 12 e 13). As fórmulas e maiores explicações estão no capítulo I. O repertório (coluna 14) corresponde ao número de tipos de notas para cada indivíduo. A coluna 15 apresenta o número de combinações de duas notas e a coluna 16 mostra o número total de notas amostradas para cada indivíduo. A localidade e a região correspondente, denominada de acordo com a área de distribuição da espécie (ver fig. 27), estão respectivamente nas colunas 17 e 18.

Todas as aplicações das fórmulas foram realizadas no programa "Statistica", além dos gráficos demonstrativos das análises, como veremos nos capítulos subseqüentes.

## 2 - Produção de dendrogramas

O objetivo da produção de um dendrograma, que é a representação gráfica dos dados em uma árvore hierárquica horizontal que evidenciará os grupos resultantes da análise de conglomerados, é saber se esses dados são passíveis de serem classificados de forma coesa, com grande homogeneidade interna e grandes diferenças entre as classes. O método para atingir esse objetivo é iniciado com a construção de uma matriz simétrica inicial NxN para medição da distância entre os objetos, no nosso caso, valores de determinadas características que escolhemos para aplicação dessa técnica ao canto do Sabiá-laranjeira.

A construção da matriz de distâncias pode ser realizada através de diversos métodos de medidas de distância, dos quais escolhemos o mais simples disponível: a distância euclidiana, que é a distância geométrica no espaço multidimensional. Segue a seguinte fórmula:

$$\text{distância } (X, Y) = [\sum_i (X_i - Y_i)^2]^{1/2}$$

Para definição dos grupos em uma determinada amostra, é necessário que sejam definidas as regras de ligação desses grupos. Há várias regras de ligação; pode-se, por exemplo, agrupar os objetos considerados de acordo com a menor distância possível entre eles, método denominado *single linkage*, ou pode-se utilizar a maior distância entre eles, utilizando o *complete linkage*.

Utilizamos o programa de computador "Statistica" para produção dos dendrogramas apresentados neste trabalho, seguindo os métodos acima descritos.



## RESULTADOS

### I - A COMUNICAÇÃO E A TEORIA DA INFORMAÇÃO

#### A COMUNICAÇÃO

##### SIGNIFICADO BIOLÓGICO DA COMUNICAÇÃO

A teoria da comunicação foi desenvolvida a partir do telégrafo e do telefone, para se aplicar progressivamente a domínios cada vez mais complexos, como televisão, cinema e linguagem (Weaver 1949, Thorpe 1961, Moles 1978). Weaver (*op. cit.*) inicia a introdução de seu estudo estabelecendo a utilização da palavra comunicação em um senso geral que inclui todos os procedimentos pelos quais uma mente afeta a outra. Isso envolve não somente o discurso escrito e falado, mas também música, arte e todo o comportamento humano. Cita ainda que algumas conexões (como equipamentos de rastreamento de aviões, mísseis guiados) exigiriam uma definição ainda mais geral de comunicação, que incluiria procedimentos pelos quais um mecanismo afetaria outro mecanismo. É uma visão geral da comunicação aplicável à área tecnológica e às atividades humanas, porém não faz referência à comunicação animal.

Para os seres vivos, a comunicação é uma necessidade básica. Dawkins (1989) enfatiza a importância da comunicação na vida social dos animais, por meio da qual um animal influencia o outro: "É através da comunicação que macho e fêmea interagem na corte, que os rivais resolvem suas disputas sem o confronto direto e, freqüentemente, os filhotes conseguem alimento de seus pais".

A comunicação animal tem sido abordada a partir de critérios diferentes segundo os autores. Beer (1982) discute os diversos

significados da palavra comunicação e a define, em última instância, como a passagem de algo de um lugar para outro, característica presente nos processos biológicos em todos os níveis, desde o celular até o social - "virtualmente a descrição da própria vida".

Segundo Morton (1977), "comunicação é o meio pelo qual os animais em uma população ajustam, em última instância, as suas relações sociais às várias flutuações ambientais e fisiológicas".

Moles (1978) destaca como fenômeno essencial do comportamento o ciclo percepção-reação desde as suas mais simples manifestações, como os tropismos dos seres unicelulares até os ciclos cada vez mais complexos de seres mais organizados, cujas modalidades de comportamento são regidas por sistemas de equações cada vez mais vastos.

Catchpole e Slater (1995) definem comunicação como o compartilhamento de informações, com o emissor e o receptor tendo vantagens mútuas. Citam que etólogos modernos acreditam que a comunicação produz mais conflitos do que cooperação entre o emissor e o receptor.

Krebs e Davies (1996) caracterizaram a comunicação como o processo em que os emissores usam sinais ou exibições especialmente modelados para modificar o comportamento daqueles que os captam.

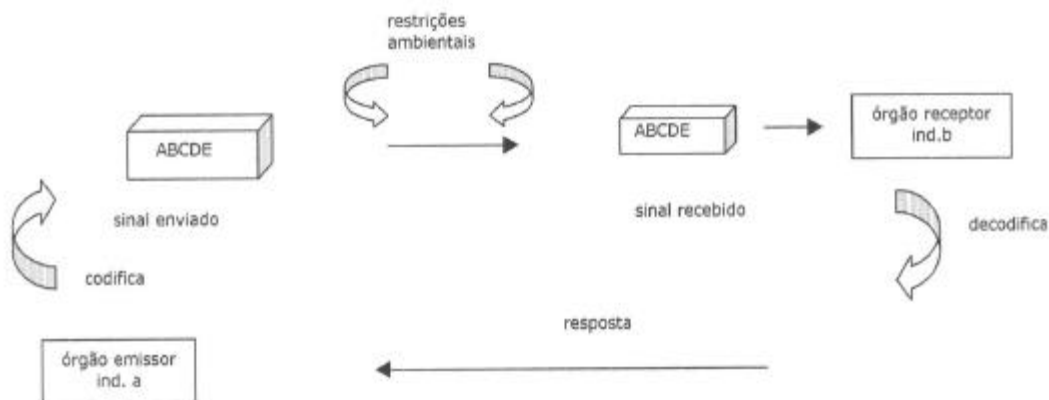
A divergência no estabelecimento de critérios na definição de comunicação alimenta a polêmica sobre como avaliar uma determinada situação e verificar se os indivíduos envolvidos estão ou não se comunicando. Os exemplos práticos mostram como é difícil se chegar a uma definição de comunicação que não seja ambígua e que possa ser facilmente aplicada a todos os casos (ver Dawkins *op. cit.*, Haddad 1995). O simples fato de provocar uma resposta não implica a existência de comunicação. Se um homem der um tiro em um local onde algumas aves estão presentes, o barulho certamente provocará a emissão de gritos de alarme e a fuga em massa dessas aves. Mas o homem não se comportou

como um emissor, já que não tinha a intenção de transmitir uma mensagem para as aves, que por sua vez não reagiram ao estímulo para que o homem compreendesse a resposta. Para que haja comunicação, é necessário haver um emissor, que vai emitir a mensagem especificamente para o receptor captar e responder em função do estímulo que recebeu.

A emissão e a recepção de um sinal são realizadas através de capacidades fisiológicas e anatômicas especializadas que são adequadas à modalidade do sinal e ao meio onde vive o animal em questão.

Para explicar nossa visão de comunicação animal, tomamos como exemplo a comunicação sonora entre dois pássaros da mesma espécie. O indivíduo a, com suas capacidades anatômicas e fisiológicas, aciona um mecanismo nervoso e hormonal que possibilita seu órgão emissor, nesse caso a siringe, a emitir um sinal sonoro de comunicação. Esse sinal sonoro é definido por três parâmetros: o tempo, a frequência e a intensidade, dentro dos quais há um código de comunicação embutido. O sinal de comunicação é transmitido através de um canal de transmissão, o meio aéreo em um ambiente florestal, por exemplo. As restrições ambientais ao som, como ruído do vento, da chuva ou barreiras físicas como troncos de árvores, irão atenuar o sinal, talvez em sua intensidade, mas se o código permanecer inalterado a comunicação poderá ser efetivada, atingindo o órgão receptor do indivíduo b, o ouvido. O indivíduo b vai decodificar essa mensagem, através de suas capacidades fisiológicas, transformando a energia mecânica do sinal sonoro em impulso nervoso, para ser processado no sistema nervoso central. Após esse processo, o receptor responderá ao estímulo recebido através de uma modificação de seu comportamento, de acordo com a sua interpretação: se escutou um grito de alarme, responderá com um comportamento de fuga, ou se for um canto territorial, poderá responder cantando de forma mais agressiva. O esquema seguinte sintetiza essas etapas da comunicação.

Figura 2. – Diagrama do processo de comunicação.



Através do órgão emissor e das suas capacidades fisiológicas, o indivíduo a codifica e emite um sinal sonoro, representado pelo paralelepípedo que é definido por três parâmetros: frequência, duração e intensidade, e contém o código de comunicação, representado pelas letras ABCDE. Dentro do canal de transmissão, que é o ambiente natural, as restrições ambientais como ruídos e barreiras físicas atenuam o sinal – paralelepípedo menor – sem alterar o código. O órgão receptor do indivíduo b vai receber o sinal e esse indivíduo vai decodificá-lo através de suas capacidades fisiológicas. A resposta será de acordo com a interpretação do sinal recebido.

## AS MODALIDADES DE COMUNICAÇÃO

A escolha da modalidade de comunicação utilizada por determinada espécie depende das limitações do seu sistema sensorio-motor e deve ser ecologicamente apropriada (Johnsgard 1967).

A evolução dos diferentes sistemas de comunicação pode ocorrer ao acaso, acidentalmente ou por imposição da evolução passada que determinou a origem da capacidade da comunicação animal, em resposta à pressões específicas do ambiente, e nesses casos pode-se correlacionar características ecológicas com a modalidade do sinal utilizada pela espécie (Alcock 1942).

Os dispositivos de comunicação existentes incluem meios visuais, acústicos, químicos, tácteis e elétricos. Os sinais mais estudados são os visuais e os acústicos, já que são aqueles que os seres humanos podem avaliar e reconhecer com maior facilidade. As aves possuem um sistema sensorial semelhante ao do homem e os mais bem estudados exemplos de comunicação visual e auditiva são provenientes da observação desse grupo animal (Johnsgard *op. cit.*, Pough *et al.* 1999).

## A COMUNICAÇÃO SONORA

Os sinais visuais são largamente utilizados pelas aves, a exemplo da diversidade de coloração de plumagem e presença de comportamentos de corte captados visualmente encontrados nesse grupo animal, porém, conforme o ambiente a que nos referimos, o sinal visual apresenta desvantagens em relação ao acústico (Catchpole & Slater 1995). Em um ambiente florestal, por exemplo, um pequeno tiranídeo terá dificuldades em avistar um outro representante da sua espécie, já que o local tem pouca luminosidade e muitas árvores com galhos e ramos em diversas direções, que são obstáculos a visualização e identificação, principalmente em se tratando de pássaros de dimensões pequenas e com muitas espécies de aspecto semelhante. Nesse caso a utilização do sinal acústico é muito mais eficiente, pois este pode se propagar à uma distância longa e em todas as direções, além de ultrapassar barreiras físicas e poder ser utilizado durante a noite.

Fatores ambientais constituem condições às vezes limitantes para que a informação contida no sinal sonoro seja efetivamente transmitida. Em áreas planas e abertas como as escolhidas por colônias de pingüins, milhares de indivíduos da mesma espécie se concentram em locais expostos ao barulho do vento e aos ruídos de bater de bicos e vocalizações, onde o reconhecimento individual é absolutamente vital. Durante o período reprodutivo, o indivíduo que passa o tempo no mar se alimentando precisa encontrar e se revesar com o cônjuge que está cuidando do ovo do casal por cerca de três semanas sem se alimentar (Weimerskirch *et al.* 1992). Estudos recentes demonstraram que o sinal acústico utilizado nesses casos tem parâmetros físicos adequados a essas condições ambientais com ruído de fundo extremo (Lengagne *et al.* 1999a, Lengagne *et al.* 1999b, Aubin & Jouventin 1998, Jouventin *et al.* 1999).

A base conceitual da comunicação animal corresponde ao conceito de espécie biológica. Dessa forma, a noção de especificidade do canto das aves já foi observada por Florence em 1830, no diário de bordo da expedição Langsdorff pelo Brasil (Vielliard 1993) e por Altum (1868), que reconhece o caráter específico do canto, embora o defina como um chamado de acasalamento, independente do tipo de som. Assim, utilizamos a palavra canto para designar o sinal de comunicação vocal que tem como função biológica primordial o reconhecimento específico (Vielliard 1987, Silva 1995, 1997).

Quanto aos mecanismos de produção de sons em aves, estudos recentes de observação direta do funcionamento da siringe, o órgão vocal das aves, demonstraram que toda a massa de estruturas moles que o constituem vibram durante a produção do som (Goller & Larsen 1998). Parece confirmar-se, então, o modelo segundo o qual os sons são gerados diretamente pela vibração do ar expirado, modelo físico com implicações importantes: a produção de som não depende de ressonância; não há limitações mecânicas na estrutura dos sons produzidos; o sistema produz sons puros naturalmente e envolve pouco gasto de energia metabólica, fato comprovado em experimentos com a emissão de "*distress calls*" (Jurisevic *et al.* 1998), que supostamente exige um esforço extremo comparado à outras vocalizações (Vielliard 2000).

## A TEORIA DA INFORMAÇÃO

### HISTÓRICO

A teoria da informação originou-se com o trabalho dos norte-americanos Claude E. Shannon e Warren Weaver em 1949, no qual relatam as raízes dos problemas de comunicação a partir do estudo da Física estatística de Boltzmann que, em 1894, observou que a entropia está relacionada tanto com a "informação faltante" como com o número de alternativas que permanecem em um determinado sistema físico após terem sido registradas todas as informações observáveis macroscopicamente. A teoria matemática da informação está relacionada com a definição e medição da quantidade de informação em uma mensagem, com a codificação e decodificação da informação e com a capacidade de transmissão de um canal de comunicação.

A palavra "informação" pode ter vários sentidos:

- 1- dados, acerca de alguém ou de algo;
- 2 – conhecimento, participação;
- 3 – instrução, direção;
- 4- senso estatístico, definido por Shannon como o grau no qual os dados não são suprimíveis.

A noção básica da última definição é que, em um sistema, um estado muito provável contém pouca informação, um estado pouco provável contém muita informação. Por exemplo, em uma mensagem na língua portuguesa, a letra *z* carrega muito mais informação que a letra *a*. No caso da ocorrência da letra *u* após a *q*, esta não contém informação alguma, pois é inteiramente previsível e tecnicamente redundante.

Uma quantidade de informação é definida, no mais simples dos casos, pelo logaritmo do número de escolhas disponíveis. Quando há



somente duas opções, a informação é proporcional ao logaritmo de 2 na base 2. Essa unidade de informação é chamada "bit", palavra condensada de "binary digit", dígito binário. Um bit é a quantidade de informação necessária para informar qual entre dois eventos equiprováveis, representados pelo 0 e o 1, foi escolhido.

Um sistema que produz uma seqüência de símbolos de acordo com certas probabilidades é chamado de processo estocástico, e um caso particular desse processo, onde as probabilidades dependem de eventos anteriores, é chamado de processo de Markoff (Weaver 1949). Os processos ergódicos estão entre os processos de Markoff e são aqueles em que as seqüências produzidas têm as mesmas propriedades estatísticas. As frequências dos símbolos obtidas de diferentes seqüências tendem a se aproximar do mesmo valor, a medida que o tamanho das seqüências aumenta, independente da seqüência.

Podemos dizer que a quantidade correspondente à demanda natural de uma "informação" é conhecida em termodinâmica como entropia (H). Utilizaremos a palavra entropia como a medida do grau informacional de organização, o que não está diretamente relacionado com o mesmo termo usado em termodinâmica, embora possua o mesmo ancestral matemático (McCowan *et al.* 1999).

Em um conjunto n de símbolos independentes de uma mensagem, com probabilidades de escolha  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ , a expressão para a informação é:

$$H = - [p_1 \log p_1 + p_2 \log p_2 + p_n \log p_n] \text{ ou } H = - \sum p_i \log p_i.$$

Na equação acima, embora não se possa dizer qual o próximo símbolo que a fonte produzirá, pode-se esperar, em média, H bits de informação por símbolo, ou NH bits para uma mensagem de N símbolos, se N for grande. O valor de H depende das probabilidades dos símbolos, porém limitado por:

$$0 \leq H \leq \log_2 N.$$

O limite inferior,  $H = 0$ , corresponde a uma fonte que não fornece informação em média, isto é, não há incerteza a respeito da mensagem. Pode-se esperar que tal situação corresponda a uma fonte que produza sempre o mesmo símbolo, isto é, todos os símbolos têm probabilidade nula de ocorrer, exceto o símbolo que sempre ocorre, cuja probabilidade vale 1.

O limite superior,  $H = \log_2 N$ , corresponde à máxima liberdade de escolha ou à máxima incerteza, quando todos os símbolos são igualmente prováveis.

Pode-se assim dizer que a teoria da informação fornece um índice para se medir a organização de um sistema. Um sistema pode ser bem organizado e previsível, a exemplo do canto estereotipado do Pinto-da-mata-de-cabeça-vermelha *Formicarius colma*, que repete a mesma frase composta de uma série modulada de notas curtas sem possibilidade de variação (Silva 1995). O exemplo do canto do Tico-tico *Zonotrichia capensis* ilustra um sistema bem organizado e previsível, já que a maior parte do tempo ele repete a mesma frase com uma seqüência de poucas notas assobiadas, mas há variações populacionais e cada população emite seu próprio dialeto. No nosso estudo, apresentaremos o exemplo de um sistema imprevisível e complexo, cuja estrutura e organização pode ser considerada caótica: o canto do Sabiá-laranjeira. A teoria da informação fornecerá a medição da entropia informacional desse sistema e, conseqüentemente, dados sobre a previsibilidade de seus elementos, de forma a delinear ao menos parte da sua estrutura e, nesse caso, a sua natureza caótica.

Pode-se aplicar a entropia informacional de Shannon nas mais diversas áreas científicas: em ecologia e na medição da diversidade de espécies de uma comunidade, este índice é utilizado rotineiramente; em neurologia, psicologia, sociologia, ciências da computação, música, lingüística, entre outras áreas do conhecimento humano, é também usado de diversas maneiras.

Pesquisando referências bibliográficas recentes sobre o que se tem produzido aplicando-se a teoria da informação, encontramos estudos nas mais diversas áreas do conhecimento, cuja amostra dos últimos 10 anos podemos ver na tabela II.

Tabela II. - Amostra de referências sobre teoria da informação dos últimos 10 anos.

<b>Área do conhecimento</b>	<b>Assunto</b>	<b>Autores</b>
Bioquímica	Retenção de dados em uma coluna cromatográfica de gás	Huber, J. F. K. <i>et al.</i> 1993
	Seqüência de aminoácidos em proteínas humanas e padrões de reconhecimento	Altschul, S. F. 1991
	Análise da conformação de apolipoproteínas e a estrutura e função de partículas de lipoproteínas no plasma humano	Nolte, R. T. e Atkinson, D. 1992
	Identificação e previsão de locais de captação em estruturas primárias de receptores de hormônios do crescimento e prolactina	Gabrilyan, A. E. <i>et al.</i> 1992
Cognição	Modelo cognitivo para avaliação de performance da habilidade humana	Roberts, R. D. <i>et al.</i> 1991
	Processos perceptuais em insetos	Norwich, K. H. e Valter-Mcconville, K. M. 1991
	Percepção sensorial humana de eventos microscópicos	Norwich, K. H. 1991
	Decodificação do mecanismo de percepção visual em macacos	McClurkin, J. W. <i>et al.</i> 1991
Comportamento animal	Sistema de comunicação sonora entre golfinhos	McCowan, B. <i>et al.</i> 1999
	Experimento que testa a memória temporal variando-se a quantidade de alimento em Estorninhos	Reboreda, J. C. e Kacelnik, A. 1991
	Análise da especialização comportamental em abelhas-operárias na execução de tarefas de manutenção da colméia	Kolmes, S. A. e Sommeijer, M. J. 1992

<b>Área do conhecimento</b>	<b>Assunto</b>	<b>Autores</b>
Comportamento animal	Comportamento agonístico e sexual em aranhas	Fernandez-Montraveta, C. <i>et al.</i> 1991
	Sistema de comunicação sonora entre pingüins	Lengagne, T. <i>et al.</i> 1999
Computação	Processamento computacional de imagens	Flusser, J. 1992
Cronobiologia	Modelo de interpretação do desenvolvimento do ciclo vigília-sono	Benedito-Silva, A. 1997
Ecologia	Avaliação da diversidade em comunidades de Carabidae	Jarosik, V. 1991
	Estrutura de comunidades marinhas	Barange, M. e Campos, B. 1991
	Caracterização ecológica da Paisagem, com base em dados topográficos, geológicos e da vegetação	Calvo, J. F. <i>et al.</i> 1992
	Caracterização da diversidade em diferentes habitats	Loehle, C. e Wein, G. 1994
	Caracterização espaço-temporal em função da disponibilidade de luz e nitrogênio em uma comunidade de fitoplâncton	Pahl-Wostl, C. 1991
	Modelo de simulação espacial entre plantas clonadas que relaciona padrão de crescimento e disponibilidade de recursos.	Oborny, B. 1994
Evolução	Evolução orgânica	Jordan, J. C. Jr. 1990
	Organização temporal e evolução de ecossistemas	Pahl, W. C. 1990
Gastro-enterologia	Discriminação dos sinais diagnósticos de carcinoma gástrico	Mao, Z. <i>et al.</i> 1993

<b>Área do conhecimento</b>	<b>Assunto</b>	<b>Autores</b>
Genética molecular	Discriminação entre DNA de células tumorais e de células normais	Stenkvist, B. e Strande, G. 1990
	Relação entre o envelhecimento e a mortalidade com a diminuição da entropia do genoma	Riggs, J. E. 1993
	Mutação somática e envelhecimento	Morris, J. A. 1994a
	Metodologia comparativa de seqüências macromoleculares múltiplas de RNA	Chan, S. C. <i>et al.</i> 1992
	Influência de fusões populacionais na entropia genotípica e fenotípica	Wang, S. 1992
Linguagem	Modelagem da formação da palavra que demonstra a conexão entre o erro limite e o teorema de codificação de ruído de Shannon	Plotkin, J. e Nowak, M. 2000
Neuroanatomia	Estímulo-resposta em conexões neuronais	Optican, L. M. <i>et al.</i> 1991
	Segregação funcional em conexões neuronanatômicas	Friston, K. J. <i>et al.</i> 1992
	Análise de conectividade sináptica entre neurônios	Yamada, S. <i>et al.</i> 1993
	Aumento do ruído na transferência de informação em receptores mecânicos neuronais em crustáceos através da ressonância estocástica	Douglas, J. K. <i>et al.</i> 1993
	Evolução de diferentes estratégias de comunicação neuronal	Mayer, E. A. 1993
Neurofisiologia	Detecção de padrões no eletroencefalograma em cérebro humano	Graben, P. B. <i>et al.</i> 2000

<b>Área do conhecimento</b>	<b>Assunto</b>		<b>Autores</b>
Psicofísica	Discriminação de frequências multitonais em humanos		Lutfi, R. A. 1992
	Modelo de análise de padrão auditivo baseado na entropia de componente relativo (CoRE)		Lutfi, R. A. 1993
	Discriminação de diferentes frequências de som em humanos		Leijon, A. <i>et al.</i> 1991; Leijon, A. 1991
	Discriminação auditiva de sons puros em humanos		McConville, K. M. V. <i>et al.</i> 1991
	Medição da capacidade visual humana		Penkala, K. 1993
	Testes de memória em resposta à estímulos verbais em humanos		Sharps, M. J. e Tindall, M. H. 1992
	Avaliação da capacidade de discriminação da intensidade do estímulo em neurônios integrados de insetos		Nakao, M. <i>et al.</i> 1994
Psiquiatria	Diagnóstico de patologias psiquiátricas		Germine, M. 1993; Somoza <i>et al.</i> 1994
Técnicas laboratoriais	Avaliação da eficiência de diferentes metodologias em citologia		Okagaki, T. e Zelterman, D. 1991
	Avaliação de nova metodologia para quantificação de megacariócitos		Zhang, Y. J. 1990
	Verificação da eficiência de testes de detecção do vírus HIV		Dolezal, J. <i>et al.</i> 1991
	Eficiência de exame histopatológico no diagnóstico de displasia		Morris, J. A. 1994b
	Otimização em cromatografia	Hayashi, Y. <i>et al.</i> 1990, 1991; Matsuda, R. e Hayashi, Y. 1990; Matsuda <i>et al.</i> 1991 a e b	
	Teste de eficiência do experimento de Taguchi em análises cromatográficas		Billot, P. e Pitard, B. 1992

Desde o trabalho original de Shannon e Weaver em 1949, muitos outros foram publicados na literatura científica mundial sobre a aplicação da teoria da informação, nas mais diversas áreas, como vimos na tabela anterior com alguns exemplos das publicações dos últimos dez anos.

Através de busca pela Internet, no *site* de busca "Web of Sciences", que encontra as publicações por autor, título ou através de uma palavra-chave por assunto, procuramos o que estava disponível sobre "information theory". A busca foi feita de 1950 a 2000 e, para cada ano, foi anotado o número de trabalhos sobre teoria da informação. Somente a partir de 1955, temos a porcentagem de trabalhos sobre o assunto do total anual de publicações.

A figura 3 mostra que o número de publicações sobre teoria da informação foi aumentando gradativamente de 1950 (com apenas uma publicação) até 1954 (12). Em 1955 houve uma pequena queda no número de publicações (apenas 7, uma delas na revista *Nature*), e após um simpósio sobre teoria da informação realizado em 1956, foi aumentando aos poucos até 1960 (20). Em 1961 houve um aumento expressivo (30) decaindo nos anos seguintes até 1965, voltando ao número de 30 publicações em 1966.

Se observarmos a porcentagem dessas publicações em relação ao volume total da literatura científica mundial em todos os assuntos (fig. 4), o período de 1955 a 1961 apresentou números altos em comparação com os outros anos, embora pareça ser um valor pequeno em termos absolutos (0,017% em 1961). Em 1967 houve 37 trabalhos, valor que variou pouco até 1990 (47). Em porcentagem, foi um período de valores baixos, os mais altos em 1967 e 1970, com 0,010%.

Em 1991, houve um pico, com 166 publicações e 0,019 % da literatura mundial, a maior porcentagem verificada. Nos anos seguintes esse número decaiu pouco até 1997 (155). Nesse período (1991-1997), houve publicações extraordinárias advindas de diversos acontecimentos:



- seções especiais sobre teoria da informação em um congresso: Takebe, T. 1994. Special section on information-theory and its applications – Foreword. *IEICE Transactions on fundamentals of electronics communications and computers sciences* E77A: (8) 1223.
- uma reunião de trabalho: Information-theory workshop – IEEE-ITW, 1995, Rydzyna, Poland. Holubowicz, W. *IEEE Comuncations Magazine* 33: (8) A3.
- dois eventos que revisavam os cinquenta anos após a publicação inicial de Shannon e Weaver: ver Jumarie, G. 1996 em *Kibernetes* 25 (7-8): 164; e Verdu, S. 1998 em *IEEE Transactions on Information Theory* 44 (6): 2057-2078.

De 1998 a 2000 o número de publicações vem aumentando gradativamente, tanto em número absoluto como em porcentagem relativa ao total da literatura mundial. Parece que a teoria da informação tem sido retomada de forma mais intensa nos anos mais recentes, 50 anos após a publicação original.

Figura 3. – Publicações sobre a teoria da informação.

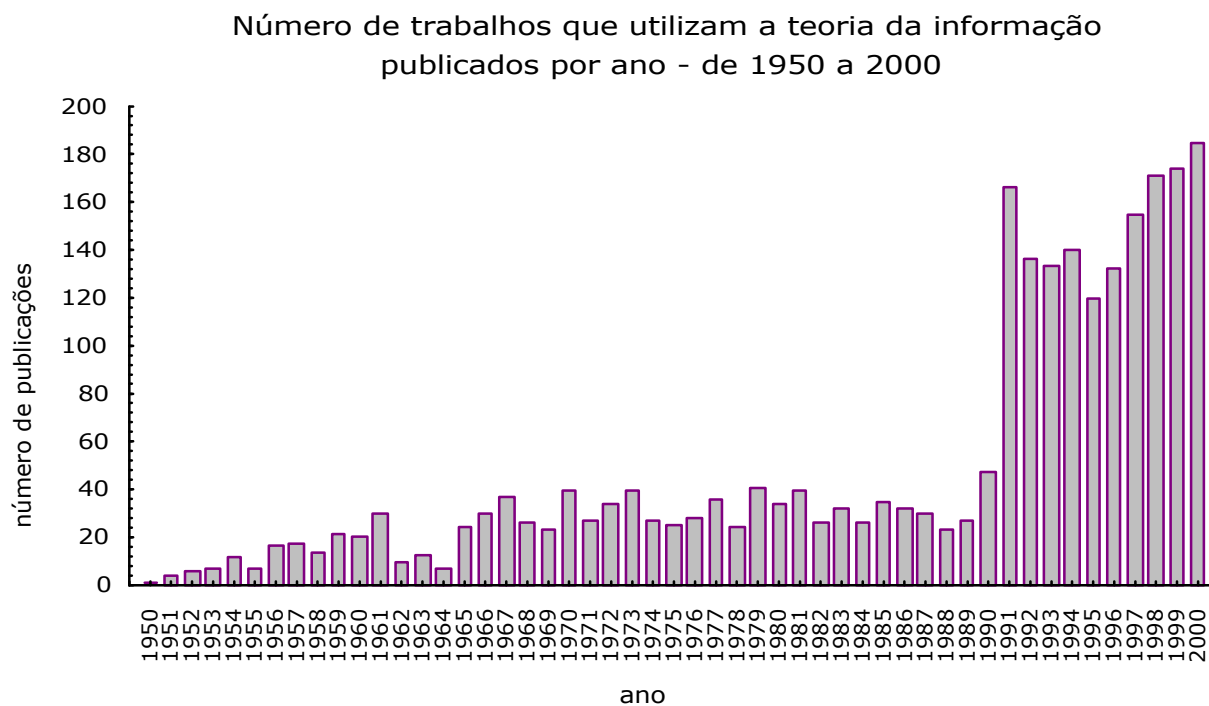
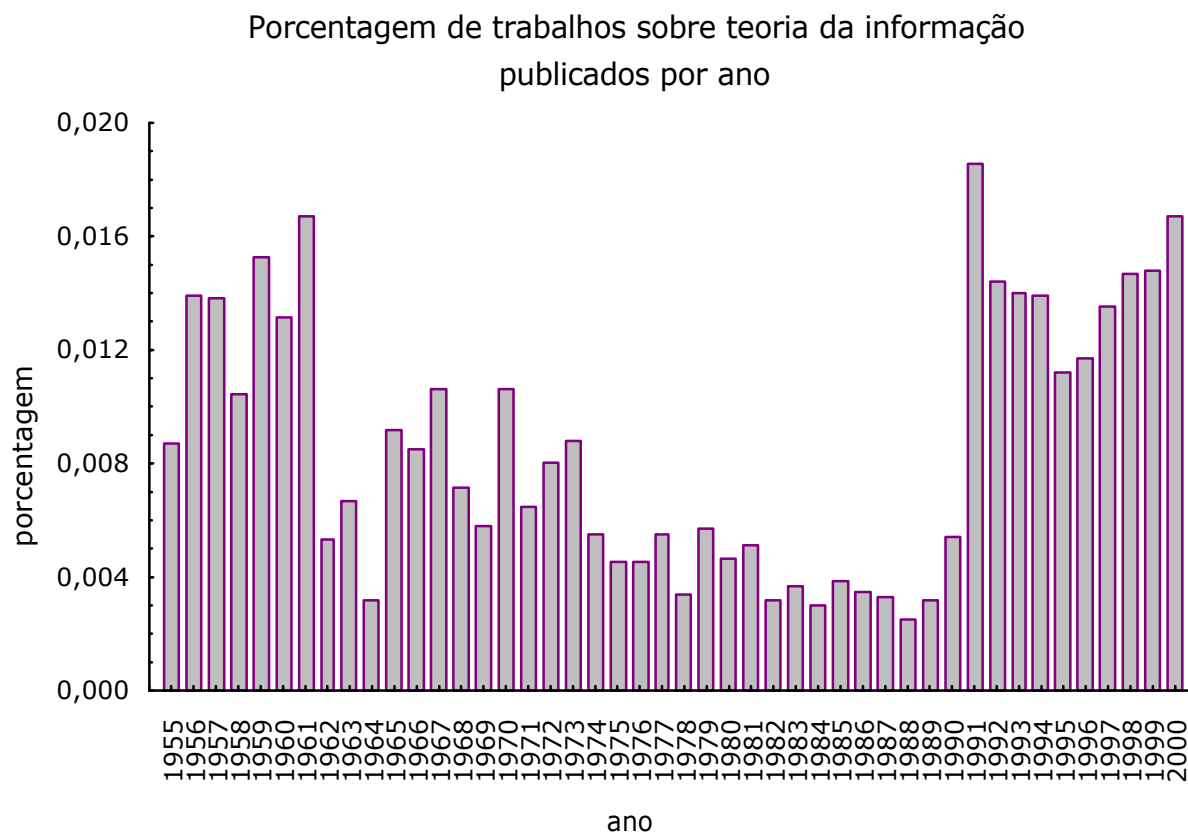


Figura 4. – Porcentagem de trabalhos relativos à teoria da informação.



## DEFINIÇÕES

Como já foi citado, os fenômenos biológicos apresentam complexidade estrutural e funcional, irreversibilidade, diversidade de escalas temporais e imprevisibilidade, características que atraíram a atenção de matemáticos para a integração de dados biológicos com equações complexas.

Em uma abordagem não-reducionista da biomatemática, isto é, analisando-se o fenômeno somente ao nível em que ocorre, sem compor níveis de organização mais baixos, a teoria da informação apresenta-se como uma maneira de analisar a organização de sistemas complexos, como os que existem em sistemas sociais, econômicos, químicos e biológicos (Piqueira 1996).

Assim, consideramos a teoria da informação e a teoria de sistemas dinâmicos como poderosas ferramentas para o entendimento da complexidade biológica.

Utilizamos no presente trabalho o cálculo da entropia definida por Shannon e Weaver (1949) e desenvolvemos outros índices considerando os parâmetros temporais de emissão de nota em analogia à idéia da capacidade necessária requerida pelo canal de comunicação. Com o objetivo de padronizar as medidas de entropia definimos a taxa de entropia média de duas formas diferentes: na primeira consideramos a média de duração das notas constituintes do canto de cada indivíduo da amostra e denominamos de taxa de entropia temporal média ( $E_t$ ); a outra é a medida do ritmo de emissão de notas e definimos como taxa de entropia rítmica média ( $E_r$ ). Essas análises produziram muitos conjuntos de dados, permitindo testar a metodologia desenvolvida e proposta, resultando em algumas inferências biológicas. Nossa intenção é determinar um índice que possa ser aplicado ao cálculo da variabilidade de qualquer sinal de comunicação sonora complexo.

Apresentamos abaixo os índices e medições utilizadas nesse estudo, com as respectivas descrições e fórmulas.

## ENTROPIA (E)

Se considerarmos um alfabeto composto de N símbolos com probabilidade  $p_i$  de ocorrência calculada de acordo com a frequência relativa observada experimentalmente, nessas condições, podemos definir como informação individual para cada símbolo  $I_i$  (Shannon & Weaver 1949) como:

$$I_i = \log_2 \left( \frac{1}{p_i} \right) \quad (1)$$

Considerando todos os N símbolos emitidos, definimos o valor médio de  $I_i$  e chamamos de entropia informacional (E):

$$E = \sum_{i=1}^N p_i I_i \quad (2)$$

É importante notar que a informação individual ( $I_i$ ) é dada em bits e a entropia é dada em bits por símbolo. Designaremos a entropia do repertório de tipos de notas com  $E_1$  – entropia de 1º momento, para diferenciar da entropia de 2º momento que será definida adiante.

Em razão dos resultados obtidos com a aplicação das equações (1) e (2) para os nossos dados serem muito heterogêneos e para comparar indivíduos com diferentes tamanhos de repertório, introduzimos duas novas equações para calcular a taxa de entropia média, assim definida nos seguintes parâmetros:

TAXA DE ENTROPIA TEMPORAL MÉDIA ( $E_t$ ):

$$E_t = \frac{E}{t} \cdot 1000 \quad (3)$$

sendo  $\tau$  o valor da média da duração das notas em ms:

$$\tau = \sum_{i=1}^N \tau_i p_i \quad (4)$$

TAXA DE ENTROPIA RÍTMICA MÉDIA ( $E_f$ )

$$E_f = E \cdot \theta \quad (5)$$

sendo  $\theta$  o valor médio do número de notas emitidas por segundo em Hz:

$$\theta = \sum_{i=1}^N \theta_i p_i \quad (6)$$

As unidades  $E_t$  e  $E_f$  são bits por segundo (bps), em ambos os casos.

ENTROPIA MÁXIMA DE 1º MOMENTO ( $E_{\max 1}$ )

Com base no repertório individual, cálculo da entropia máxima esperada para aquele indivíduo, aplicando-se a fórmula

$$E_{\max 1} = \log_2 N \quad (7)$$

A  $E_{\max 1}$  corresponde ao número de bits de informação requerido para representar uma amostra particular de diferentes eventos, no nosso caso, o número do total de notas do canto individual, também denominada entropia de ordem zero (McCowan *et al.* 1999).

## ENTROPIA DE 2º MOMENTO ( $E_2$ )

Após abordar a entropia considerando o número de notas presente no repertório individual, propomos visualizar a quantidade de informação considerando o número de combinações de notas duplas. É a aplicação da equação (1) para o número de combinações duplas de notas observadas. Essa ordem de entropia introduz a probabilidade condicional dentro da estrutura da seqüência de notas. Após a nota A, quais são as possíveis notas seguintes? Pode ser outro A, ou outra nota, B ou C, por exemplo. Após estabelecermos as duplas observadas, calculamos suas freqüências.

## ENTROPIA MÁXIMA DE 2º MOMENTO ( $E_{\max 2}$ )

Baseamo-nos no repertório de notas duplas para calcular a entropia máxima esperada individual, procedendo da mesma forma que para  $E_{\max 1}$ .

## ENTROPIAS DE MOMENTOS DE ORDEM MAIS ELEVADAS

A entropia de 3º momento e as outras possíveis de ordens mais elevadas são calculadas de forma semelhante à de 2º momento, inclui a probabilidade condicional dos dois eventos precedentes. Calculamos os diversos momentos das entropias de alguns indivíduos e, dada a dificuldade de padronização, não levamos a cabo os cálculos para todos os indivíduos.

## O CASO DO SABIÁ-LARANJEIRA

Apresentamos, nesta seção, os resultados da aplicação da teoria da informação aos dados do canto de *Turdus rufiventris*.

O tamanho do repertório individual variou de 1 a 36 tipos de notas (média = 14, desvio-padrão = 7,46; N = 44), como podemos ver na figura 5, em que esses valores são apresentados em ordem crescente. Os valores da entropia variaram de 0 a 4,55 (média = 3,19, desvio-padrão = 0,9; N = 44). A figura 6 mostra os valores do tamanho de repertório e sua correlação com a entropia de 1º momento, além da curva com os valores da entropia máxima (média = 3,6; desvio-padrão = 0,13; N = 44).

A maioria das notas presentes na amostra são sons puros, levemente modulados. Encontramos 592 tipos diferentes de notas, dos quais 24 (4,05%) foram compartilhados por indivíduos diferentes. Das notas compartilhadas, 12 (50%) eram entre machos da mesma localidade, e apenas uma entre machos vizinhos (indivíduos 40 e 41 de Santa Teresa, Espírito Santo).

Quanto ao número de combinações de notas duplas, apresentamos a figura 7 com os valores individuais em ordem crescente, a figura 8 que relaciona a entropia de 2º momento com o repertório de notas duplas (média = 27,8, desvio-padrão = 20,58; N = 44) e a figura 9, que mostra os valores encontrados para quatro tipos de entropia: a de 1º momento, a de 2º momento, a máxima de 1º momento e a máxima de 2º momento. Na figura 10 apresentamos a diferença percentual entre a entropia de 1º momento e a de 2º momento (média = 19,6, desvio-padrão = 15,71; N = 44).

Quanto aos parâmetros temporais, a figura 11 apresenta os valores da média da duração das notas por indivíduo (média = 259 ms, desvio-padrão = 49; N = 44). A figura 12 apresenta o ritmo, ou seja, o número

de notas emitido por segundo (média = 2,44 Hz, desvio-padrão = 0,36; N = 44). Calculamos a variância dos parâmetros temporais, com o objetivo de verificar qual parâmetro temporal apresenta-se mais fixo. Utilizamos a fórmula de cálculo:  $[(n_i/\bar{X}) - 1]^2 \cdot 100$  e aplicamos a esses valores a análise de variância, cujos resultados estão na tabela III. O intervalo entre notas apresenta uma variância quase o dobro daquela da duração das notas; essas variações parecem se compensar em parte, já que o ritmo ou número de notas por segundo, que resulta da composição dos dois parâmetros anteriores, tem a menor variância.

Tabela III. – Variância dos parâmetros temporais do canto.

<b>parâmetro</b>	<b>variância</b>	<b>desvio-padrão</b>	<b>erro-padrão</b>
duração	356,91	18,89	2,85
notas/s	219,43	14,81	2,23
intervalo	693,68	26,34	3,97

Calculamos  $E_t$  utilizando a equação (3) e colocamos esses valores em relação ao tamanho de repertório na figura 13. Para a figura 14, na qual calculamos  $E_f$ , utilizamos a equação (5) e correlacionamos os valores também com o tamanho do repertório.

A figura 15 mostra os valores da entropia de 1º momento por indivíduo em ordem crescente e uma reta com o valor da média. Os valores da entropia de 2º momento por indivíduo e a reta com o valor da média são mostrados em ordem crescente na figura 16. Da mesma forma, são apresentados os valores por indivíduo da entropia máxima de 1º momento (fig. 17), os da entropia máxima de 2º momento (fig. 18), os da relação  $E_1/E_{\max 1}$  na figura 19 e da relação  $E_2/E_{\max 2}$  na figura 20.

A figura 21 mostra o histograma com os valores relativos aos 7 níveis de entropia do indivíduo 4, escolhido como exemplo por ter uma



variação de mais de 50% entre  $E_1$  e  $E_2$ . O mesmo procedimento foi realizado para o indivíduo 11 na figura 22, na qual apresentamos os valores das entropias até o nível 13. Esse indivíduo foi escolhido como exemplo por apresentar uma impressão auditiva e um padrão de seqüência de notas diferenciado dos outros indivíduos da amostra.

Os valores dos cálculos realizados em relação às localidades estudadas estão representados nas figuras 23 a 25. A figura 23 apresenta os valores da entropia de 1º momento, a 24 da taxa de entropia temporal  $E_f$  e a 25 da taxa de entropia rítmica  $E_t$ , para cada localidade da amostra. As localidades foram agrupadas em quatro macro-regiões, Nordeste (NE), Centro-oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S), e os valores médios da entropia, juntamente com a variância e valores extra-limites, estão mostrados na figura 26.

A figura 27 ilustra como as macro-regiões foram definidas em relação à amostra e ao mapa de distribuição da espécie (área clara) e as relaciona com os valores (média, desvio-padrão, erro-padrão e valores extra-limites) de  $E_f$ .

Figura 5. – Tamanho do repertório dos indivíduos de 1 a 44 em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.

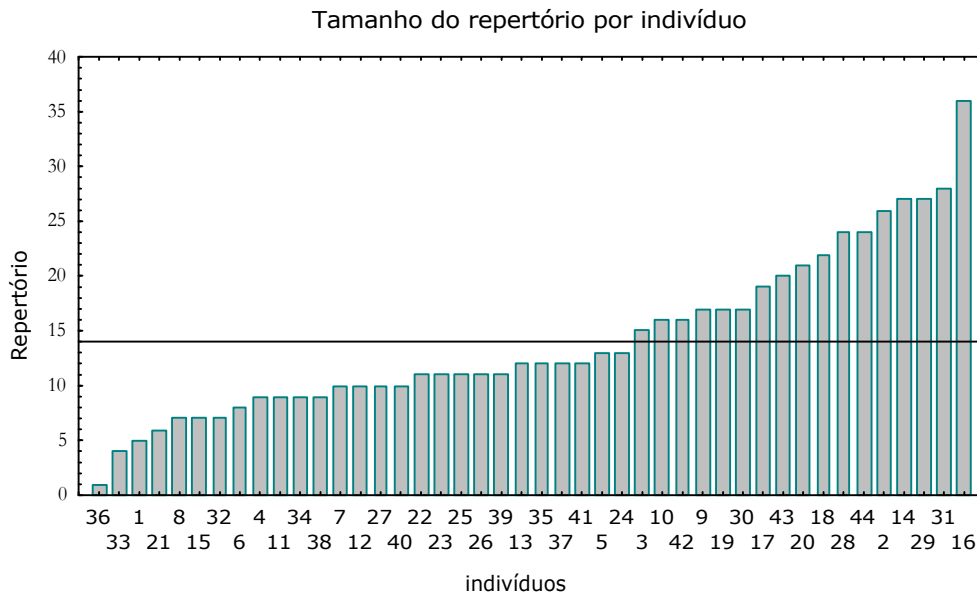


Figura 6. – Entropia de 1º momento vs. repertório e função exponencial representativa da entropia máxima de 1º momento.

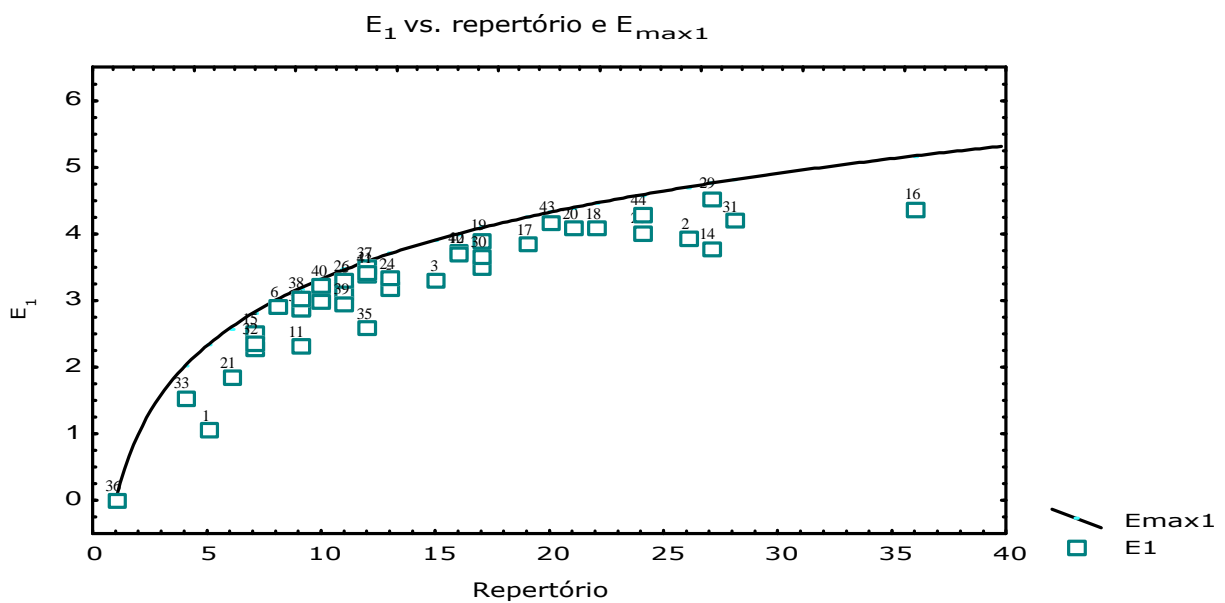


Figura 7. - Tamanho do repertório de notas duplas dos indivíduos de 1 a 44 em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra .

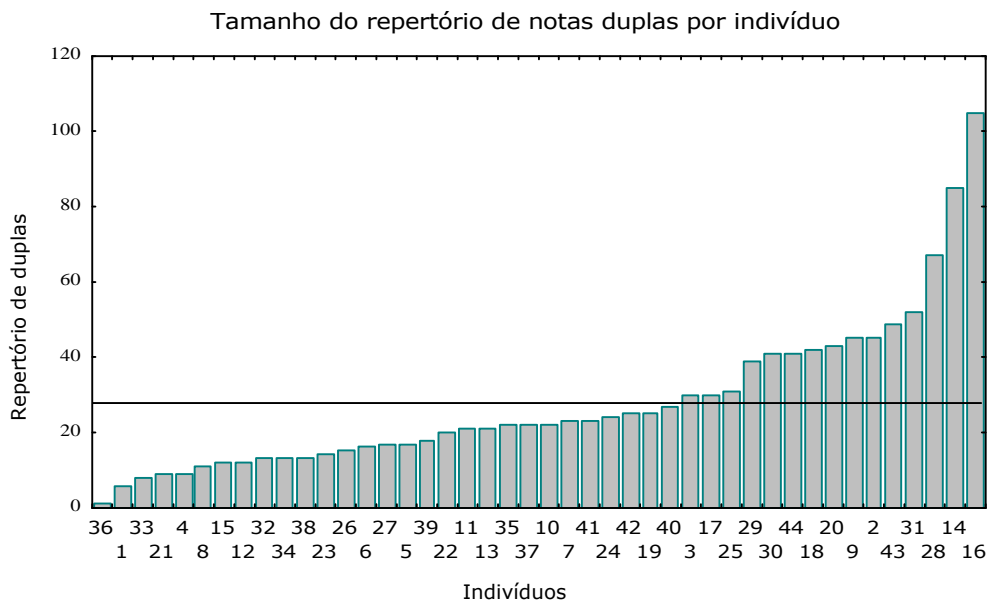


Figura 8. - Entropia de 2º momento vs. repertório de notas duplas com a curva de regressão.

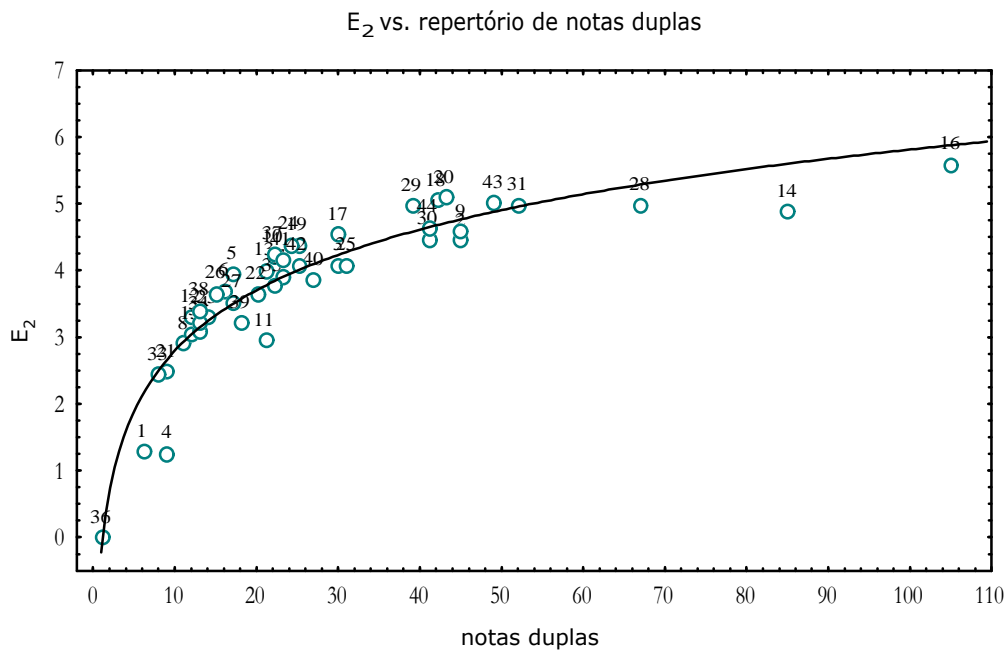


Figura 9. – Valores da entropia de 1º momento em ordem crescente por indivíduo, entropia de 2º momento, entropia máxima de 1º momento e entropia máxima de 2º momento.

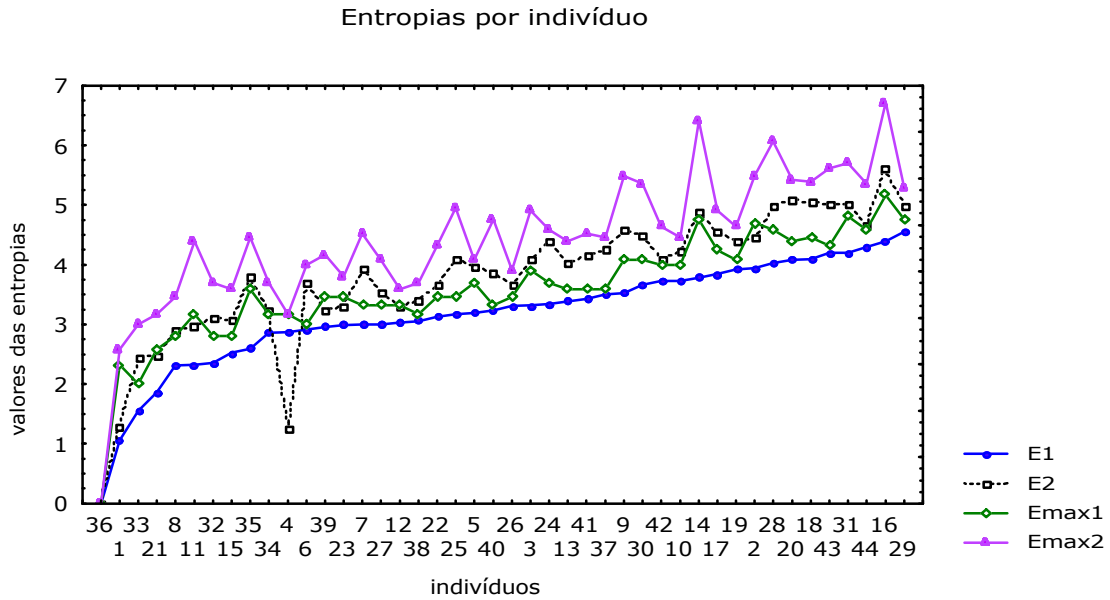


Figura 10. – Diferença percentual entre a entropia de 2º momento e a entropia de 1º momento em ordem crescente por indivíduo.

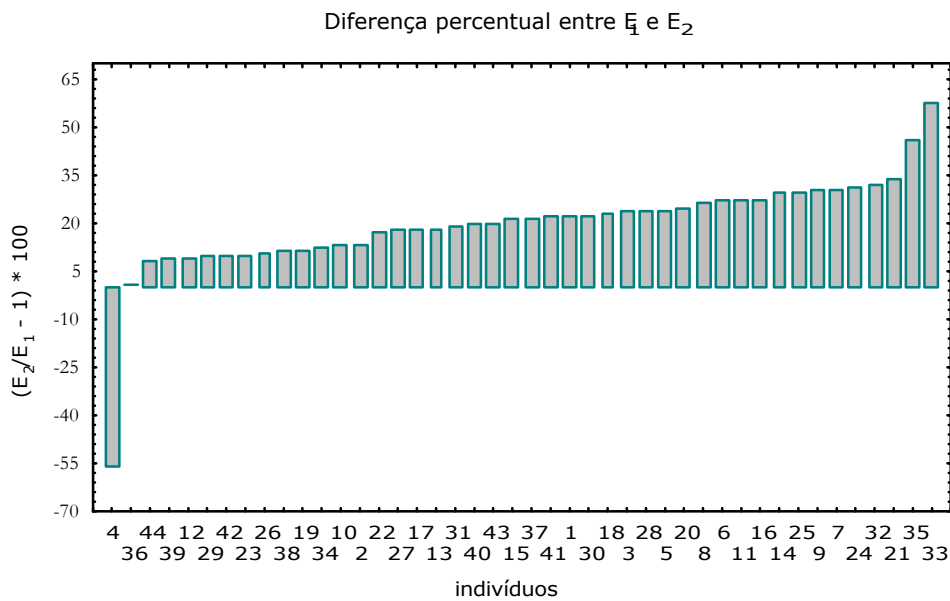


Figura 11. – Valores da média da duração das notas por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.

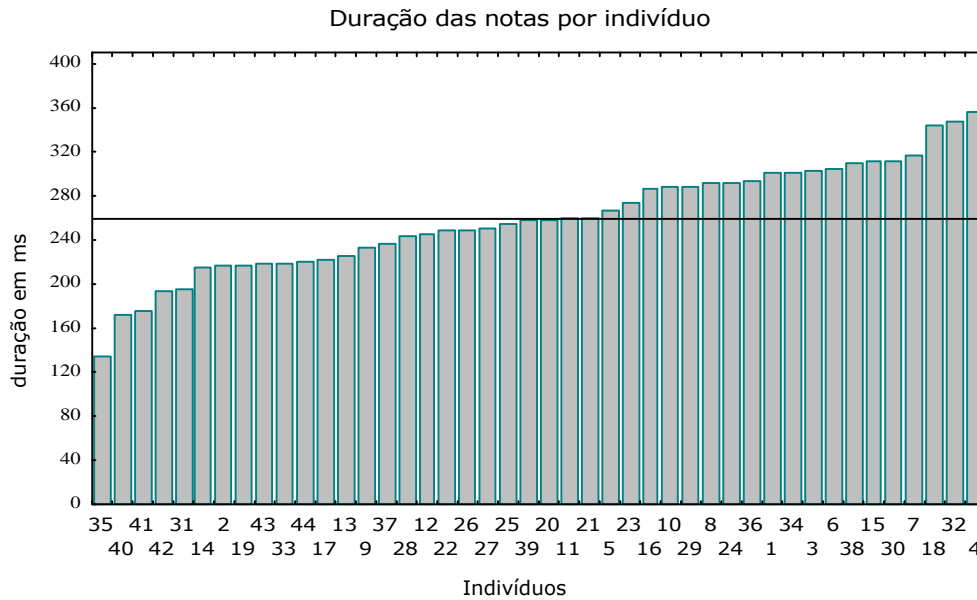


Figura 12. – Valores da média do número de notas emitidas por segundo por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.

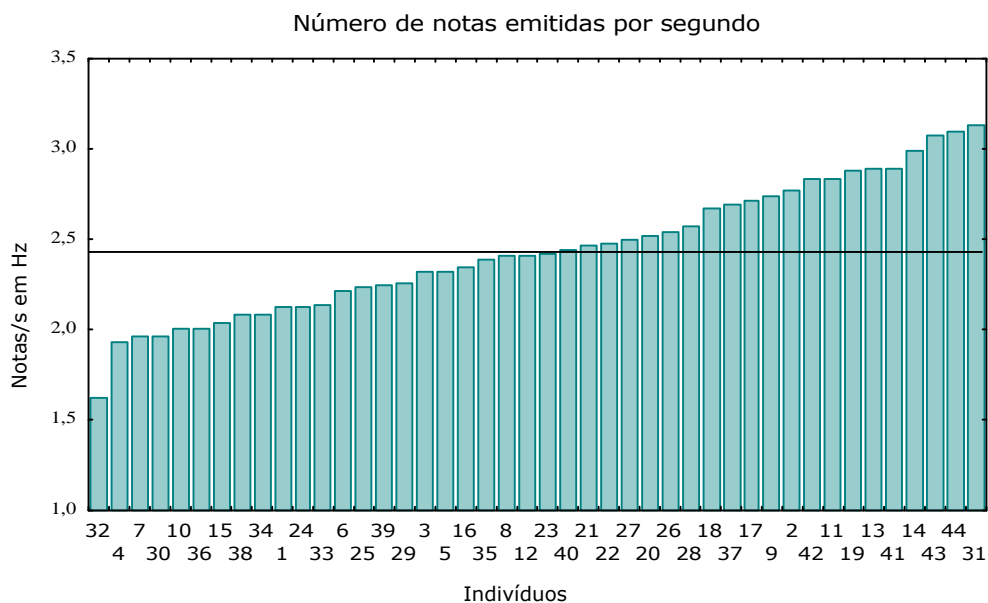


Figura 13. – Taxa de entropia temporal média vs. repertório e curva de regressão.

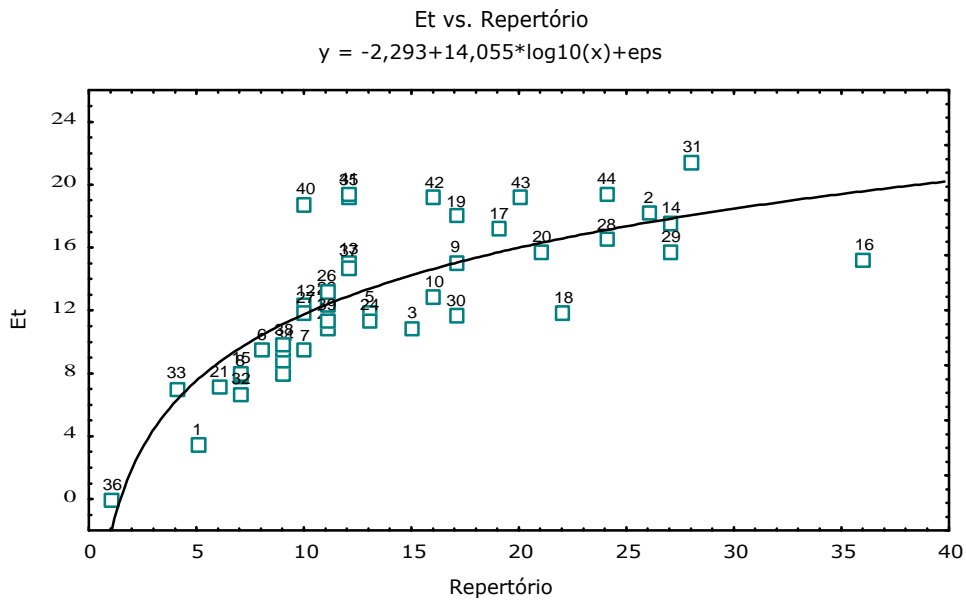


Figura 14. – Taxa de entropia rítmica média vs. repertório e curva de regressão.

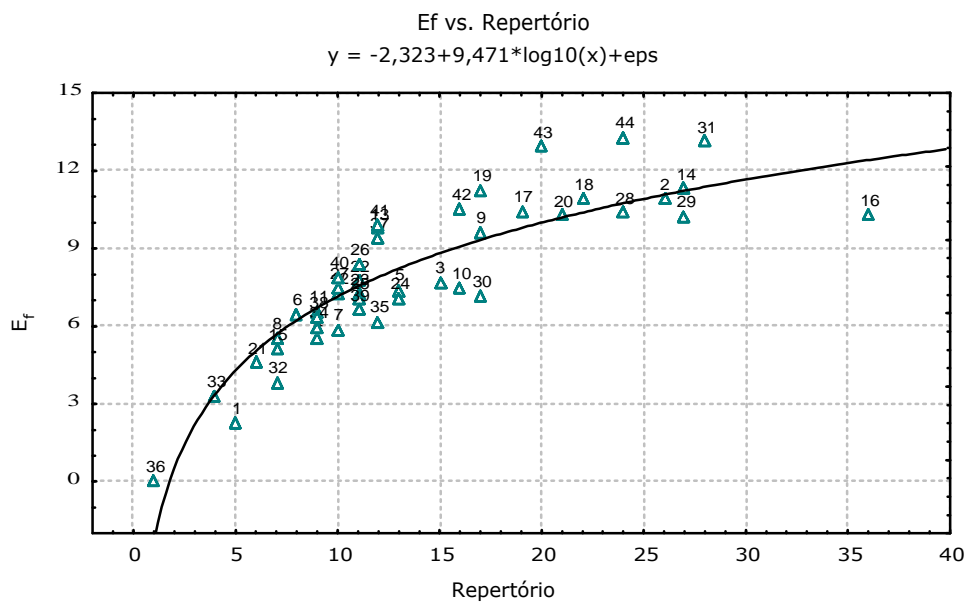


Figura 15. – Valores da entropia de 1º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.

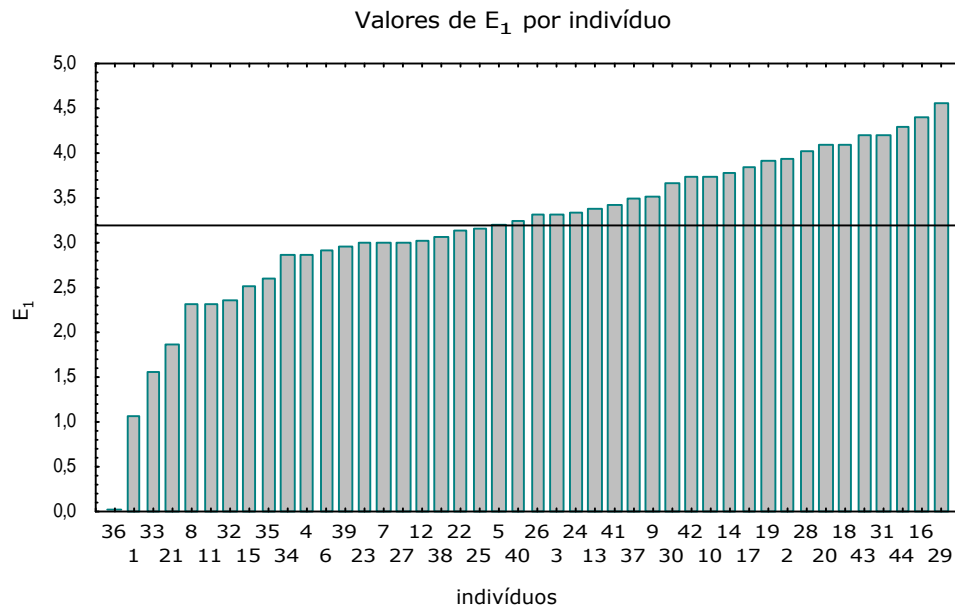


Figura 16. – Valores da entropia de 2º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.

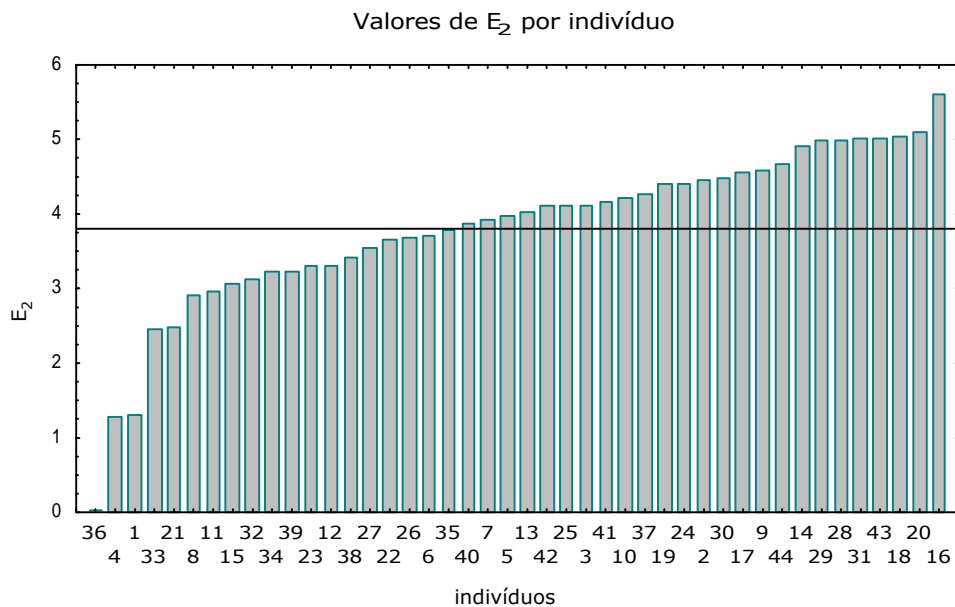


Figura 17. – Valores da entropia máxima de 1º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.

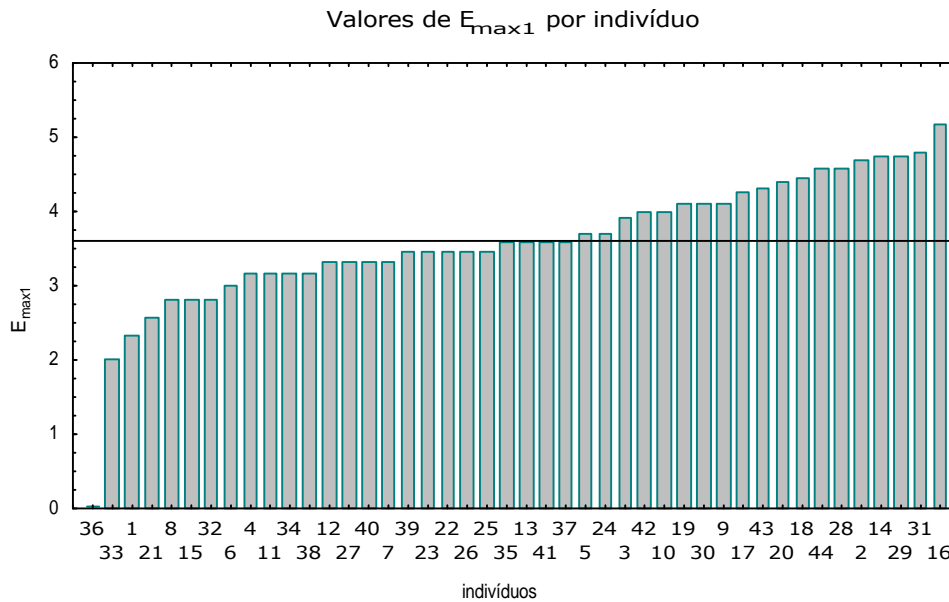


Figura 18. – Valores da entropia máxima de 2º momento por indivíduo em ordem crescente e reta representativa do valor da média da amostra.

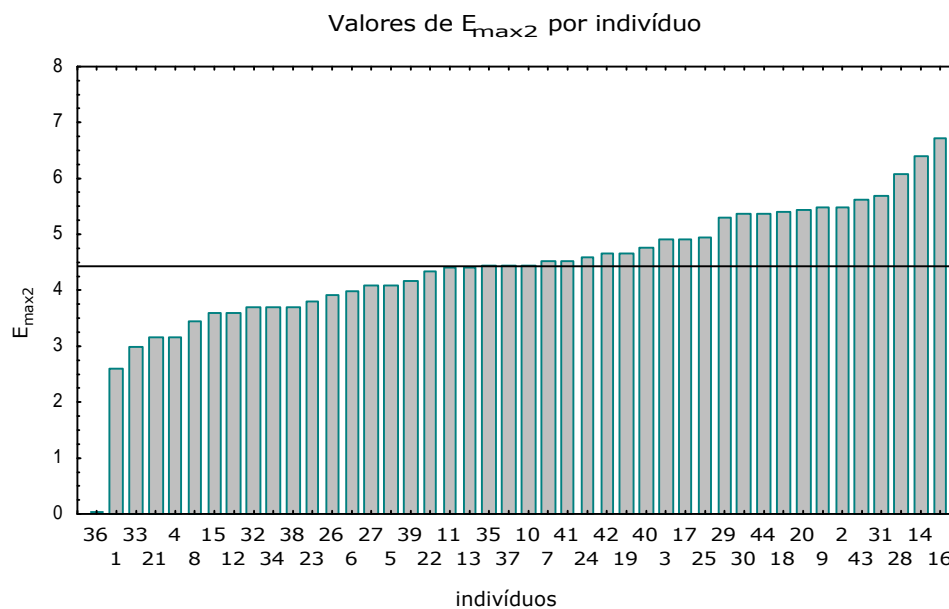




Figura 19. – Valores da relação entre a entropia de 1º momento e a entropia máxima de 1º momento por indivíduo em ordem crescente.

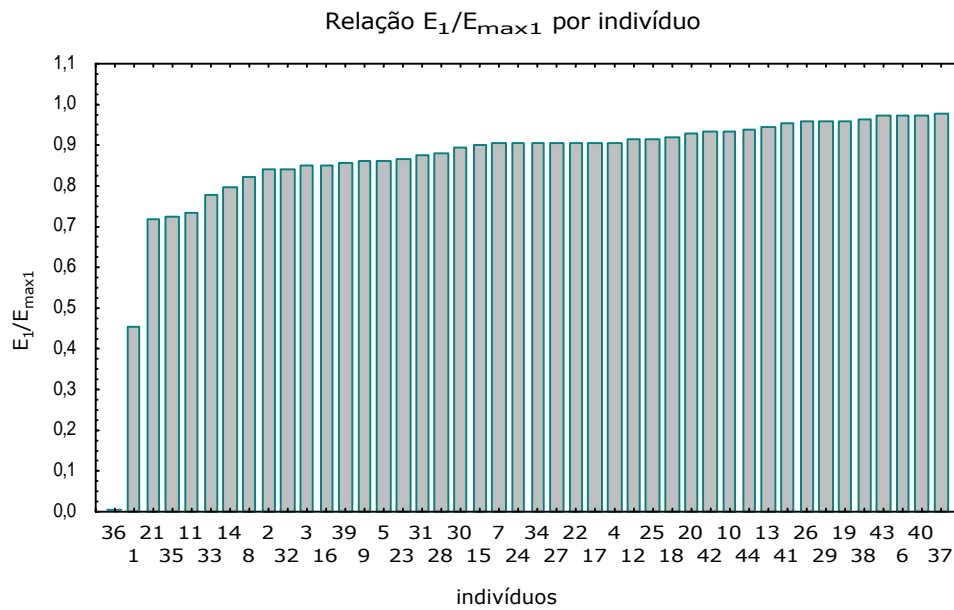


Figura 20. – Valores da relação entre a entropia de 2º momento e a entropia máxima de 2º momento por indivíduo em ordem crescente.

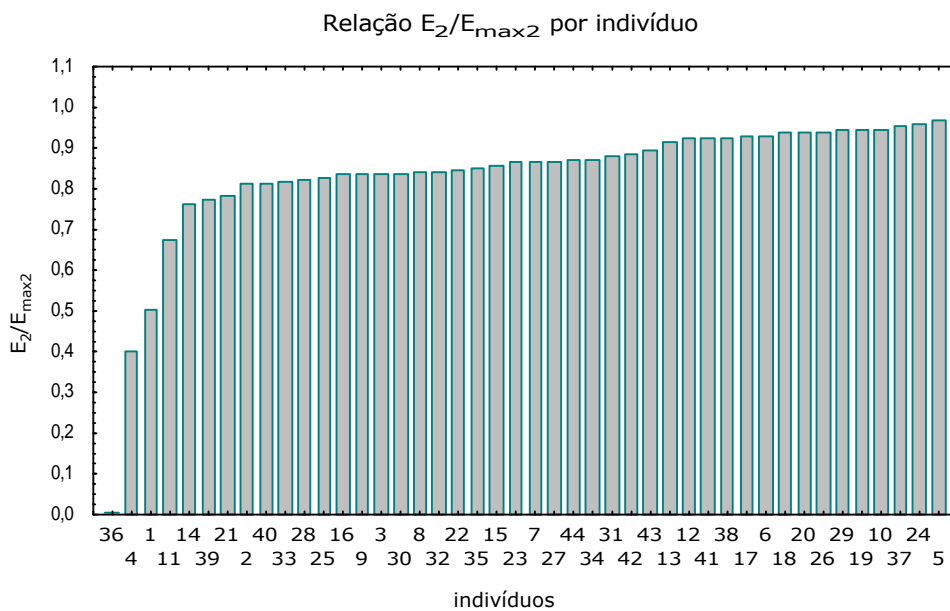


Figura 21. – Valores dos diversos momentos de entropia do indivíduo 4.

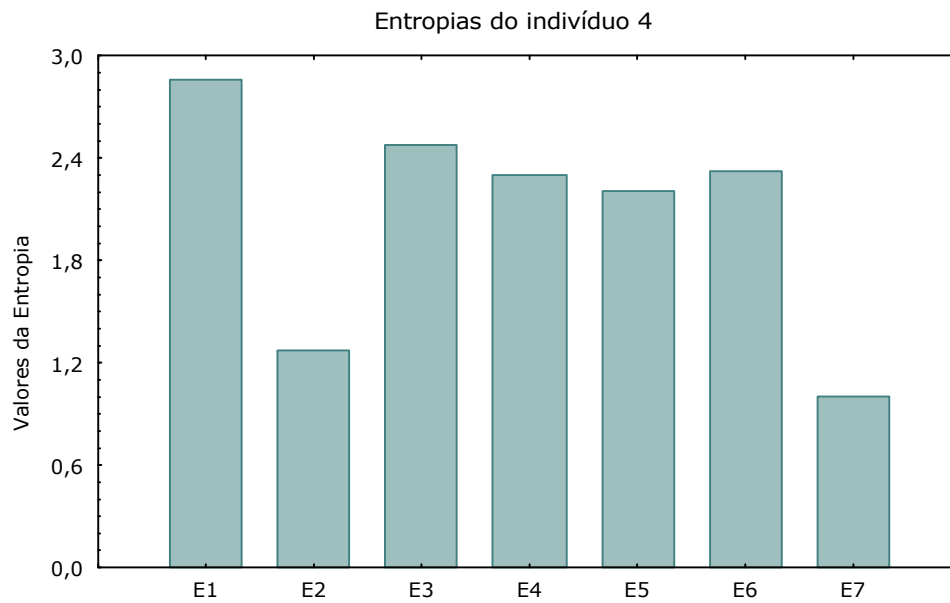


Figura 22. – Valores dos diversos momentos de entropia do indivíduo 11.

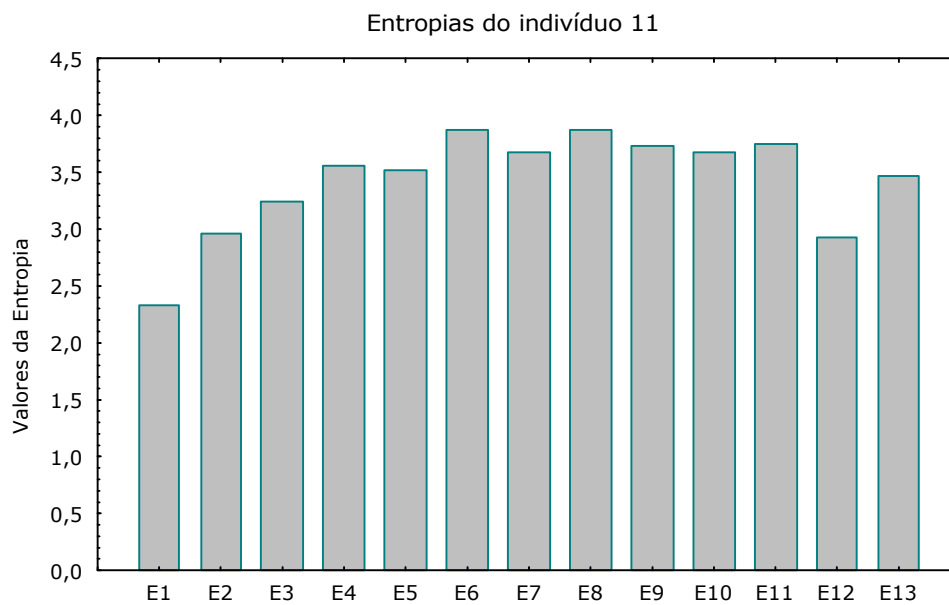


Figura 23. – Valores da entropia segundo a localidade.

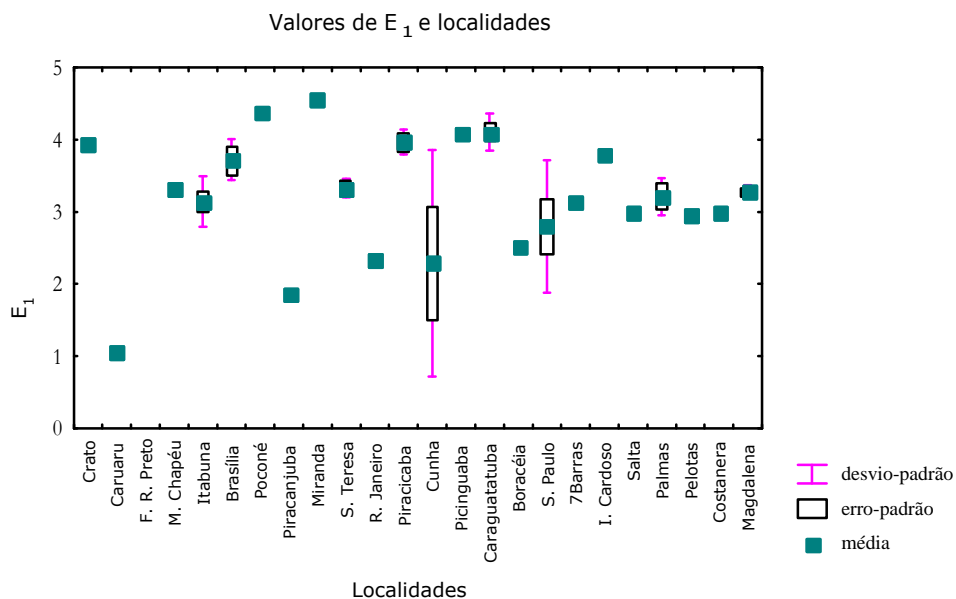


Figura 24. – Valores da taxa de entropia temporal média segundo a localidade.

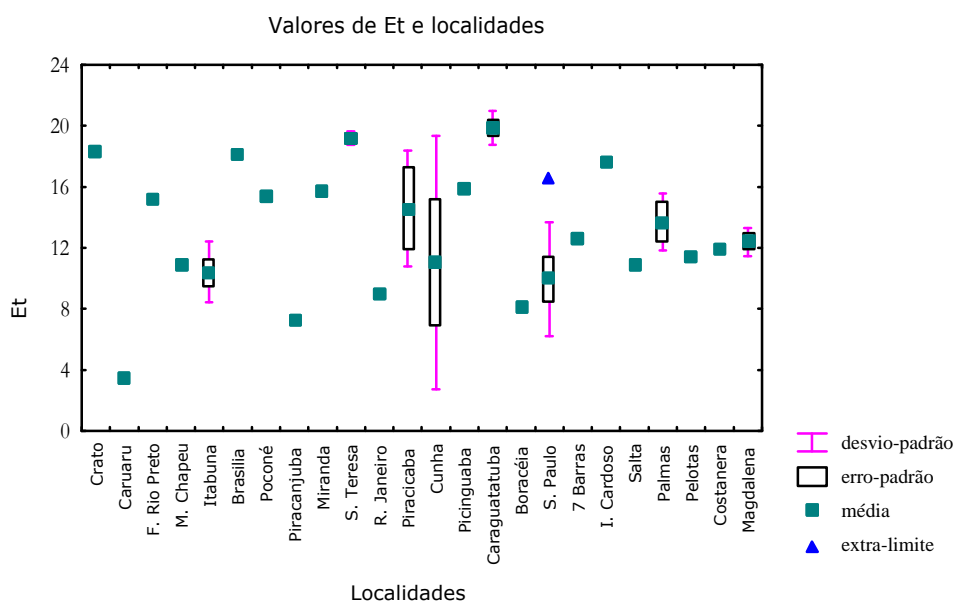


Figura 25. – Valores da taxa de entropia rítmica média segundo a localidade.

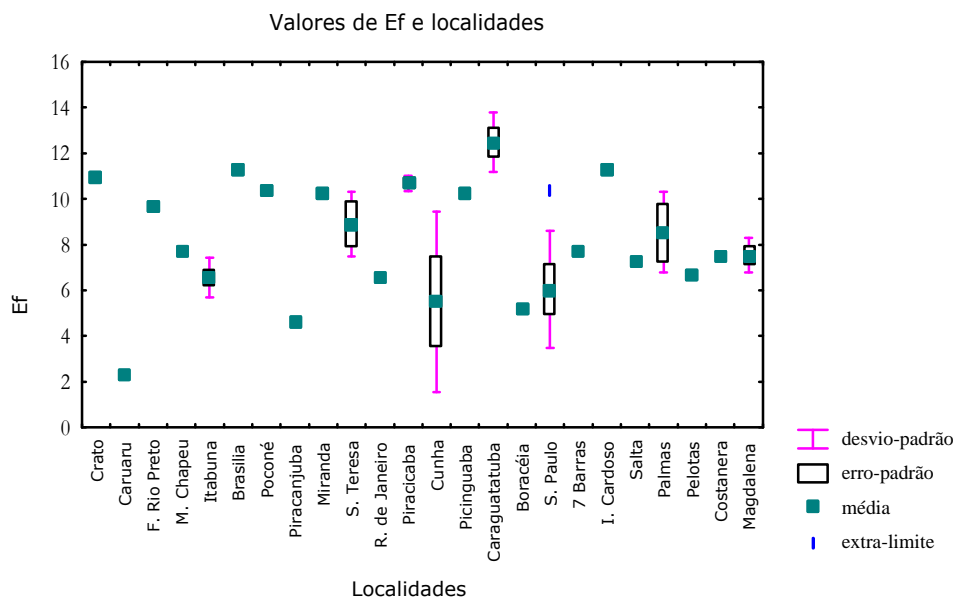


Figura 26. – Valores da entropia de 1º momento segundo a região.

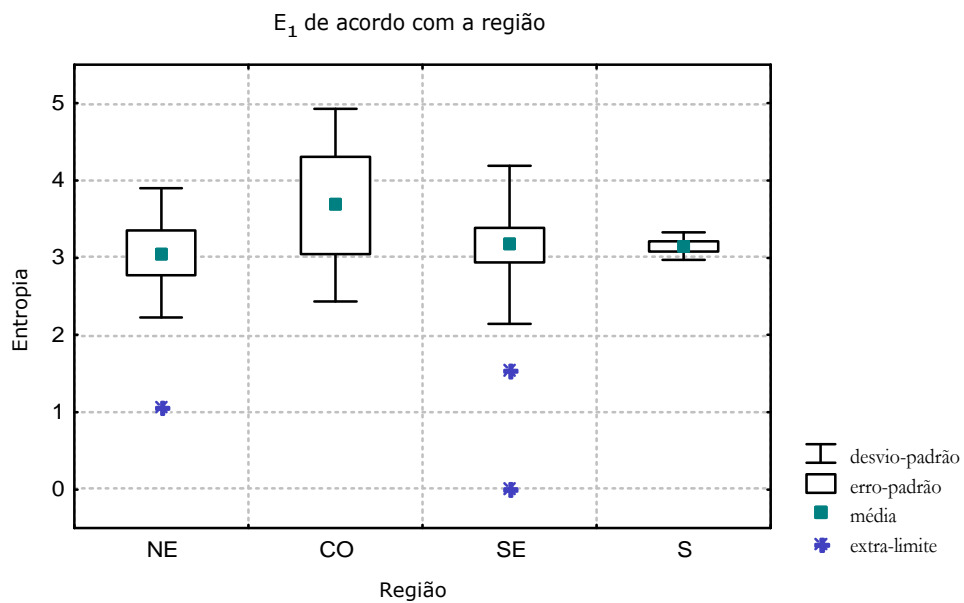
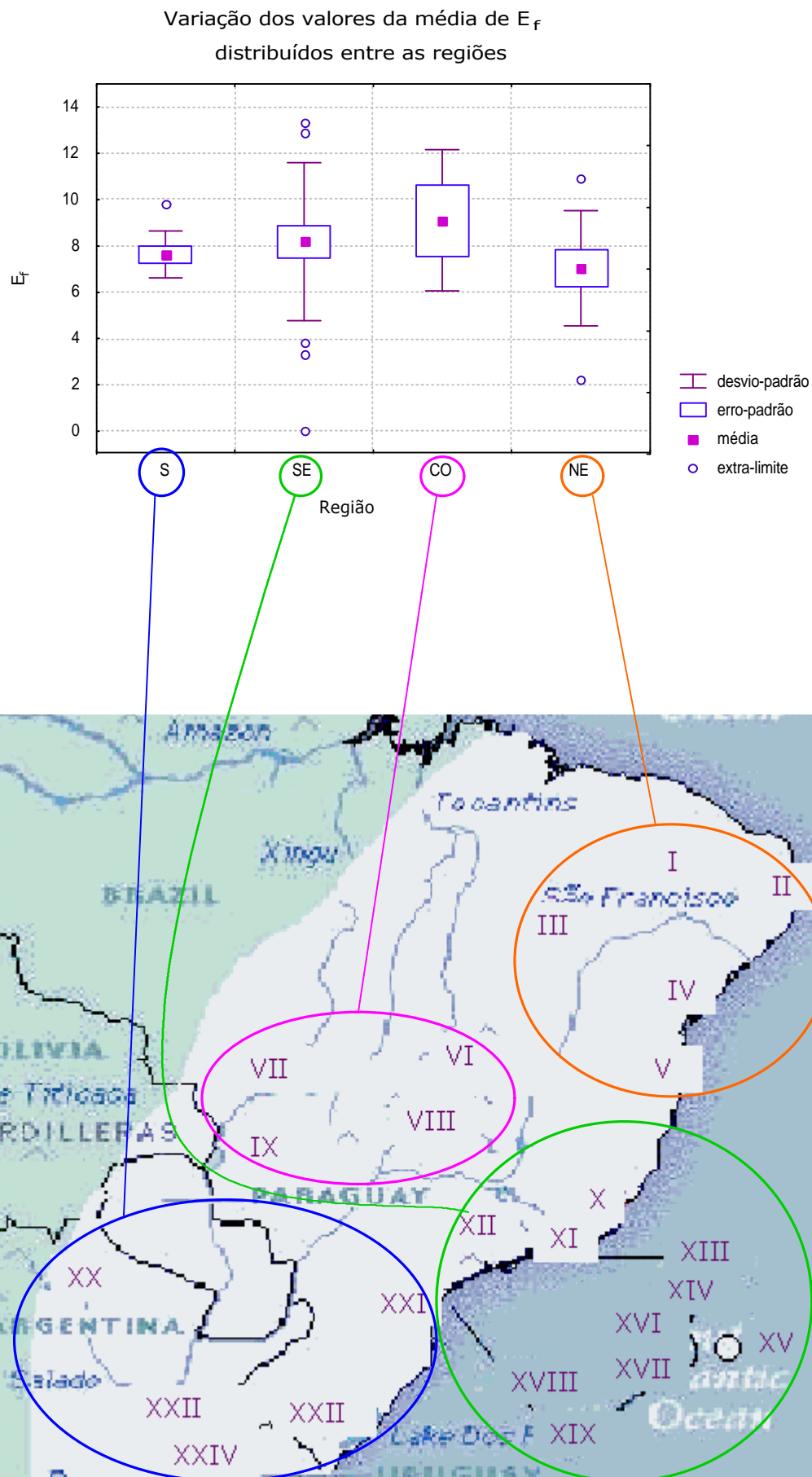


Figura 27. – Distribuição de *Turdus rufiventris* e valores de  $E_f$  por região.



## INTERPRETAÇÃO

Os resultados apresentados corroboram o estudo descritivo do canto de *Turdus rufiventris* que realizamos no Mestrado (Silva 1997), no qual evidenciamos a grande variação inter-individual dos cantos. Os repertórios encontrados na nossa amostra apresentaram-se similares em sua maioria, com poucos indivíduos com tamanhos de repertório extremos. O indivíduo 36, com o seu repertório reduzido a um único tipo de nota, não tem entropia, enquanto que o 16 exibe o extraordinário repertório de 36 tipos de notas, o que poderia lhe dar a maior entropia. Apesar disso, o indivíduo 36 parece que efetivamente se comunica, enquanto que o 16 não utiliza todo o seu potencial e apresenta valores de entropia mais baixos que outros que têm um repertório menor – é equivalente ao indivíduo 24, com apenas 24 tipos de notas, que mostra estar mais próximo da entropia máxima.

A entropia tem relação com o tamanho do repertório, mas também é alterada significativamente quando este está no extremo da amostra, como bem podemos verificar na figura 6, na qual os indivíduos 1 (com repertório de 5 notas) e 16 estão posicionados de forma semelhante (valores muito menores) em relação à curva de entropia máxima dos seus respectivos repertórios.

O repertório individual de combinações de notas duplas, apresentado na figura 7, seguiu um padrão semelhante ao repertório simples, com números absolutos muito maiores. A combinação de duas notas aumentou a possibilidade de variação na maioria dos casos como nos indivíduos 7, 11 e 14, porém alguns tiveram repertório proporcionalmente menor em relação à amostra, como em 1, 4 e 29. Os extremos se mantiveram na mesma posição (36 e 16). A entropia de 2º momento ( $E_2$ ) apresentou valores mais próximos do máximo que  $E_1$ , como podemos verificar na comparação entre as figuras 6 e 8. O indivíduo

4 teve um desempenho diferenciado: o valor de  $E_2$  foi 55% menor que do de  $E_1$  (ver valores no Anexo 1). O seu repertório de 9 notas é repetido em sequências de 5 notas na maior parte do tempo, de forma que a quantidade de informação diminui ao considerarmos combinações de mais de uma nota, como podemos constatar nas figuras 9 e 10.

Na figura 9 podemos ainda observar alguns picos na linha de  $E_{\max 2}$ , como os do indivíduo 11, 35, 39, 7, 25, 40, 3, 9, 14, 28, 31 e 16, que mostram um repertório proporcionalmente muito maior que o repertório simples. A diferença percentual entre as entropias de 1º e de 2º momento ilustrada na figura 10 mostra que varia de -55% (indivíduo 4) a 58% no indivíduo 33. Essa diferença depende da estereotipia apresentada na combinação de notas duplas, que na amostra é maior no indivíduo 4 e menor nos indivíduos 35 e 33. Os valores de  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{\max 1}$ ,  $E_{\max 2}$  são mostrados em ordem crescente respectivamente nas figuras 15, 16, 17 e 18 para evidenciar o que já mostramos na figura 9, na qual estão as curvas desses parâmetros.

A organização temporal é definida pelos parâmetros que sofrem menor variação no canto de *Turdus rufiventris* (Silva & Vielliard 1994, Silva 1997) e é, possivelmente, um caráter específico (ver capítulo III). A duração das notas e o número de emissões por segundo apresentam variações entre os indivíduos, como podemos verificar nas figuras 11 e 12. A frequência de emissão da nota representa a combinação da duração da nota e o intervalo de silêncio, que traduz o ritmo do canto. A variação do ritmo na amostra é menor (desvio-padrão = 14,81) que a variação da duração das notas (desvio-padrão = 18,89) (ver tabela III).

Os valores da entropia, combinados com esses parâmetros temporais,  $E_t$  que leva em consideração a duração das notas e  $E_f$  que leva em consideração o ritmo, evidenciam mais as variações individuais entre a entropia e o tamanho do repertório. Além da confirmação dos valores extremos, essas correlações discriminam melhor os indivíduos que representam o âmago da amostra, o que não é possível simplesmente

com o valor da entropia. Com a introdução desses parâmetros temporais, os indivíduos se posicionam diferentemente do seu ponto inicial definido pela entropia e pelo repertório. Assim, o indivíduo 18, com 22 tipos de notas, apresenta uma entropia compatível com o tamanho do seu repertório (fig. 6); em relação à  $E_f$ , seus valores continuam perto da linha de regressão da amostra (fig. 14), mas isso não ocorre em relação à  $E_t$  (fig. 13). Outros indivíduos apresentam padrão semelhante de desvio (35, 40).

Os valores da entropia não mostraram correlação com as localidades de coleta das gravações, impedindo-nos de evidenciar algum padrão populacional. Mesmo nos casos em que os indivíduos analisados eram vizinhos, não vimos nenhuma similaridade que indicasse que houvesse um dialeto local. Como o único processo de aprendizagem vocal conhecido na ontogênese das aves é mediado pela imitação, permanece o mistério de como os cantores de *Turdus rufiventris* adquirem seu repertório sem compartilhar notas com os seus vizinhos.

Em contrapartida, podemos dizer que os valores da entropia variam muito de uma localidade para outra (fig. 23 a 25). Assim como o repertório, as correlações das localidades com a entropia apresentaram variações interessantes dependendo do método de cálculo: puro ou em combinação com a duração ou ritmo do sinal (tipo de nota). Uma comparação visual das figuras 23 a 25 mostrará discrepâncias potencialmente instrutivas. Verificamos que os valores de  $E_1$  e  $E_t$  dos indivíduos 40 e 41 de Santa Teresa são muito semelhantes, o que não ocorre com  $E_f$ . Já os indivíduos de Piracicaba (17 e 18) têm  $E_1$  e  $E_f$  semelhantes, mas não  $E_t$ .

Apesar dessas fortes variações entre indivíduos e até mesmo entre localidades, uma análise mais abrangente, na qual dividimos as localidades em 4 macroregiões, mostra-nos que a variação dos valores da entropia são menores na região Sul (fig. 26). Ressaltamos que embora os



valores não sejam significativamente diferentes entre as quatro regiões, a variação é grande em todas elas, exceto a região Sul.

A grande variabilidade do repertório individual do canto de *Turdus rufiventris* demonstrou que é preciso analisar, além da medição do número de tipos de notas de cada canto, a quantidade de informação que ele pode emitir. Usar um canal sonoro para transmissão de informação torna necessária a medição do fluxo dessa informação, como é o caso do sinal de comunicação acústica representado pelo canto das aves. Esta é a razão pela qual propusemos aqui a introdução de duas taxas médias de entropia, ambas relacionadas aos parâmetros temporais: duração das unidades de canto ou notas para  $E_t$ , ritmo de emissão desses elementos para  $E_f$ .

A comparação entre o tamanho do repertório, que determinará a entropia máxima que um indivíduo potencialmente pode atingir, com a entropia que o canto efetivamente possui mostra que os indivíduos desviam-se diferentemente dos valores de  $E_{max}$ , e a maioria apresenta cantos com valores de entropia próximos à média da amostra. Nossos dados demonstraram que o tamanho do repertório e  $E_1$  não variaram na mesma proporção.

Com a introdução da taxa de entropia temporal média ( $E_t$ ) e da taxa de entropia rítmica média ( $E_f$ ), descobrimos discrepâncias individuais que precisam ser analisadas em detalhe. Seria necessário escolher uma das taxas de entropia, para estabelecer um tipo de índice individual de variação. Incorporando um conceito mais heurístico do fluxo temporal de informação,  $E_f$  seria a melhor escolha, já que corresponde a um parâmetro menos variável e mais representativo das características físicas do canto da espécie.

## II - ONTOGÊNESE DOS SINAIS DE COMUNICAÇÃO

### OS MODELOS CONHECIDOS

#### ESTRATÉGIAS

Há diversas estratégias de produção e desenvolvimento do canto nas aves. É muito citada a diferença básica entre as subordens Oscines e Suboscines, da ordem Passeriformes. Os cantos em Oscines são referidos como aqueles que apresentam variações regionais e individuais com evidências de aquisição de elementos através de aprendizagem (Mundinger 1982, Kroodsma 1982, Canady *et al.* 1984, Marler 1991, Kroodsma 1996), ao contrário dos de Suboscines, estereotipados, simples, de repertórios pequenos e com variações geográficas mínimas (Silva 1995, Kroodsma 1996). Essa proposição não é consensual, pois há evidências de aprendizagem e variações presentes nos cantos de beija-flores (ordem Trochiliformes), como as diferenças geográficas relatadas por Gaunt e colaboradores (1994) para *Colibri coruscans* e *C. thalassinus*, e as variações intra-individuais em *C. serrirostris* e individuais em *Augastes lumachellus* relacionadas por Vielliard (1983). Porém, podemos identificar ao menos duas estratégias diferentes na produção de canto em aves: uma delas forma o grupo das espécies que apresentam variação regional ou individual, verificada na maioria dos Oscines, e a outra estratégia compõe o grupo das de cantos estereotipados, geralmente encontrados nas aves não-Passeriformes e Suboscines.

Os cantos considerados estereotipados são aqueles que não demonstram variações populacionais ou individuais e se mantêm funcionais mesmo em indivíduos criados em isolamento acústico (ver Vielliard 1987, Silva 1995 e Silva 1997).

Há indícios de aprendizagem vocal em mais de 300 espécies de aves (Kroodsma & Baylis 1982), a maioria em Passeriformes; porém, é um assunto que foi pouco estudado experimentalmente. Este modelo de

ontogênese não é regra para essas aves e não é necessariamente ausente para as outras espécies (Baker & Cunningham 1985, Vielliard 1987, Brenowitz *et al.* 1991).

Repertórios longos, produção de dialetos, realização de imitações, variações populacionais e individuais são conseqüências e evidências de aprendizagem (Marler 1990, 1997, Kroodsma 1996, Silva 1997).

Na verdade, o canto mediado pela aprendizagem apresenta parte de suas características determinada geneticamente e parte determinada pela aprendizagem. A estrutura básica do canto, o padrão do modelo e o período de sensibilidade são determinados geneticamente, permitindo a transmissão cultural dos parâmetros flexíveis. Na prática, isso se manifesta por variações populacionais ou dialetos e permite ainda variações individuais (Vielliard 1987, Silva 1995). Essa predisposição inata do canto aprendido foi definida por Marler (1998) como “um instinto para aprender” e os moldes variam conforme a espécie, mas a capacidade de aprendizagem parece corresponder a uma estrutura cerebral peculiar (Jarvis *et al.* 2000).

A aprendizagem vocal em pássaros canoros, da mesma forma que em seres humanos, é dependente da audição (Brainard & Doupe 2000). A existência de diferenças culturais entre populações diferentes da mesma espécie, como no caso dos dialetos, evidencia um mecanismo de aprendizagem acústica da vocalização.

A determinação de um dado sinal como inato ou aprendido é fundamental, já que sua interpretação pode variar muito conforme o caso. Assim, recomenda-se o uso de provas diretas como experimentos de criação em isolamento acústico ou “cross-fostering” (criação inter-específica de filhotes) para classificar um canto como aprendido ou inato (Vielliard 1995).

## VERSATILIDADE

O canto aprendido pode apresentar variações quanto ao repertório e à seqüência de suas unidades constituintes, como no caso do Sabiá-laranjeira, com variações inter e intra-individuais. Esta característica é denominada versatilidade e é um aspecto do canto pouco estudado, limitando-se as publicações a algumas descrições desse comportamento em espécies de aves Paleárticas, além do estudo do repertório vocal do representante Neotropical *T. rufiventris* (Isaac & Marler 1963, Naguib & Kolb 1992, Silva 1995, Todt & Hultsch 1996, Espmark 1995, Silva & Vielliard 1998).

A palavra versatilidade é geralmente empregada como qualitativo de algo que apresenta diversas funções. No caso do canto versátil, seus elementos constituintes podem possuir funções diferenciadas a medida que suas posições na frase são alteradas de forma pouco previsível. Dessa forma, definimos o canto versátil como aquele cuja emissão de suas unidades constituintes (que denominamos notas) não possa ser prevista *a priori* e, embora apresente algum parâmetro fixo responsável pela informação específica, é variável quanto ao tamanho do repertório, aos tipos de notas e, principalmente, às suas seqüências (Silva 1997).

Isaac e Marler (1963), estudando o canto de diferentes indivíduos de *Turdus viscivorus*, que é muito variado, com repertório grande e complexo e seqüências de notas difíceis de prever, identificou algumas características específicas comuns, como tipos de notas e seqüências das "syllable types" (conjunto de duas ou três notas), além dos parâmetros temporais e da estrutura das seqüências.

Espmark (1995) estudou as variações de canto de duas populações de *Plectrophenax nivalis* (Passeriformes, Oscines, Emberizidae) e verificou que a maioria dos machos têm notas próprias, ocorrendo poucos casos de indivíduos da mesma população que compartilham notas, situação observada apenas nos núcleos das populações das áreas estudadas.

Conclui, então, que a espécie não possui padrões populacionais característicos, e sim individuais. Essa variação sugere aprendizagem, que parece ocorrer após a dispersão natal, quando os machos estabelecidos em seus próprios territórios incluem no seu repertório notas provenientes de vizinhos e de indivíduos de territórios distantes.

A versatilidade do canto da Corruíra-do-campo *Cistothorus platensis* (Passeriformes, Oscines, Troglodytidae) ocorre em nível de frase, cuja repetição é difícil de ser prevista. Nesse caso, a frase possui uma nota introdutória comum a todas as frases, seguida de um trecho com repetição de notas complexas de modulação rápida, com até 225 padrões diferentes. A seqüência e os tipos de frases variam entre os indivíduos, embora tenham uma estrutura comum (Kroodsma 1996).

O termo versatilidade é empregado de maneira paradoxal em um trabalho sobre o canto de uma espécie de Uirapuru da Costa Rica, *Microcerculus philomela* (Leger *et al.* 2000). Essa espécie de pássaro canta uma única frase, modificando o ritmo em função da alteração do intervalo entre as notas ou o intervalo entre as frases. Alternativamente, pode cantar com o mesmo padrão de notas modificando a faixa de freqüência. As modificações são previsíveis e o autor equivocou-se ao denominar esse comportamento de versatilidade.

Segundo Nowicki *et al.* (1999), o melhor caminho conhecido para aumentar a versatilidade do canto envolve a criação de permutações e combinações de elementos de canto aprendido de vizinhos e parentes, combinados com improvisos. Parece ser a estratégia utilizada pela maioria dos representantes da família Muscicapidae (Passeriformes, Oscines), entre eles os rouxinóis (sub-família Muscicapinae) e sabiás (sub-família Turdinae).

Especialmente em Turdinae, em muitos lugares do mundo, a discriminação entre as espécies simpátricas e sintópicas é "mascarada" pela sobreposição de seus parâmetros acústicos, a ponto de dificultar a identificação para o pesquisador. Silva e Vielliard (1994) estudaram os

parâmetros físicos e estruturais do canto de quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*: *rufiventris*, *leucomelas*, *amaurochalinus* e *albicollis* e concluíram que o sinal de comunicação específica está codificado na estrutura e seqüência das notas. Beme (1994) obteve resultados semelhantes para duas espécies paleárticas do mesmo gênero: *T. musicus* e *T. philomelos*.

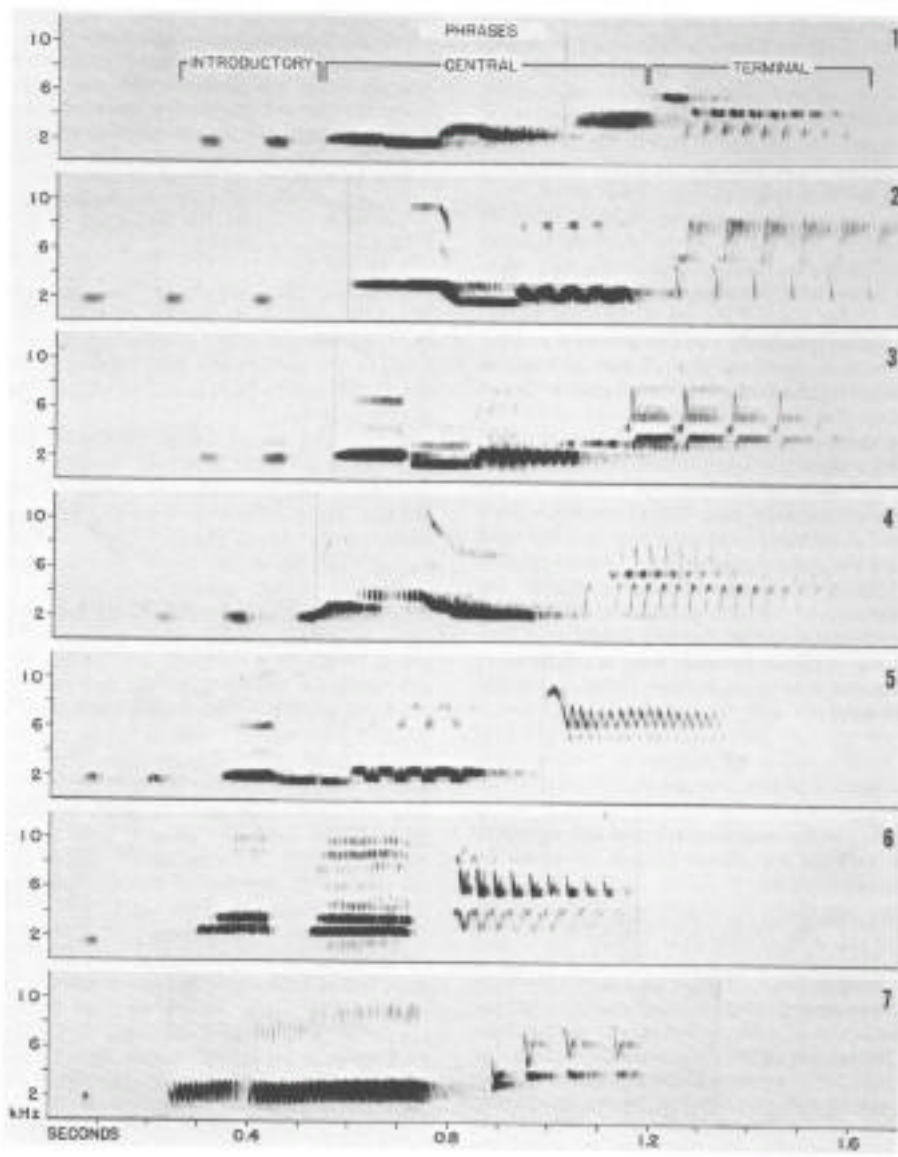
## MODELOS DE CANTO APRENDIDO

No caso do Tico-tico da Califórnia *Zonotrichia leucophrys*, uma das espécies mais estudadas, a ontogênese do canto é dividida em três períodos: o primeiro corresponde à receptividade da informação, que ocorre no primeiro mês de vida, com os pais. O segundo período é o chamado refratário, no qual o jovem não acrescenta informações novas ao canto. No terceiro período ocorre o ajuste da aprendizagem, incluindo elementos provenientes de outros machos vizinhos, dando formação ao canto definitivo (ver Vielliard 1987). Esse modelo de ontogenia foi descrito por muitos autores, que a ele acrescentam algumas informações. Assim, demonstrou-se que os espécimes criados em isolamento acústico desenvolviam um canto anormal; após o período receptivo à aprendizagem, entre 10 e 50 dias de vida, o jovem aprende o canto ao qual foi exposto, mas há perda de detalhes (Marler 1970, Baptista & Petrinovich 1984). O período refratário ocorre após os 100 dias de vida (Marler 1970); ele corresponde ao momento em que o canto já está estabelecido, porém, estudos de surdez induzida em indivíduos adultos de *Zonotrichia leucophrys* demonstraram que a audição é importante para manutenção motora do canto aprendido (Konishi 1965), assim como ocorre em seres humanos (Brainard & Doupe 2000).

Outro experimento de ontogenia conhecido é o realizado por Wesley Lanyon (1979), que criou dois indivíduos de *Hylocichla mustelina* (Turdinae) isolados de seus conspecíficos desde o ovo. Cada frase do

canto dessa espécie apresenta três segmentos com características distintas: o introdutório, com duas ou três notas curtas, com um repertório de apenas um ou dois tipos de notas; o central, melodioso, mais longo e normalmente com emissão simultânea de ambos os lados da siringe, e do qual cada macho possui em média quatro tipos diferentes em seu repertório; e o segmento final, com frequências mais altas e de modulação rápida, com cerca de oito tipos por indivíduo (ver fig. 28). Comparações entre os sonogramas do canto dos espécimes isolados acusticamente e os de indivíduos da natureza mostram que há semelhanças na estrutura básica e no ritmo. A única diferença sonográfica apresentada pelo autor está no segmento central das frases, que seria menos melódico, mais curto, mais discordante e de configuração simplificada. O canto emitido pelos indivíduos criados em isolamento não foi reconhecido pelos seus conspecíficos da natureza. Isto sugere que o segmento central da frase é transmitido através de aprendizagem e contém a informação de reconhecimento específico (Vielliard 1980).

Figura 28. – Sonogramas dos cantos de *Hylocichla mustelina* na natureza (1-5) e em isolamento acústico (6-7); por Lanyon (1979).





## O CASO DO SABIÁ-LARANJEIRA

Um indivíduo de *Turdus rufiventris* foi encontrado caído do ninho e recebeu, em uma residência da cidade de São Paulo (Noemi de Castro), cuidados que permitiram a sua sobrevivência fora do convívio de seus familiares até completar pouco mais de 30 dias de vida. Durante esse período, esse indivíduo não escutou o canto de nenhum macho adulto da mesma espécie. Ele então foi levado para a cidade de Campinas, onde não há *T. rufiventris* residente, e registramos as vocalizações que emitia.

Os resultados dessa experiência estão sendo relatados apenas para conhecimento, já que não tivemos o controle rigoroso da informação auditiva do filhote e nem precisão acerca da sua idade e procedência.

Após a primeira semana de sua estada em Campinas, o jovem em questão foi levado para a Universidade de Jaboticabal para determinação do sexo gentilmente realizada, através do exame do cariótipo, pelo Prof. Dr. José Maurício Barbanti Duarte. Coletamos de seu corpo algumas penas recentes, que continham na sua base células em divisão, necessárias para o processamento e visualização dos cromossomos. Posteriormente comprovamos tratar-se de um indivíduo do sexo masculino ( $2n = 80 ZZ$ , ver Giannoni *et al.* 1990).

O indivíduo foi mantido em uma gaiola apropriada para sabiás e durante os dois primeiros meses e meio de sua estada em Campinas (do total de um ano; após esse período foi doado para um criador profissional de pássaros) registramos 6 horas de fitas digitais com as suas vocalizações.

Inicialmente gravamos as vocalizações espontâneas, e após 60 dias, o jovem foi submetido ao "play-back" de um canto de repertório simples, constituído de 9 tipos diferentes de notas, porém elaboradas e amplamente moduladas, proveniente do indivíduo 21 da amostra, de Piracanjuba, GO (fig. 29).

A figura 30 mostra trechos selecionados dos sonogramas do canto do indivíduo em questão. O eixo Y representa a frequência e o eixo X o tempo.

Os sonogramas A, B e C foram realizados a partir de gravações do dia 12 de junho de 1996, época em que o jovem ainda não havia escutado o canto da sua espécie. As vocalizações são constituídas de notas curtas, quase sem modulação, com intervalo de tempo irregular entre as emissões. As notas apresentam estruturas com harmônicos, raramente encontradas no canto dos adultos de *Turdus rufiventris*. Podemos verificar que há uma dificuldade em repetir uma nota da exata maneira como ela já foi emitida; veja, por exemplo, as duas notas com harmônicos no sonograma C.

A gravação feita no dia 15 de setembro de 1996, mostrada no sonograma D, apresenta uma estruturação um pouco mais definida do canto, sem harmônicos e com maior sucesso na tentativa de repetir as notas da mesma forma. O jovem ainda não havia escutado o canto de um adulto, mas demonstrava um controle motor melhor das emissões.

A partir do dia 28 de outubro, o jovem foi submetido à escuta da gravação de um canto bem elaborado de um adulto (fig. 29). Os sonogramas E e F correspondem a essa fase, mas não mostram modificações importantes em relação ao sonograma D. Parece que o conjunto de repetições de notas está mais bem definido, com intervalos mais regulares de tempo entre as emissões. O indivíduo jovem consegue repetir a mesma nota de forma mais fidedigna, como podemos verificar na última seqüência da primeira frase no sonograma F. Ele nunca repetiu nenhuma das notas constituintes do canto que lhe foi dado como modelo.

Não obstante a falta de rigor científico da experiência relatada, pudemos verificar grandes diferenças entre o canto de um jovem e o de um adulto já cristalizado. O canto cristalizado é constituído de notas puras, moduladas, com intervalo de tempo regular entre as emissões, como podemos ver no sonograma da figura 29. Já o canto do jovem que

foi impedido de ter o desenvolvimento normal de sua aprendizagem vocal, mostrou-se auditiva e graficamente discordante do esperado para sua espécie, tanto quanto aos parâmetros temporais e de frequência (é mais agudo que o natural), quanto na estrutura das notas.

Testamos a funcionalidade do canto do jovem cativo na natureza, porém as respostas ao “play-back” não foram conclusivas. Todavia, acreditamos que as alterações deste canto impeçam o cumprimento da função de reconhecimento específico.

Figura 29. – Sonograma do indivíduo 21 de *Turdus rufiventris*.

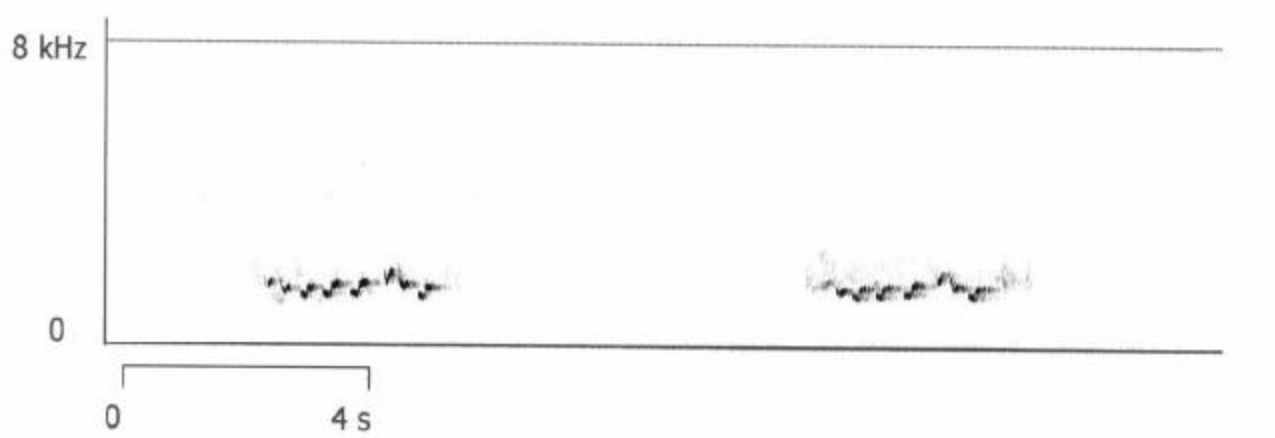
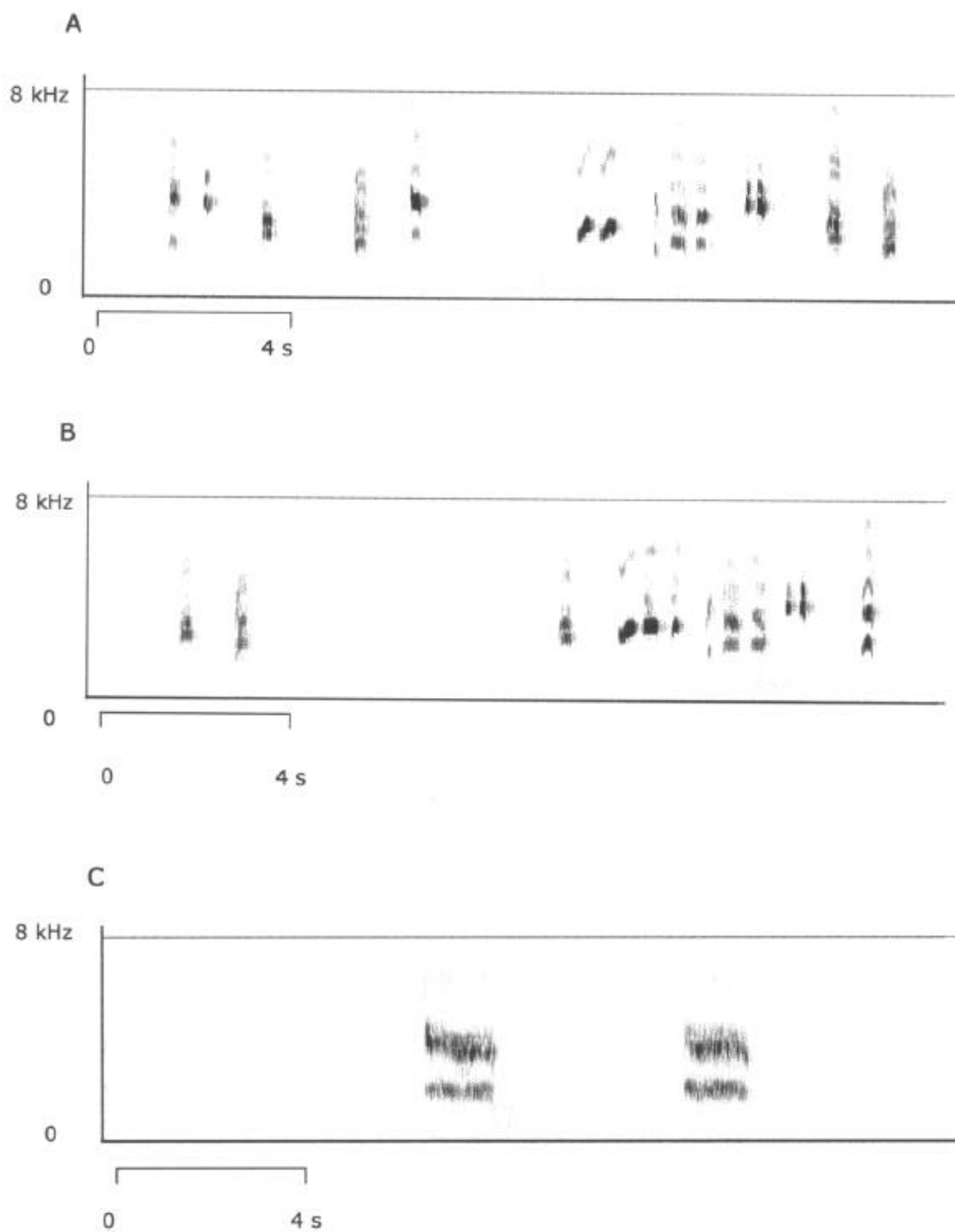
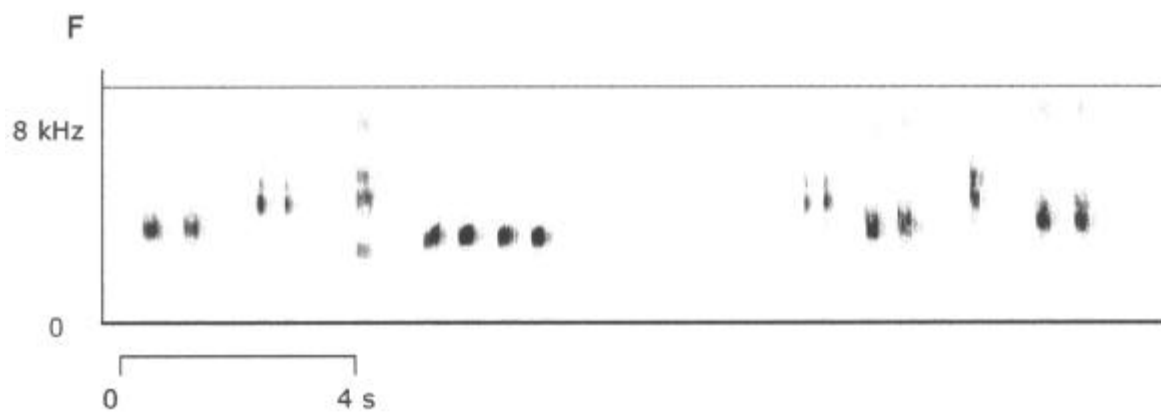
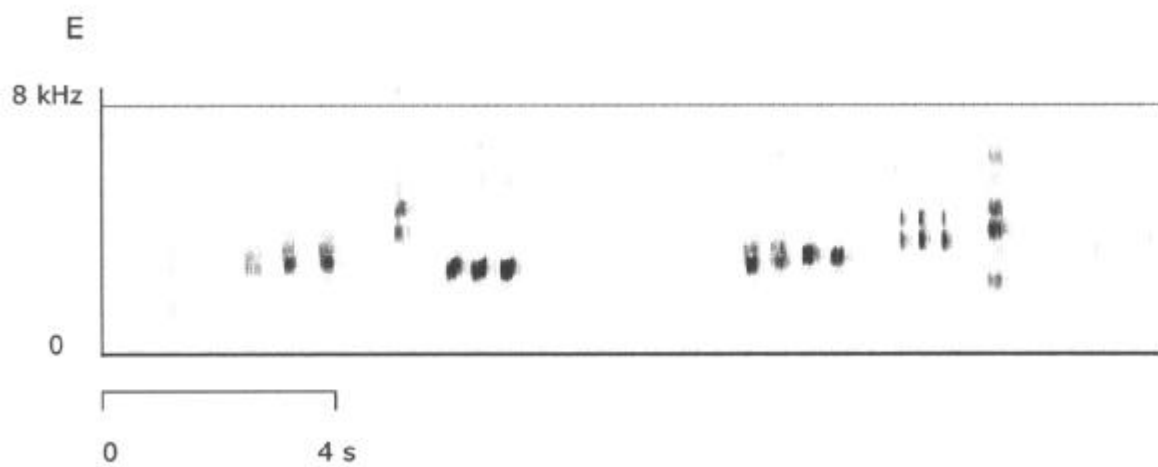
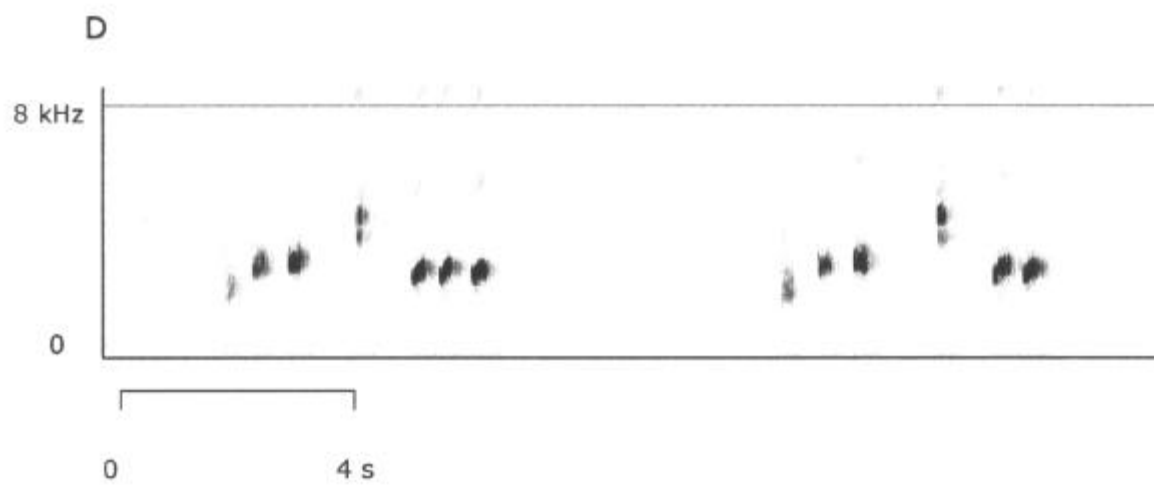


Figura 30. – Sonogramas do jovem *Turdus rufiventris* criado em isolamento acústico.





### III – DIFERENCIAÇÃO ESPECÍFICA

#### O CONCEITO DE ESPECIFICIDADE

Espécies biológicas, segundo Lamotte (1994), são “conjuntos de indivíduos praticando entre si trocas contínuas de material genético e possuindo, portanto, um patrimônio hereditário comum”. Podemos dizer então que a espécie, na sua definição biológica, é uma entidade natural e legítima, não uma convenção fruto da classificação zoológica feita pelo Homem, afirmação que o estudo da comunicação sonora tem corroborado nos últimos 30 anos, com o desenvolvimento de técnicas de registro de sons e de experimentos de “play-back”.

Como já definimos no capítulo I, o canto é o sinal acústico que funciona como reconhecimento específico. Pode-se verificar a função do canto por observação do comportamento das aves em ambiente natural e através de experimentação, particularmente a técnica do “play-back”. Essa técnica consiste na gravação do canto do indivíduo a ser testado e na observação da sua reação após a reprodução do sinal gravado. É uma ferramenta muito utilizada pelos ornitólogos para atrair e identificar espécies florestais, buscar espécies raras na natureza (ver Kroodsma *et al.* 1999), além de permitir experimentos mais sofisticados, tais como a verificação do status taxonômico (Vielliard 1990, Lampe & Baker 1994) ou a constatação da importância do canto na manutenção do território (Krebs 1977, Kroodsma 1986).

Os experimentos de “play-back” são úteis, mas nem sempre são fáceis de se executar e interpretar a resposta. Há uma diversidade grande de respostas ao “play-back”, fato mais evidente em ambiente tropical (Vielliard 1989). A resposta depende da espécie testada, dos fatores ambientais e do estado fisiológico do indivíduo (Dabelsteen 1980).

### Experimentos de “play-back” realizados com *Turdus rufiventris*

Diante da variedade de cantos de *Turdus rufiventris* da nossa amostra, fizemos tentativas para verificar a resposta ao “play-back” de indivíduos da natureza a dois extremos de repertório: um mais simples e outro mais complexo. O mais simples foi representado por uma frase contendo 8 notas de um mesmo tipo estrutural, gravação em tempo real do indivíduo 36. O canto mais complexo foi preparado com a gravação de oito notas de tipos diferentes, do indivíduo 43. A tabela abaixo sintetiza os resultados, que foram realizados em indivíduos diferentes.

Tabela IV. – Experimentos de “play-back” realizados com *Turdus rufiventris* no período reprodutivo de 1998.

<b>Data e hora</b>	<b>Local</b>	<b>Repertório</b>	<b>resposta</b>
05/10/1998 6h50	Parque da Conceição, São Paulo, SP	complexo	Parou de cantar, chacoalhou as asas e voou em direção oposta à fonte sonora.
08/10/1998 5h20	Parque da Conceição, São Paulo, SP	simples	Parou de cantar durante alguns segundos, voltou a cantar durante 1 min e foi embora.
22/10/1998 6h13	IPT, USP, São Paulo, SP	complexo	Parou de cantar e voou em direção oposta à fonte sonora.
11/10/1998 8h30	Saco do Bananal, Ilha Grande , RJ	complexo	Parou de cantar, chacoalhou as asas e cruzou voando a trilha na mesma direção da fonte sonora; não retornou ao local.
16/10/1998 10h	Trilha para Praia Lopes Mendes, Ilha Grande, RJ	complexo	Passou a cantar mais baixo por alguns segundos e foi embora.

Nossos experimentos de “play-back” com *Turdus rufiventris* demonstraram uma diversidade grande de respostas ao mesmo estímulo em indivíduos diferentes, com uma tendência a responder voando em direção à fonte sonora sem vocalizar. Porém, como vemos na tabela IV, isto não é uma regra. Seria necessário realizar experimentos em locais controlados, com indivíduos marcados e monitorados para se conhecer seu estado fisiológico e, assim, conseguir avaliar a resposta ao “play-back” de forma coerente.

A única certeza que temos é que quando se faz um experimento de “play-back” com o canto da espécie de um indivíduo em período reprodutivo, cantando nos limites de seu território, a resposta é imediata e visível. Quando se faz testes de “play-back” cruzado, ou seja, com o canto de uma espécie diferente, mesmo que o canto pareça semelhante aos nossos ouvidos, o indivíduo experimentado não emite resposta. Normalmente, representantes de uma espécie bem definida não se confundem com as outras, mesmo que filogeneticamente próximas.



## AS ESPÉCIES SINTÓPICAS

Com o objetivo de esclarecer algumas questões referentes à estrutura e organização do canto de *Turdus rufiventris*, que é o tema central desta tese, retomamos os dados do estudo de Silva e Vielliard (1994) sobre a diferenciação das espécies sintópicas do gênero *Turdus* no Brasil e incluímos os cálculos resultantes da entropia de 1º momento ( $E_1$ ) e do índice que criamos, a taxa de entropia rítmica média ( $E_f$ ), conforme descrito no capítulo I.

### Os Sabiás brasileiros

Entre os *Turdus* brasileiros, duas espécies divergem quanto ao padrão de canto do gênero. O Sabiá-ferreiro *Turdus (nigriceps) subalaris*, da região Sul do Brasil, emite uma série de notas curtas com um som peculiar metálico. O Sabiá-poliglota *T. lawrencei*, do oeste da Amazônia, é conhecido como o campeão das imitações vocais: seu canto é constituído exclusivamente de imitações de um grande número de cantos complexos de outros animais.

*T. fumigatus*, conhecido como Sabiá-verdadeiro, vive na Amazônia e na Mata Atlântica ao norte do Rio Doce, possui um canto com padrão semelhante às espécies que abordaremos neste estudo, mas faz parte de um complexo de espécies taxonomicamente indefinidas e não será incluído na presente análise.

Existem quatro espécies do gênero *Turdus* simpátricas no Sudeste do Brasil. *T. albicollis*, o Sabiá-coleira, pode ser encontrado nos ambientes estritamente florestais. As outras três espécies, *T. rufiventris* Sabiá-laranjeira, *T. leucomelas* Sabiá-branco e *T. amaurochalinus* Sabiá-pardo, vivem freqüentemente em sintopia, isto é, são espécies cujos territórios se sobrepõem, habitam ambientes florestais semi-abertos e possuem cantos semelhantes. A morfologia e a distribuição dessas espécies demonstram que não têm parentesco próximo. A discriminação visual

também não é fácil, principalmente levando em conta o ambiente onde vivem. Exceto *T. albicollis*, todos evitam florestas densas, embora *T. leucomelas* alcance as Guianas e Venezuela.

O mapa da distribuição, o desenho das quatro espécies e uma amostra de uma frase do canto estão representados nas figuras 31 a 34. Nas representações sonográficas, a abcissa indica o tempo (intervalo entre as marcas = 400 ms) e a ordenada a frequência (marcas de 0 a 10 kHz com intervalos de 2 kHz).

## **Metodologia**

Foram selecionadas gravações de três indivíduos de cada espécie a partir do material existente no Arquivo Sonoro Neotropical da Universidade Estadual de Campinas. Para não haver discrepâncias nos dados, sorteamos apenas três indivíduos de *T. rufiventris* para fazer parte dessa análise entre as quatro espécies sintópicas. Os valores da média de cada medição, a localidade, a designação do indivíduo, o número total de notas e o tamanho do repertório estão dispostos na tabela V.

As análises bioacústica e matemática foram realizadas de acordo com o descrito em Material e Métodos, assim como a produção do dendrograma do final desse capítulo.

## **Análise dos parâmetros**

Empiricamente, os ornitólogos de campo diferenciam as espécies em função da impressão global que têm do canto. A gigantesca variação individual demonstra que há um número infinito de estruturas de nota e não existem notas típicas para cada espécie. A seqüência com que as notas são emitidas e a duração das frases são igualmente variáveis. Dessa forma, nossos dados focalizaram os parâmetros de organização temporal, a frequência máxima e mínima da faixa de emissão,  $E_1$  e  $E_f$ .

Figura 31. – Desenho, mapa de distribuição e exemplo de sonograma de *Turdus rufiventris*.

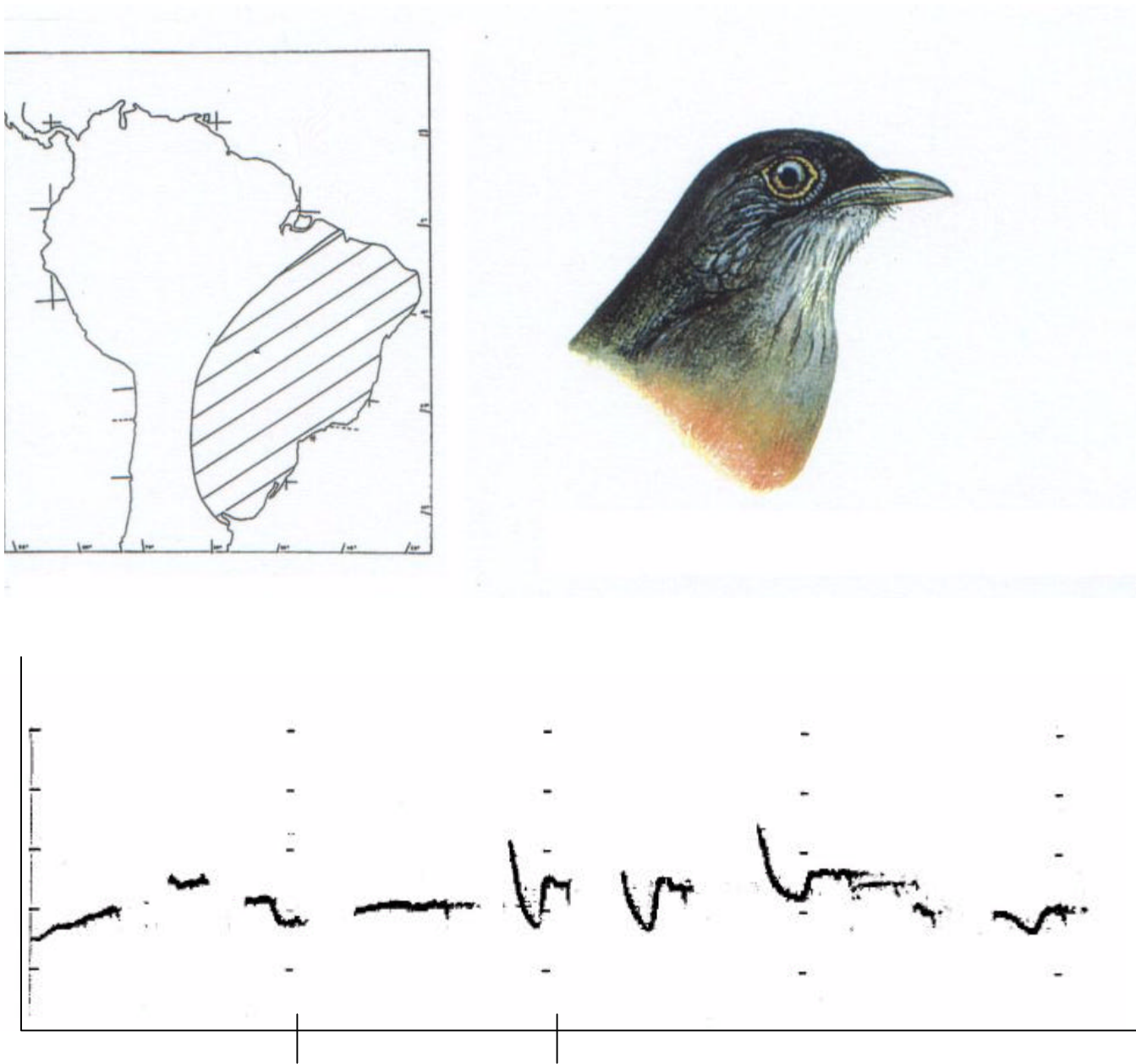


Figura 32. – Desenho, mapa de distribuição e exemplo de sonograma de *Turdus leucomelas*.

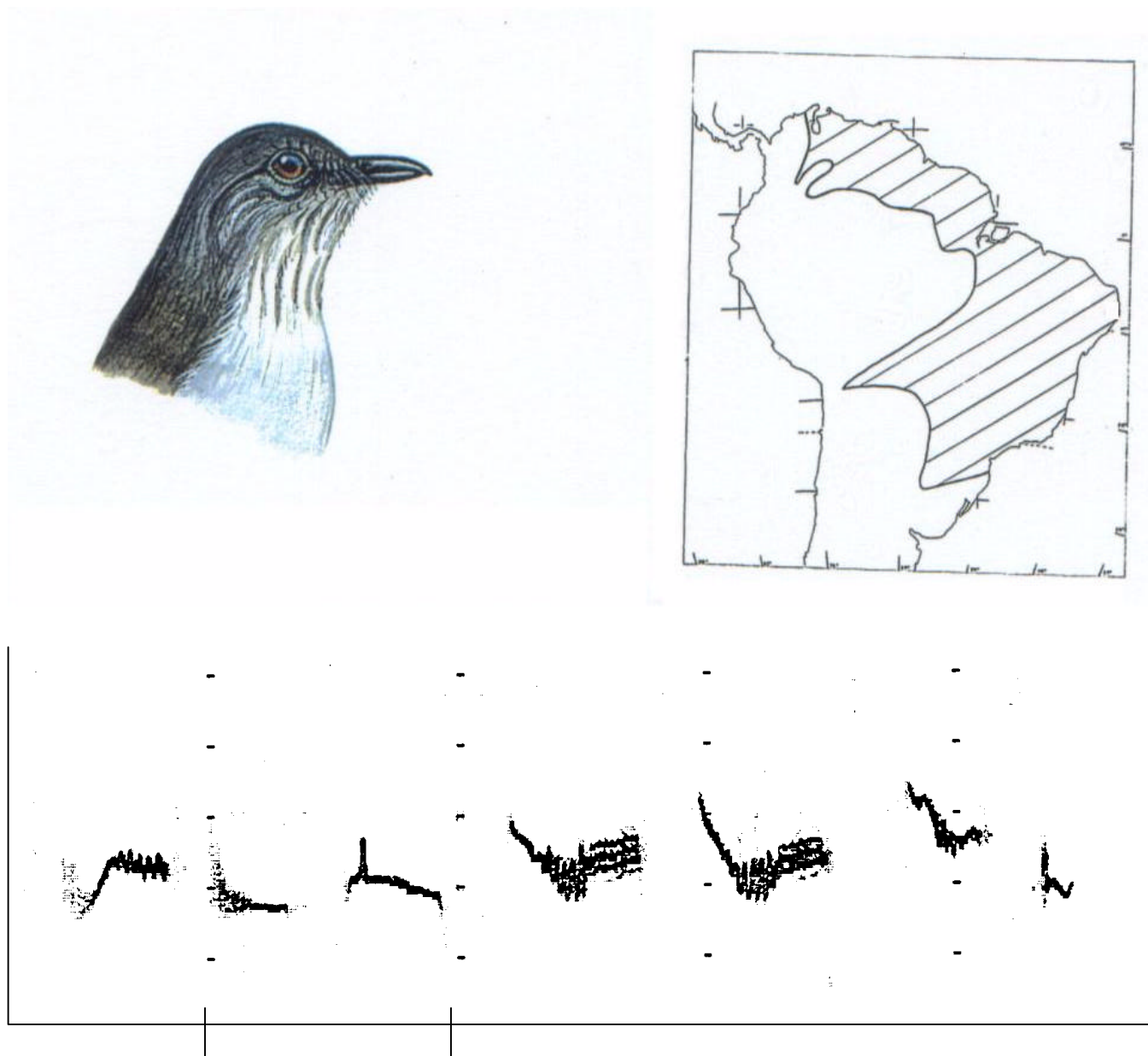


Figura 33. - Desenho, mapa de distribuição e exemplo de sonograma de *Turdus amaurochalinus*.

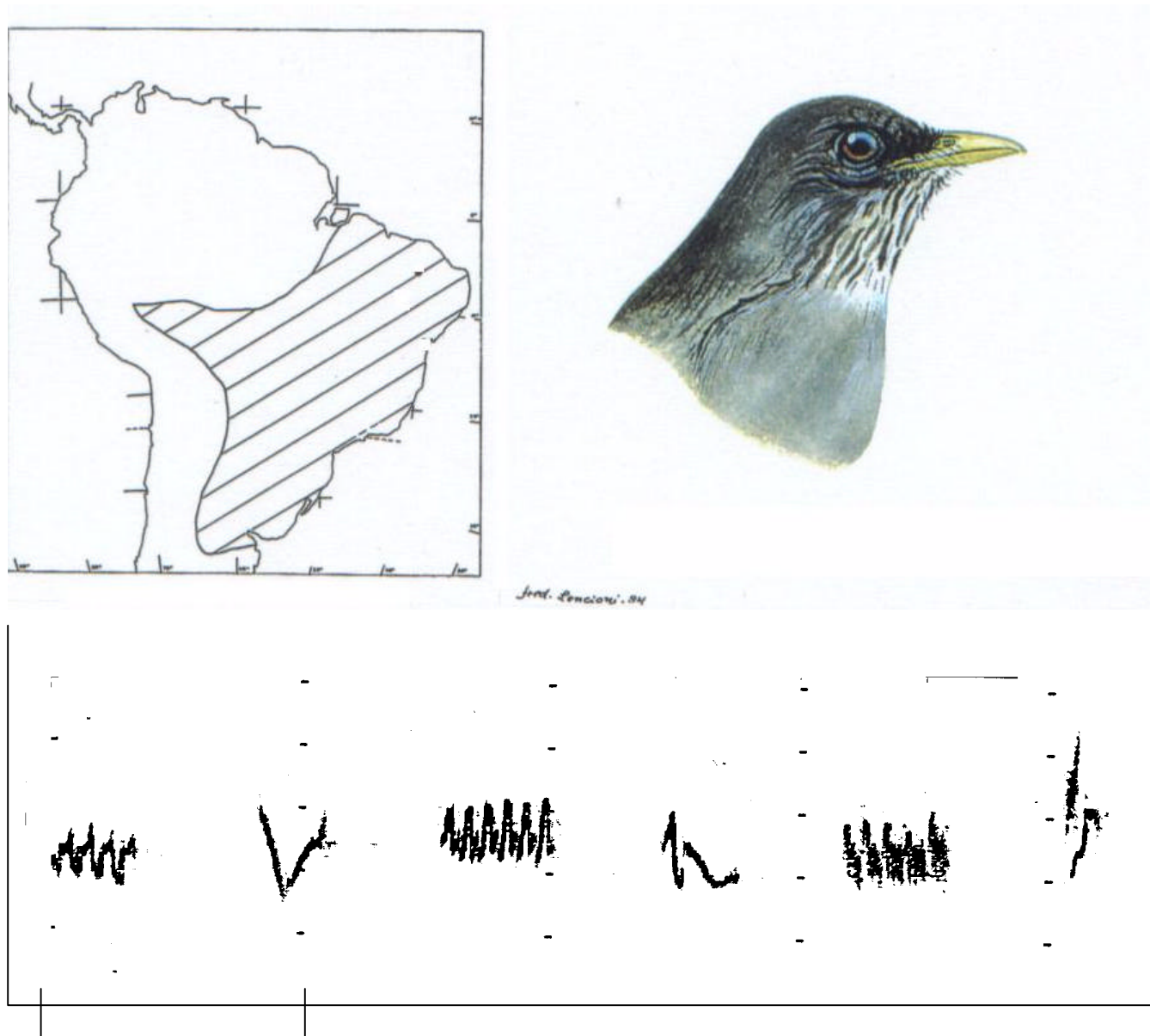


Figura 34. – Desenho, mapa de distribuição e exemplo de sonograma de *Turdus albicollis*.

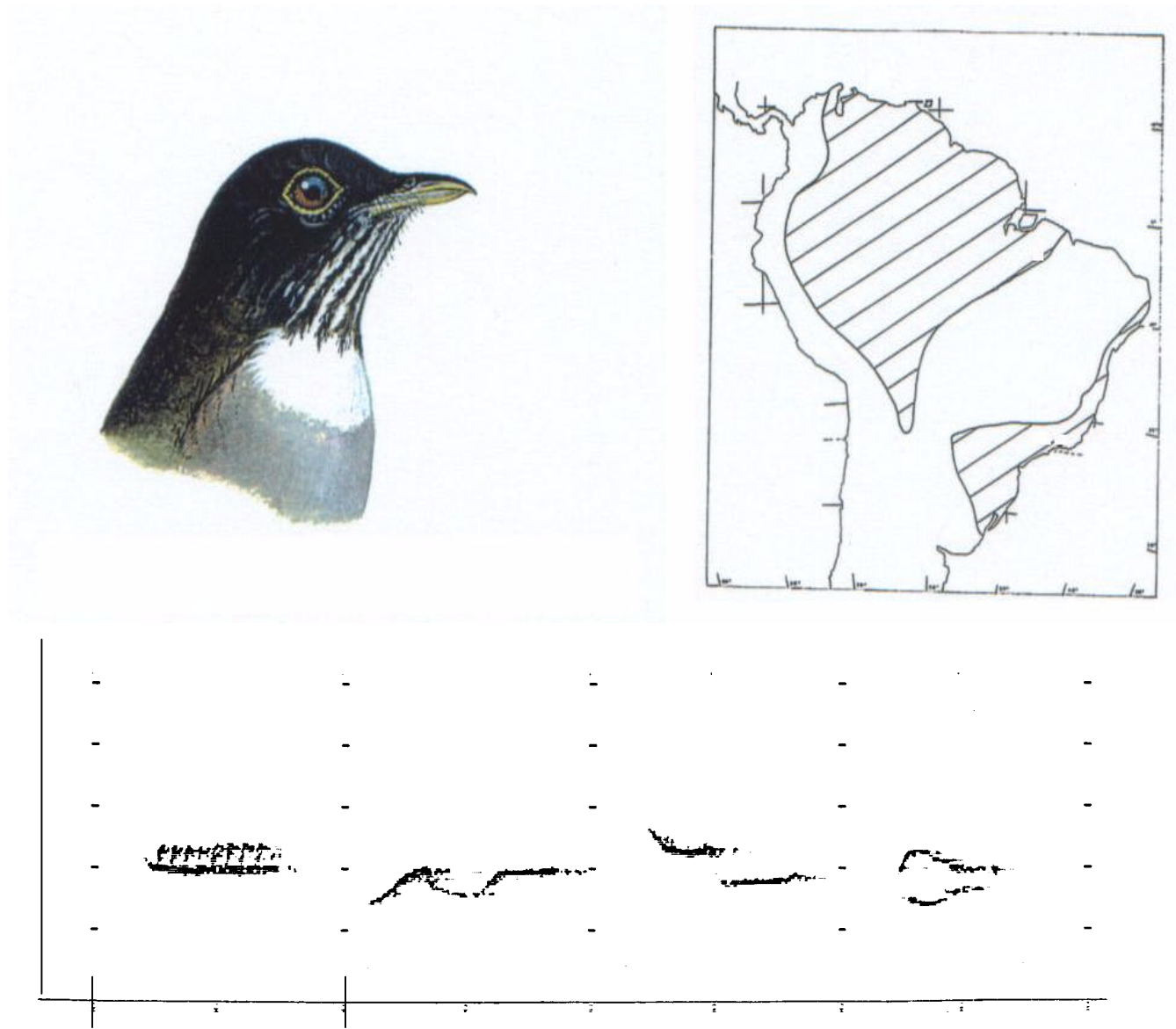


Tabela V. - Identificação e medições das 4 espécies sintópicas do gênero *Turdus*: *T. rufiventris*, *albicollis*, *leucomelas* e *amaurochalinus*.

<b>espécie</b>	<b>localidade</b>	<b>duração</b>	<b>intervalo</b>	<b>Notas/s</b>	<b>Fmax</b>	<b>Fmin</b>	<b>E<sub>1</sub></b>	<b>E<sub>max1</sub></b>	<b>E<sub>1</sub>/E<sub>MAX1</sub></b>	<b>EF</b>	<b>N. total de notas</b>	<b>repertório</b>
<i>rufiventris</i> 1	Crato, CE	216	161	2,77	2903	1759	3,942	4,700	0,839	10,919	164	26
<i>rufiventris</i> 2	I. Cardoso, SP	215	184	2,99	2658	1900	3,783	4,755	0,796	11,312	850	27
<i>rufiventris</i> 3	Poconé, MT	287	187	2,35	2574	1653	4,392	5,170	0,850	10,322	440	36
<i>leucomelas</i> 1	Igarassu, PE	397	208	1,69	2938	1613	4,020	4,755	0,845	6,794	850	27
<i>rufiventris</i> 2	Exu, PE	239	270	2,21	2728	1840	4,159	5,000	0,832	9,191	122	32
<i>rufiventris</i> 3	Igarassu, PE	327	281	1,72	2826	1640	4,586	5,000	0,917	7,888	93	32
<i>amaurochalinus</i> 1	Juazeiro, BA	236	250	2,07	3689	2000	5,410	5,858	0,924	11,199	281	58
<i>amaurochalinus</i> 2	Camaçari, BA	296	348	1,58	3195	1950	4,131	4,459	0,926	6,527	66	22
<i>amaurochalinus</i> 3	Exu, PE	254	373	1,70	3371	1901	4,996	5,358	0,933	8,493	192	41
<i>albicollis</i> 1	Picinguaba, SP	502	248	1,35	2477	1608	3,543	3,700	0,957	4,783	24	13
<i>albicollis</i> 2	Paroir, MA	439	504	1,07	2102	1591	3,823	4,087	0,935	4,091	47	17
<i>albicollis</i> 3	Jundiai, SP	459	276	1,37	2327	1640	4,094	4,248	0,964	5,609	45	19

A figura 35 mostra os valores da média e do desvio-padrão do tamanho do repertório das espécies referidas. *Turdus rufiventris* e *T. leucomelas* apresentaram valores da média do repertório estatisticamente iguais ( $29,7 \pm 5,5$  e  $30,3 \pm 2,9$  tipos de notas, respectivamente), porém a variação é menor em *T. leucomelas*. *T. amaurochalinus* mostrou o maior tamanho de repertório (média de  $40,3 \pm 18$ ) e a maior variação, enquanto *T. albicollis* apresentou o menor valor ( $16,3 \pm 3,0$ ) e significativamente diferente das outras espécies.

Os valores de  $E_1$  apresentados na figura 36 mostram que a variação entre as espécies não é significativa e seguem o padrão do repertório. Os valores de variância de  $E_1$  para *T. albicollis* apresentam-se maiores que os relativos ao tamanho do repertório.

Quanto aos parâmetros temporais, as figuras 37 a 39 mostram os valores da média e variância da duração das notas, do intervalo de tempo entre as emissões e do número de notas emitidas por segundo. *T. albicollis* apresentou as notas mais longas ( $467 \pm 32$  ms) enquanto que *T. rufiventris* teve as mais curtas ( $239 \pm 41$  ms). *T. leucomelas* e *T. amaurochalinus* apresentaram valores semelhantes, com variância maior no primeiro ( $321 \pm 79$  e  $262 \pm 31$  ms, respectivamente). *T. rufiventris* apresentou intervalo de tempo entre as notas significativamente mais curto que as outras espécies ( $177 \pm 14$  ms). O intervalo mais longo ficou para *T. albicollis* ( $342 \pm 140$  ms), seguido de *T. amaurochalinus* ( $324 \pm 65$  ms) e *T. leucomelas* ( $253 \pm 39$  ms). O ritmo de canto, representado pelo número de emissões por segundo, constitui a síntese dos parâmetros temporais; ele é significativamente mais rápido em *T. rufiventris* ( $2,7 \pm 0,3$  Hz) comparando-se os valores encontrados para as outras espécies: *T. leucomelas* ( $1,87 \pm 0,3$  Hz), *T. amaurochalinus* ( $1,78 \pm 0,2$  Hz) e *T. albicollis* ( $1,26 \pm 0,16$  Hz), esta última significativamente mais lenta.

Os valores da média encontrados para frequência mínima e máxima e desvio-padrão das espécies estudadas estão representados em Hz na figura 40. As frequências mais altas estão no canto de *T. amaurochalinus*



( $1950 \pm 50$  e  $3418 \pm 250$  Hz) e as mais baixas para *T. albicollis* ( $1613 \pm 25$  e  $2302 \pm 188$  Hz). *T. rufiventris* e *T. leucomelas* apresentam valores das frequências mínimas ( $1771 \pm 123$  e  $1698 \pm 124$  Hz, respectivamente) e máximas ( $2712 \pm 170$  e  $2831 \pm 105$  Hz, respectivamente) muito semelhantes.

A combinação entre o ritmo e a entropia é representada por  $E_f$ , cujos valores da média e variância por espécie estão mostrados na figura 41. *T. rufiventris* apresentou o maior  $E_f$  ( $10,85 \pm 0,5$ ), seguido de *T. amaurochalinus* ( $8,74 \pm 2,34$ ) e de *T. leucomelas* ( $7,96 \pm 1,2$ ), esses dois últimos muito semelhantes entre si. *T. albicollis* possui  $E_f$  significativamente menor que o das outras espécies ( $4,83 \pm 0,8$ ).

### **Análise de conglomerados**

Utilizando os parâmetros temporais, os valores das frequências máximas e mínimas e de  $E_1$  e  $E_f$ , fizemos uma análise de conglomerados e construímos um dendrograma (fig. 42). De acordo com o que foi descrito na seção de Material e Métodos, utilizamos a distância euclidiana como método de medição de distância e o *complete linkage* como regra de ligação entre os grupos.

No primeiro nível de separação, formam-se dois grupos distintos: o primeiro com os três indivíduos de *T. amaurochalinus* e o segundo grupo com as outras espécies. Posteriormente o segundo agrupamento subdivide-se em outros dois: um com todos os indivíduos de *T. albicollis* e o outro com *T. rufiventris* e *T. leucomelas*.

O grupo com os indivíduos de *T. amaurochalinus* apresenta-se dividido em dois sub-grupos: um com o indivíduo 1, de Juazeiro, o outro com os indivíduos 2 e 3 de Camaçari e Exu respectivamente. O ind. 1 dessa espécie tem um repertório muito maior que o dos outros, composto por 58 tipos diferentes de notas. Sua entropia também é a mais alta da amostra (5,4), assim como os valores da média das frequências máximas

e mínimas (3.689 e 2.000 Hz). O  $E_f$  também é um dos mais altos (11,2), em função de  $E_1$  e não do ritmo, que é mais lento (2,07) que o dos outros da mesma espécie (ind. 2 = 1,58 e ind. 3 = 1,70). Os indivíduos 2 e 3 de *T. amaurochalinus* têm mais afinidade entre si quanto aos parâmetros temporais (ver tabela V) e de frequência, mas possuem repertórios bem diferentes (ind. 2 = 22 e ind. 3 = 41), embora os valores da entropia não ressaltem tanto essa diferença como os valores de  $E_f$  (ver tabela V).

O agrupamento formado pelos indivíduos de *T. albicollis* demonstrou que existe maior afinidade entre os indivíduos 1 e 3, isolando o indivíduo 2, o de ritmo mais lento desse grupo e da amostra (1,07). Esse indivíduo apresenta os valores mais baixos de frequência e  $E_f$  (ver tabela V), mas o indivíduo 1 apresenta repertório e  $E_1$  menores, com ritmo muito semelhante ao do indivíduo 3.

Os parâmetros analisados não foram suficientes para separar *T. rufiventris* e *T. leucomelas*, que se subdividiram em dois grupos: o primeiro com *T. leucomelas* 1, 3 e *T. rufiventris* 1; o segundo com *T. leucomelas* 2, *T. rufiventris* 2 e 3. As duas espécies se assemelham quanto ao tamanho de repertório, entropia e frequência máxima e mínima (ver tabela V). Porém *T. rufiventris* possui ritmo mais rápido,  $E_f$  maior e intervalo e duração das notas menores que *T. leucomelas*. Mas a presença da enorme diferença individual entre as duas espécies impediu a sua separação em função dos parâmetros analisados, pois o indivíduo 1 de *T. rufiventris* tem repertório, frequências e  $E_1$  muito semelhantes aos indivíduos 1 e 3 de *T. leucomelas*. O *T. leucomelas* 2 tem o ritmo mais rápido em comparação aos outros indivíduos da mesma espécie, tendo assim mais afinidades com o *T. rufiventris* 2, além dos valores de frequência serem muito semelhantes entre esses dois indivíduos. O *T. rufiventris* 3 tem a maior entropia e o maior repertório entre os de sua espécie, mas o ritmo é mais lento, em função do intervalo de tempo maior entre as notas.

Verificamos que *T. rufiventris* tem o canto mais contínuo e de ritmo mais rápido, enquanto *T. albicollis* é o mais lento, diferença perceptível auditivamente e através das medidas. *T. leucomelas* e *T. amaurochalinus* não são discrimináveis por esses parâmetros temporais, embora o último seja acusticamente diferenciado pela alta relação intervalo/duração da nota.

Quanto à faixa de frequência do canto, *T. amaurochalinus* apresenta as frequências mais altas, enquanto que *T. albicollis* as mais baixas. Embora cada espécie seja discriminada pela combinação dos valores de frequência, as diferenças são muito difíceis de perceber acusticamente.

Auditivamente, podemos verificar que *T. leucomelas* repete mais seguidamente a mesma nota que *T. rufiventris*, além do primeiro emitir mais notas compostas por trinados, mas essa observação não foi quantificada.

## **Conclusão**

A medição dos parâmetros bioacústicos, a entropia de 1º momento e a taxa de entropia rítmica média não foram suficientes para a completa discriminação do canto dessas quatro espécies sintópicas. Mesmo que tivéssemos amostras maiores para todas as espécies, cresceria ainda mais a variação inter-individual e os parâmetros específicos continuariam a ser mascarados. A análise de conglomerados foi eficiente para demonstrar a existência dos grupos específicos *T. amaurochalinus* e *T. albicollis*, mas demonstrou a semelhança entre *T. rufiventris* e *T. leucomelas*.

Pensamos que a função de reconhecimento específico pode estar ligada não somente ao conjunto dos parâmetros acústicos, mas também codificada na forma estrutural das notas e suas seqüências.

Figura 35. – Repertório das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

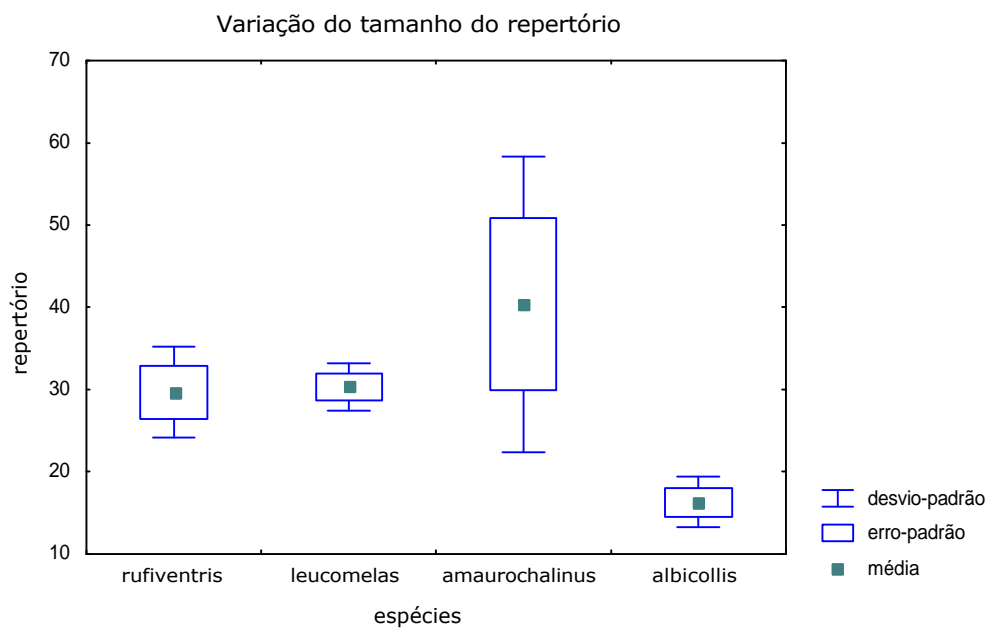


Figura 36. –  $E_1$  das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

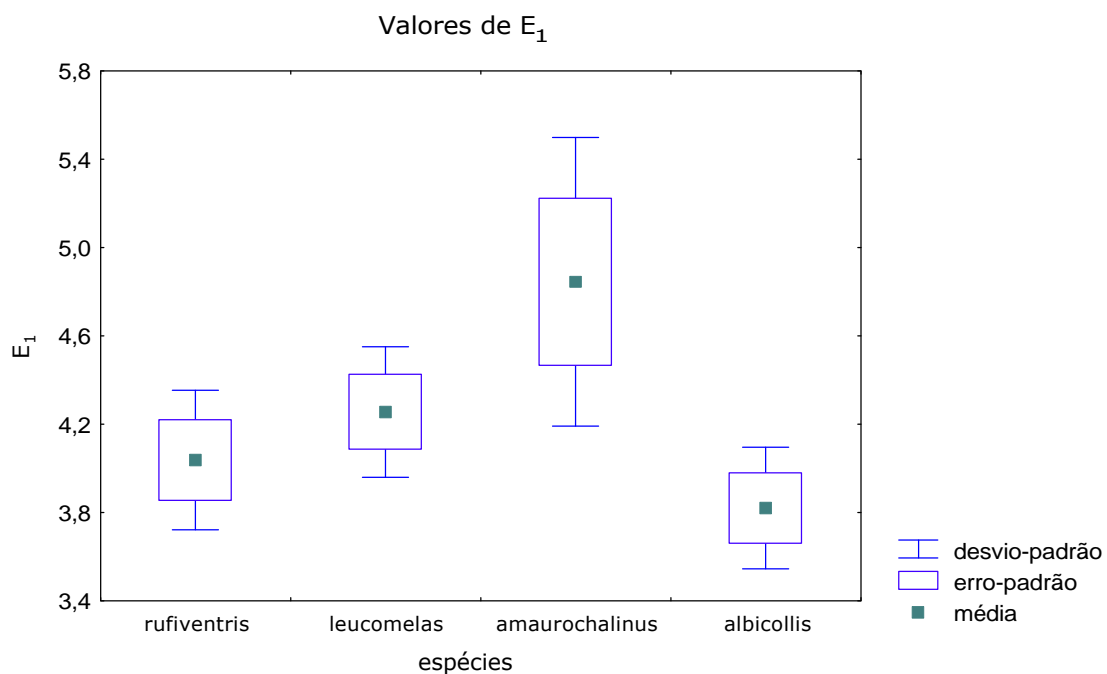


Figura 37. – Duração das notas das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

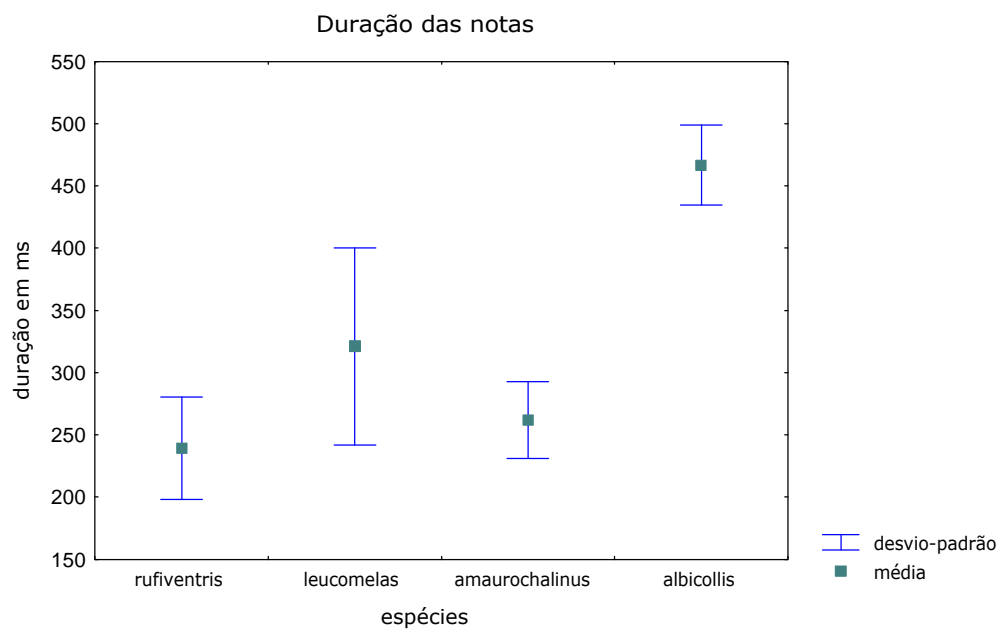


Figura 38. – Intervalo entre as notas das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

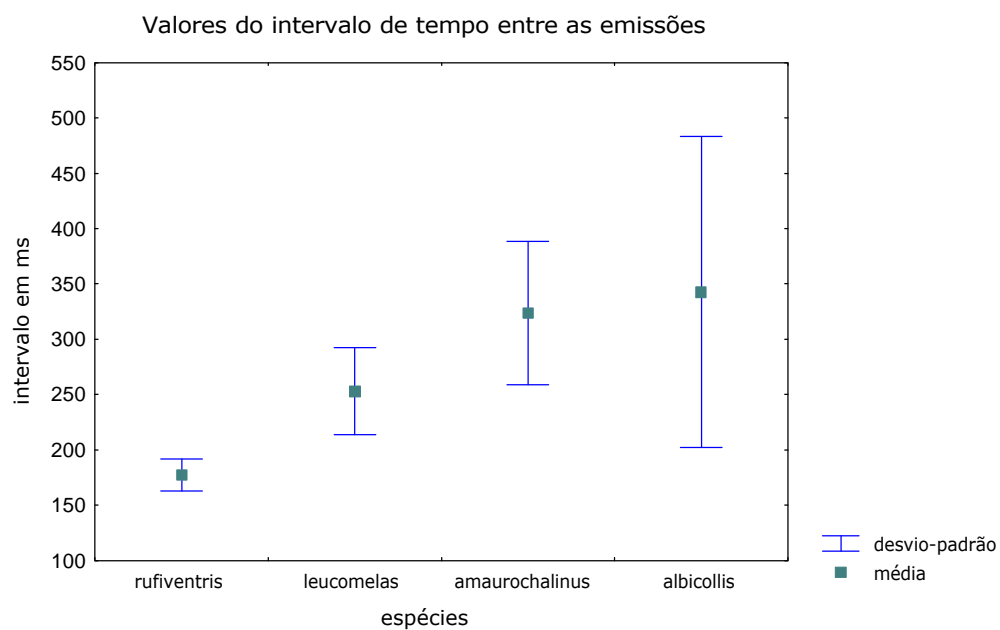


Figura 39. – Número de notas por segundo das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

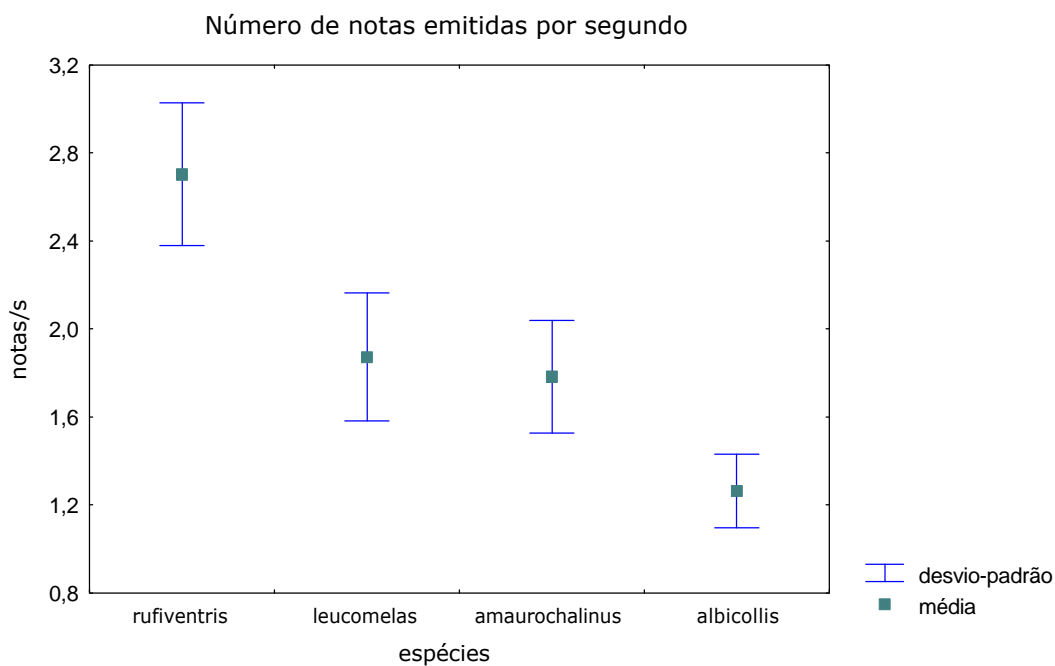


Figura 40. – Frequências das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

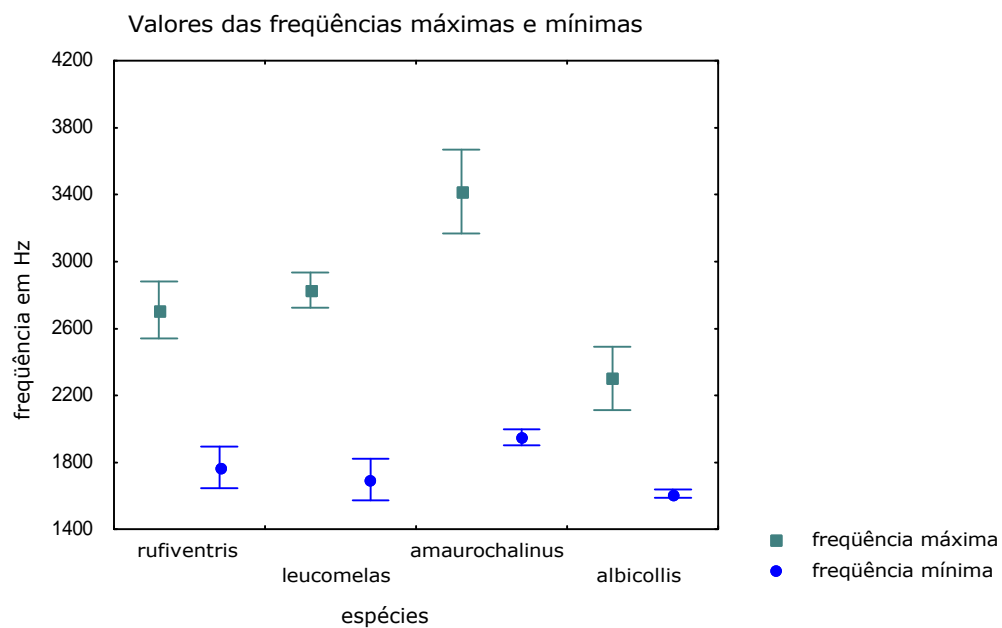


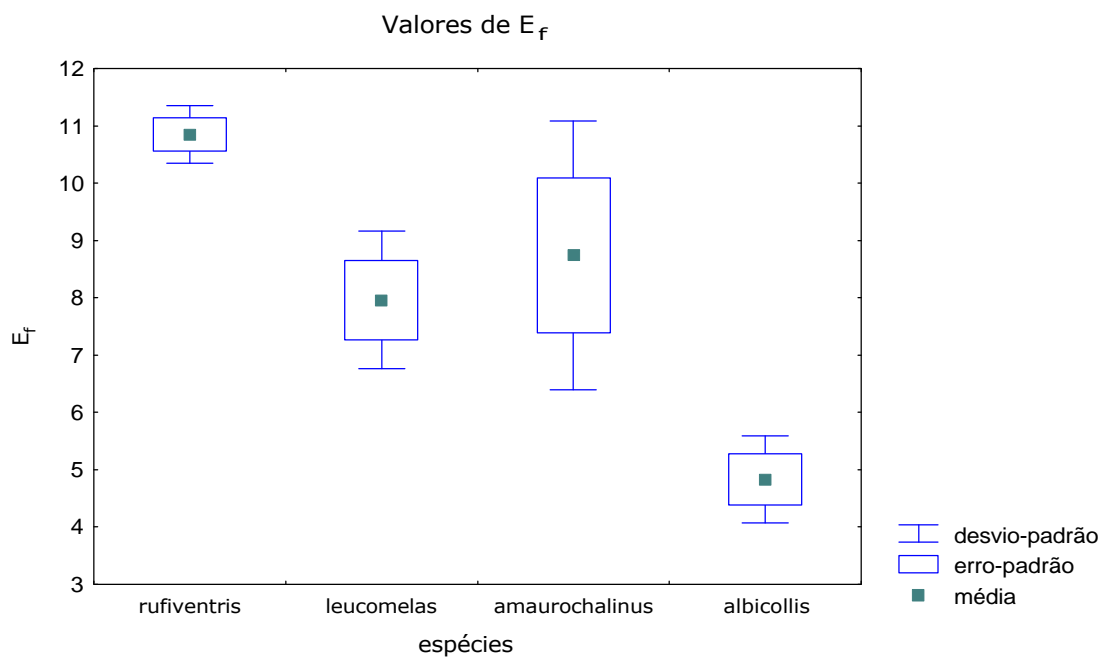
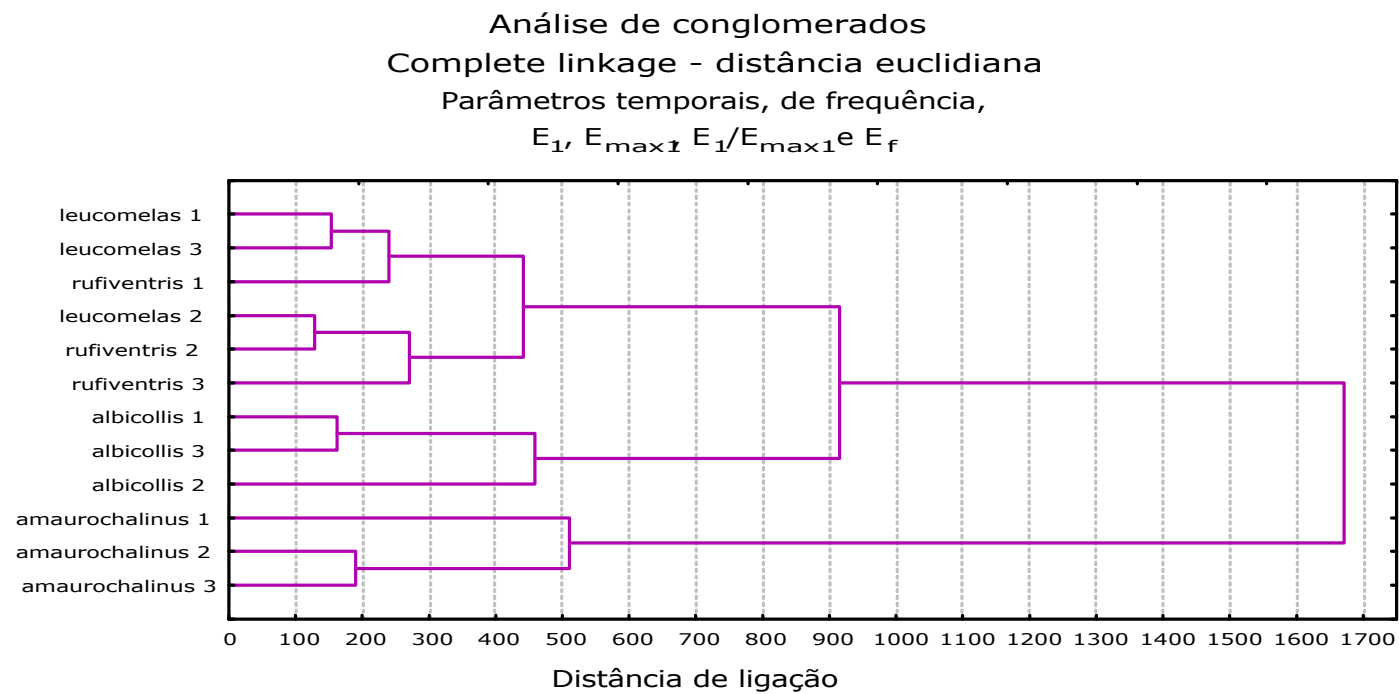
Figura 41. –  $E_f$  das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

Figura 42. – Dendrograma das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.





## **IV. – ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO CANTO DO SABIÁ-LARANJEIRA**

### **ANÁLISE DE CONGLOMERADOS**

A análise de conglomerados (*cluster analysis* em inglês) é um termo geral utilizado para uma grande variedade de técnicas analíticas de busca de “grupos naturais”, “partições naturais”, “estruturas categorizadas”, entre outras, quando existem dados quantitativos (De Gheff 1978). Esse termo incorpora um número de algoritmos de diferentes classificações. A análise de conglomerados não é sempre multivariada, mas pode ser uma ferramenta para descoberta das relações que existem nos dados de uma situação multivariada (ver De Gheff 1978). Dessa forma, essa análise pode mostrar a estrutura inerente dos dados, sem que seja necessária nenhuma interferência, como por exemplo, especificar o número de grupos que se deseja ter para uma determinada amostra. Os grupos formar-se-ão naturalmente, através da busca da solução mais significativa possível (Statsoft 1999).

Pesquisadores de diversas áreas têm de descobrir como organizar dados observados em uma estrutura com determinada expressão, fato que desenvolveu a taxonomia. A análise de conglomerados pode ser utilizada em muitas outras áreas, além da taxonomia animal: na medicina, para identificar doenças a partir da sintomatologia; na arqueologia, para estabelecer taxonomias diante das ferramentas de pedra e objetos funerais; na etologia, no estabelecimento da organização do comportamento e, como demonstraremos a seguir, para entender a organização de cantos complexos, tal o do Sabiá-laranjeira.

## CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

Conforme descrito na seção de Material e Métodos, utilizamos a distância euclidiana como método de medição de distância e o *single linkage* como regra de ligação entre os grupos. Para nossa amostra de 44 indivíduos, utilizamos os valores dos seguintes parâmetros: as relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  e  $E_f$ , que estão disponíveis no anexo 1.

Como podemos observar no dendrograma produzido (fig. 43), a primeira repartição ocorre entre o indivíduo 36 e o resto da amostra. Esse indivíduo é colocado à parte por ser o único a apresentar valor zero para todos os parâmetros considerados, já que possui uma única nota em seu repertório.

Na segunda divisão, aparece um grupo formado dos indivíduos 44, 31 e 43, todos gravados no município de Caraguatatuba. O indivíduo 44 mantinha seu território imediatamente ao lado do 43, em uma mata de restinga, mas está mais próximo do indivíduo 31, que mantinha seu território a mais de 20 km de distância e num habitat diferente, no sopé da Serra do Mar. O outro indivíduo proveniente de Caraguatatuba, o de número 42, foi separado em outro grupo, já que apesar de ter um ritmo de canto semelhante aos outros, possui valores de  $E_1$  e  $E_f$  menores. Assim, os indivíduos 44, 31 e 43 estão no grupo dos que têm  $E_2/E_{\max 2}$  próximos de 0,88 e os mais altos valores de  $E_f$ , próximos de 13 (13,30; 13,14; 12,91 respectivamente).

O outro agrupamento da segunda divisão é subdividido em 2 grupos: um formado pelo indivíduo 1 e outro pelo restante da amostra. O indivíduo 1 apresenta as relações entre as entropias observadas e máximas abaixo de 50% e  $E_f$  menor que 3, características únicas na nossa amostra, correspondendo a um canto de ritmo lento e redundante.

Na quarta divisão, observamos três grupos. O primeiro é formado pelos indivíduos 32 e 33, apresentando valores de  $E_f$  de 3,83 e 3,31 respectivamente. O segundo grupo é composto pelos indivíduos 21, 8, 11,

39, 6, 38, 34, 35, 7, 15, 4, 23, 30, 12, 25, 24, 27, 10 e 5, cujos valores de  $E_f$  variam de 4,58 a 8,41. O terceiro grupo inclui os indivíduos 18, 2, 19, 14, 29, 20, 16, 28, 17, 42, 37, 9, 41 e 13, que possuem valores de  $E_f$  variando de 9,41 a 11,30.

A separação dos subgrupos do segundo grupo da quarta divisão não é bem clara quanto aos indivíduos 4 e 15, mas podemos dizer que há 6 grupos nessa etapa: no primeiro encontramos somente o indivíduo 21, o segundo é formado pelos indivíduos 8, 11, 39, 6, 38, 35, 34, 7 e 15, o terceiro pelo indivíduo 4 isolado, o quarto pelos indivíduos 23, 30, 12, 25, 24, 27, 10 e 5, o quinto inclui 22, 3 e 40 e o último, o 26 isolado.

O indivíduo 21, proveniente de Piracanjuba, apresenta um canto com apenas 6 tipos de notas, porém possui entropia baixa em relação aos outros da amostra; as relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são a terceira mais baixa da amostra. O valor de  $E_f$  desse indivíduo é baixo (4,58) e muito diferenciado dos outros: o valor mais próximo inferior é de 3,83 (ind. 32), o superior é de 5,14 (ind. 15).

O indivíduo 4 também ficou isolado nesse grupo por apresentar a relação  $E_2/E_{\max 2}$  mais baixa da amostra (0,40), excetuando o indivíduo 36 que apresentou valor zero.

O outro indivíduo isolado, o de número 26 proveniente da Estancia El Destino, província de Buenos Aires, Argentina, possui um valor de  $E_f$  diferenciado: 8,41, o inferior mais próximo é de 7,90 (ind. 40), o superior é de 9,41 (ind. 37).

O subgrupo formado pelos indivíduos 15, 7, 34, 35, 38, 6, 39, 11 e 8 divide-se da seguinte forma: o indivíduo 15 é separado dos outros e, embora sua  $E_1$  seja baixa resultando em um  $E_f$  menor que o dos outros do grupo (5,14), as relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são similares, correspondendo a um canto de repertório pequeno e baixa previsibilidade. O indivíduo 8 possui os valores dos parâmetros estudados nessa análise semelhantes aos do indivíduo 15, mas o diferencial está no ritmo, mais

rápido, alterando o valor de  $E_f$ . Os indivíduos 11 e 39, do Rio de Janeiro e Pelotas, respectivamente, possuem pequenas diferenças considerando os valores das relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$ , porém  $E_f$  de mesmo valor. Entre os indivíduos 38 e 6 os valores de todos os parâmetros são muito próximos, e  $E_f$  com diferença da ordem de 0,11. O grupo formado pelos indivíduos 7, 34 e 35 apresenta valores de  $E_f$  semelhantes (5,88, 5,97 e 6,19 respectivamente), sendo o 35 separado dos outros, posteriormente, por apresentar um diferencial no valor da relação  $E_1/E_{\max 1}$  (0,72, contra 0,90 para 7 e 34).

O grupo formado pelos indivíduos 23, 30, 12, 25, 27, 10 e 5 se subdivide em 3 da seguinte forma: 5, 10 e 27 que possuem valores de  $E_f$  próximos (7,41 para o 5; 7,48 para os outros dois), e o indivíduo 5 diferencia-se dos outros pelo valor da relação  $E_2/E_{\max 2}$  ser mais alta (0,97; 0,87 para o ind. 27 e 0,94 para o ind. 10.) e pela relação  $E_1/E_{\max 1}$  ser mais baixa (0,86, enquanto que o valor para o ind. 27 é de 0,90 e 0,93 para o 10). Os indivíduos 5 e 10 são de Itabuna, o 27 é da Reserva Costanera Sur, Argentina. Esse último é mais semelhante ao 10 que o indivíduo 5 da mesma localidade. O indivíduo 24 está separado dos outros basicamente pelo valor mais alto da relação  $E_2/E_{\max 2}$  (0,96). O terceiro subgrupo reúne os indivíduos 23, 30, 12 e 25, dos quais se assemelham quanto aos valores da relação  $E_2/E_{\max 2}$  (0,83 para o indivíduo 25, 0,84 para o indivíduo 30 e 0,87 para o indivíduo 23, enquanto o indivíduo 12 diferencia-se nesse parâmetro apresentando valor de 0,92) e de  $E_f$  (varia de 7,09 a 7,29 para esse grupo).

Os indivíduos 40, 3 e 22 formam um grupo cujos valores de  $E_f$  variam de 7,71 a 7,90, esse último valor do indivíduo 40, que o separa dos outros na última subdivisão.

O último grupo descrito, o terceiro da quarta divisão, é subdividido em outros três: o primeiro com os indivíduos 18, 2, 19 e 14, com valores de  $E_f$  variando de 10,91 a 11,30. O indivíduo 14 possui os valores das relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  mais baixos que os outros (respectivamente

0,80 e 0,76) e, embora o indivíduo 2 seja o que mais se aproxima desses valores (0,84 e 0,81), forma um subgrupo com o indivíduo 18, em função dos valores de  $E_f$  (10,92 para ambos) e o indivíduo 14 se agrupa ao 19 ( $E_f$  de 11,3 para ambos). O próximo grupo é formado pelos indivíduos 29, 20, 16, 28, 17 e 42, com  $E_f$  variando de 10,25 a 10,54. Os indivíduos 29 e 20 formam um subgrupo muito coeso, com os valores de todos os parâmetros muito semelhantes, assim como os indivíduos 16 e 28. O indivíduo 17 não se agrupou muito bem com o 42, em função da diferença maior no valor de  $E_f$  (diferenças de 0,1 em  $E_f$ , contra 0,03 para  $E_1/E_{max1}$  e 0,04 para  $E_2/E_{max2}$ ).

O último aglomerado descrito é o formado pelos indivíduos 13, 41, 9 e 37. Os dois primeiros indivíduos possuem maiores semelhanças quanto aos parâmetros estudados, formando um subgrupo coeso. O indivíduo 9 é o mais próximo a esse subgrupo, em função de  $E_f$  (9,65, enquanto que para o indivíduo 13 o valor é de 9,78 e para o 41 é de 9,90). O indivíduo 37 se distancia dos outros com  $E_f$  mais baixo (9,41) e as relações  $E_1/E_{max1}$  e  $E_2/E_{max2}$  com valores mais altos que dos outros.

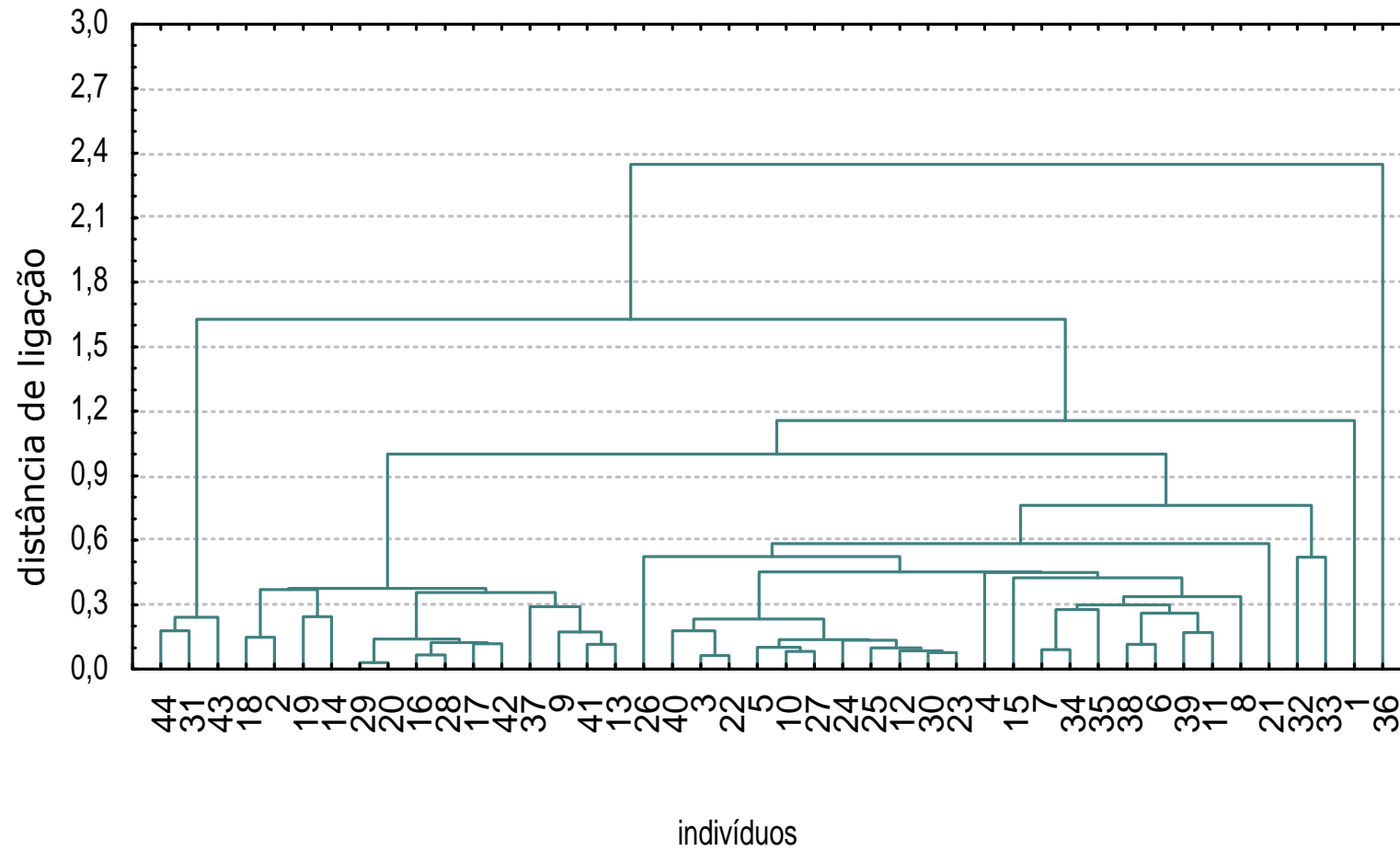
Aparentemente os parâmetros estudados nesta análise de conglomerados e a densidade populacional não apresentam relação notável, informação que tínhamos definido na dissertação de Mestrado (Silva 1997) já que, considerando os subgrupos mais distantes entre si, o indivíduo 36 com entropia zero e o subgrupo dos indivíduos 44, 31 e 43 com os mais altos valores de  $E_f$ , ambos vivem em ambientes com densidade populacional alta. Não houve relação notável entre as subdivisões apresentadas e o habitat, classificado em urbano ou florestal, nem com as localidades.

Figura 43. – Dendrograma dos 44 indivíduos de *Turdus rufiventris*.

# Dendrograma

Single linkage - distância euclidiana

Parâmetros:  $E_1/E_{\max 1}$ ,  $E_2/E_{\max 2}$  e  $E_f$



## ÍNDICE DE INTERAÇÕES

Esse índice corresponde ao cálculo da relação entre o número real de notas duplas de um indivíduo, que são os elementos utilizados na obtenção de  $E_2$ , e o número de interações possíveis a partir do repertório individual.

Índice de interações ( $I_t$ )

Interações reais (R)

Interações possíveis (P)

$$I_t = \frac{R}{P}$$

O maior índice de interações possível tem valor 1 e significa que o número observado de combinações de notas duplas é igual ao número máximo possível. Esse índice reforça os resultados obtidos com o cálculo da entropia de 2º momento, que demonstra que a distribuição das freqüências das notas duplas pode ser mais ou menos previsível.

Dispusemos em ordem decrescente os valores obtidos com o cálculo do índice de interações ( $I_t$ ) para cada indivíduo e o relacionamos com os valores da entropia de 2º momento ( $E_2$ ) na figura 44. A figura 45 mostra os valores de  $E_2$  em ordem crescente em relação ao  $I_t$ .

Na figura 46, os valores de  $I_t$  em ordem crescente foram relacionados ao número de notas duplas por indivíduo. Relacionamos os valores da média de  $I_t$  com as macroregiões Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul na figura 47, com o desvio-padrão, erro-padrão e valores extra-limites.

Figura 44. - Índice de interações vs. entropia de 2º momento, valores da ordenada em ordem decrescente, com o número do indivíduo, e curva de regressão.

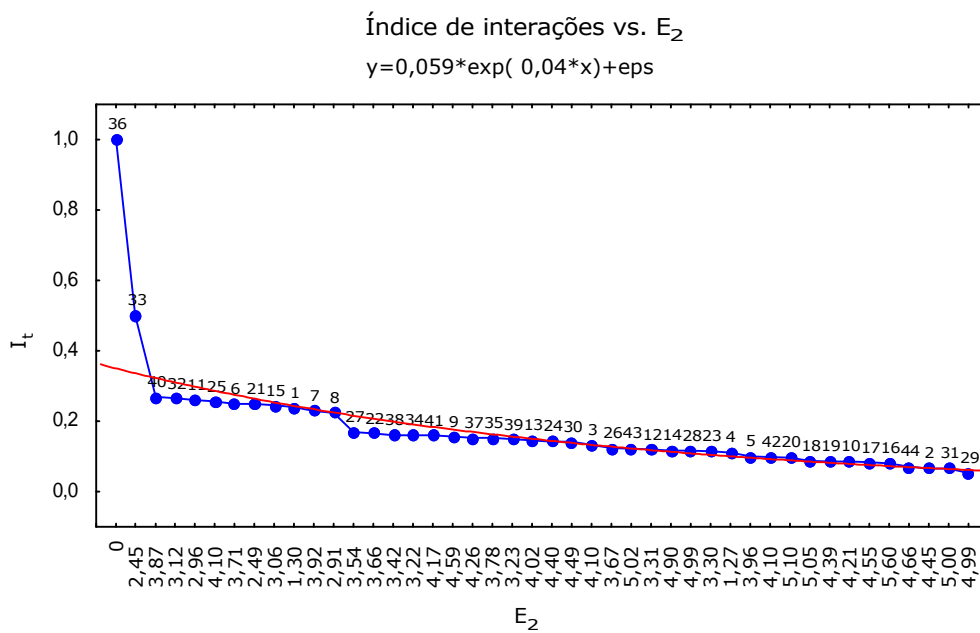


Figura 45. - Índice de interações vs. entropia de 2º momento, valores da abcissa em ordem crescente e curva de regressão.

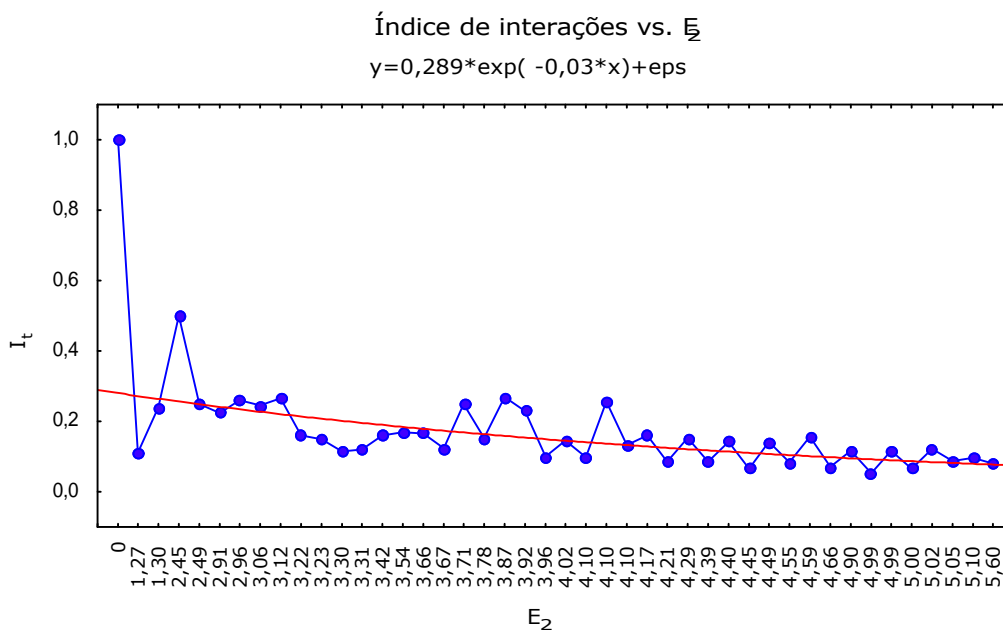




Figura 46. – Índice de interações vs. repertório de notas duplas e curva de regressão.

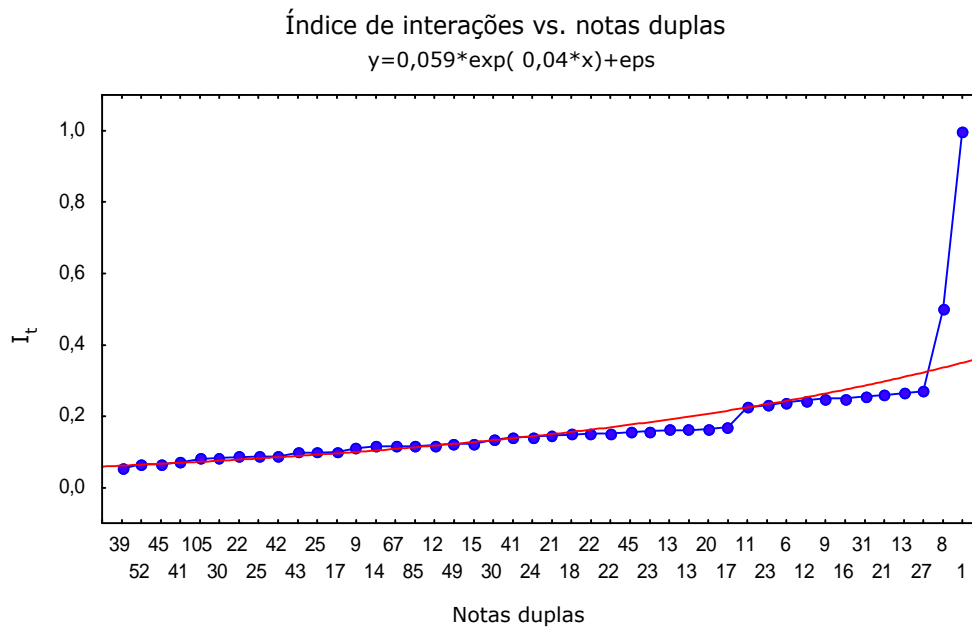
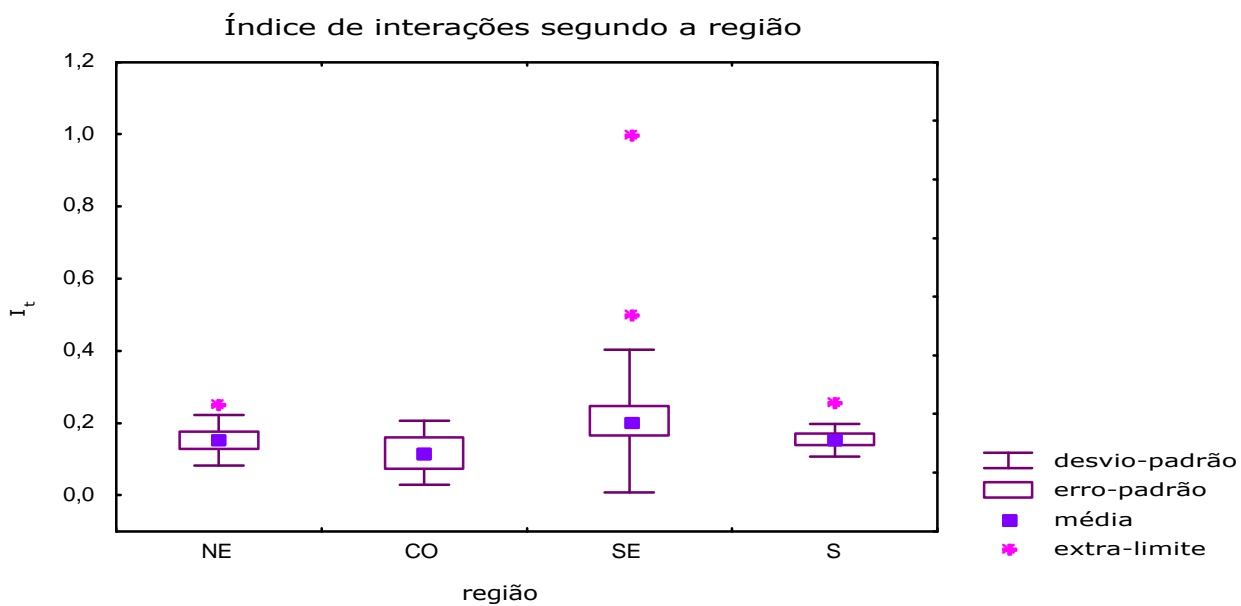


Figura 47. – Valores do índice de interações segundo a região.



## Interpretação

O maior valor do índice de interações coube ao indivíduo 36 da amostra por apresentar entropia 0 e, assim, o número de interações possíveis é igual ao observado; o máximo em interações é, nesse caso, a previsibilidade total. O indivíduo 33 apresentou o segundo maior valor de  $I_t$  (0,50): por ter um repertório de apenas 4 notas, produziu um número de combinações de notas duplas (8) proporcionalmente alto, embora apresente o terceiro mais baixo valor de  $E_2$  (2,45). Por causa dessas características está acima da curva de regressão nas figuras 44 e 45.

Os indivíduos 40, 32, 11, 25, 6 e 21 possuem valores de  $I_t$  próximos (0,27 a 0,25) e relativamente altos em comparação com o restante da amostra. Seus repertórios são abaixo da média, variando de 6 a 11 tipos de notas, mas o número de notas duplas apresenta uma variação maior (9-31), embora a proporção entre os repertórios simples e duplo seja semelhante (média de  $I_t = 0,26$ ).

Os valores de  $I_t$  que variam de 0,24 a 0,22 correspondem aos indivíduos 15, 1, 7 e 8, cujos repertórios variam de 5 a 10 tipos de notas. Os valores de  $E_2$  variam muito (de 1,3 a 3,9), assim como o tamanho do repertório de notas duplas (6 a 23), mas são praticamente iguais quanto à capacidade de combinações de duas notas.

Os indivíduos que tiveram valores de  $I_t$  entre 0,17 e 0,14 apresentam grande variação de repertório (9-17) e de número de notas duplas (13-45). São 11 os indivíduos que estão situados nessa faixa, e verificamos que há um aumento do número possível de notas duplas em relação a faixa de valores de  $I_t$  descrita no parágrafo anterior, embora haja exceções, como os indivíduos 34 e 38 ( $I_t = 0,16$ ; 13 notas duplas), que compõem essa faixa e têm um número menor de duplas que o indivíduo 7 (23 notas duplas) da faixa anterior.

Os valores de  $I_t$  entre 0,13 e 0,10 correspondem a indivíduos que têm uma variação ainda maior do repertório de notas duplas (9-85). Os

indivíduos de repertório pequeno e que apresentam grande estereotipia na combinação de notas duplas estão nessa faixa: o número 4 (9 tipos de notas; 9 duplas), o indivíduo 26 (11 tipos de notas; 15 duplas) e o 12 (10 tipos de notas; 12 duplas). A medida que o repertório de notas simples vai aumentando, o número de combinações de notas duplas possíveis torna-se muito alto, valor que parece ser cada vez mais difícil para o pássaro atingir. O indivíduo 14, por exemplo, cujo valor do índice de interações é 0,12, possui 27 tipos diferentes de notas em seu repertório e 85 notas duplas, um número alto em termos absolutos mas baixo comparando-se com as 729 combinações de duplas que lhe são possíveis.

Dessa forma, os valores mais baixos de  $I_t$  (0,09 a 0,05) correspondem aos indivíduos com entropia alta, tanto a  $E_1$  (3,7 a 4,5) quanto  $E_2$  (4,1 a 5,6). Destacamos o indivíduo 16 que, nessa faixa de valores de  $I_t$ , apresentou o maior número de notas duplas da amostra (105) e o maior repertório (36 tipos de notas) e o indivíduo 29, que possui as mais altas entropias e o mais baixo valor de  $I_t$ .

A figura 45 mostra que há relação entre o aumento de  $E_2$  e a queda de  $I_t$ , embora haja variações dependendo do caso, como podemos verificar nos altos e baixos do gráfico dessa figura.

Na figura 46 verificamos que a relação entre o número de notas duplas e o índice de interações, ordenado em valores crescentes, é muito variável.

Relacionamos os valores do índice de interações com as macroregiões Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul, procedendo da mesma forma que para  $E_1$  e  $E_f$  nas respectivas figuras 26 e 27. O padrão de variação manteve-se para  $I_t$  da mesma forma que para  $E_1$  e  $E_f$ , onde a variância foi maior na região Sudeste, seguida da região Centro-oeste e Nordeste. A região Sul apresenta valores com menor variação em todos os parâmetros, mas apresenta um valor extra-limite quando consideramos o índice de interações, fato que não verificamos em  $E_1$  e  $E_f$ .

## ANÁLISES INDIVIDUAIS

Apresentaremos nesta seção a descrição detalhada dos resultados das análises para cada indivíduo da amostra, destacando aqueles que apresentam valores extremos para algum parâmetro.

### Indivíduo 1

Emite um repertório de somente 5 notas. Tem a segunda  $E_1$  mais baixa da amostra, de 1,06, bem aquém da média de 3,19 (fig. 15). A figura 6 mostra que  $E_1$  está muito abaixo da sua  $E_{\max 1}$ , essa diferença é de 46% (fig. 19). Seu repertório de notas duplas mantém-se pequeno (6 combinações); a proporção de  $E_2$  em relação a  $E_{\max 2}$  é de 50% e está abaixo da curva de regressão na figura 8. Esses parâmetros ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{\max 1}$  e  $E_{\max 2}$ ) estão plotados na figura 9, em ordem crescente de  $E_1$ , com o indivíduo 1 mostrando que esses valores são próximos em termos absolutos e é o segundo mais baixo da amostra quanto à  $E_1$ ,  $E_{\max 2}$  e quanto à relação  $E_1/E_{\max 1}$ . Em relação à  $E_2$ , esse indivíduo tem o 3º menor valor, assim como em  $E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$ .

$E_t$  e  $E_f$  também mostraram valores baixos em relação ao resto da amostra, abaixo da curva de regressão, com  $E_f$  mais próximo do que nos gráficos de  $E_1$ ,  $E_2$  e  $E_t$  (fig. 13 e 14).

Quanto aos parâmetros temporais, o valor da média da duração da nota apresenta-se acima da média (fig. 11), assim como o número de notas emitidas por segundo (fig. 12).

Apesar do pequeno repertório, esse indivíduo não é o mais estereotipado, já que existe uma certa imprevisibilidade no seu esquema de seqüência de notas: (3-6)A, (1-2)B e C, D e E emitidas esporadicamente no final da frase (ver anexo 2). O índice de interações desse indivíduo é de valor alto (0,24) em comparação com os outros da amostra. Ver esquema das seqüências no anexo 2.

## **Indivíduo 2**

O repertório é de 26 notas, o quinto maior da amostra, que tem média de 14 notas (fig. 5). O valor de  $E_1$  é também um dos maiores (3,94), mas está relativamente bem abaixo da curva de  $E_{\max 1}$ : somente os indivíduos 14 e 16 estão mais abaixo. O número de notas duplas está acima da média e é o 6º maior da amostra (fig. 7).

Esse indivíduo apresenta o valor da duração das notas abaixo da média da amostra (fig. 11) e o número de notas/s acima da média geral, demonstrando ter um canto de emissão rápida.  $E_t$  e  $E_f$  apresentaram valores altos e próximos à linha de regressão (fig. 13 e 14).

O valor alto de  $E_2$  (4,45) tem colocação inferior em relação ao resto da amostra comparado com  $E_1$ , conforme figuras 15 e 16. As relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  apresentaram valores muito semelhantes (fig. 17 e 18) e relativamente baixos em comparação com os outros da amostra, embora a variação entre os indivíduos seja pequena. O índice de interações é o terceiro mais baixo (0,067), pois seu repertório de notas duplas (45) é baixo em relação a sua possibilidade máxima de 676 duplas. Ver esquema das seqüências no anexo 2.

## **Indivíduo 3**

Repertório de 16 notas, pouco acima da média. O valor de  $E_1$  está bem abaixo e no meio da curva de entropia máxima (fig. 6). Os valores das entropias, pouco acima da média, o posiciona no meio da amostra (fig. 9). A duração das notas apresenta-se acima da média e o inverso ocorre para o número de notas emitidas por segundo (fig. 11 e 12). Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  apresentaram-se abaixo da curva de regressão (fig. 13 e 14). Quanto ao índice de interações, seu valor de 0,13 é próximo ao valor da média da amostra (0,14).

#### Indivíduo 4

O repertório de 9 notas está abaixo da média da amostra, assim como o valor de  $E_1$ . O valor de  $E_2$  é baixo em relação ao resto da amostra e em relação a  $E_1$  (fig. 6, 8 e 9); foi o único que apresentou a relação  $E_2/E_1$  55% negativa. Na figura 8, é o indivíduo que se posiciona mais abaixo da curva de regressão. A média de duração das notas desse indivíduo mostrou ser a de valor mais alto (356 ms) e tem o segundo mais baixo valor para o número de notas emitidas por segundo (fig. 11 e 12), resultando em um canto muito lento.

Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são pouco abaixo e próximos à curva de regressão, não são visíveis nas figuras 13 e 14 por estarem sobrepostos aos valores de outros indivíduos. Os valores de  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{\max 1}$  e  $E_{\max 2}$  são abaixo da média da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  tem valor alto e posiciona esse indivíduo entre os de valores mais altos da amostra (fig. 19), enquanto que  $E_2/E_{\max 2}$  é o segundo valor mais baixo (fig. 20). O valor de  $I_t$  é relativamente baixo (0,10), já que apresenta apenas 9 combinações de notas duplas para um repertório de 9 notas.

A figura 21 mostra os valores dos diversos níveis de entropia desse indivíduo, de 1 a 7. O valor de  $E_7$  é muito baixo porque só há dois estados possíveis com igual probabilidade de ocorrência, o que corresponde à entropia máxima nesse nível. Ver esquema das seqüências no anexo 2.

#### Indivíduo 5

Possui um repertório de 13 notas, o número mais próximo da média da amostra (fig. 5). O valor de  $E_1$  (3,19) é equivalente ao valor da média da amostra (fig. 15); o de  $E_2$  está acima da curva de regressão na figura 8, mas o repertório de notas duplas está abaixo da média (fig. 7).  $E_{\max 2}$  está abaixo da média, mas a relação  $E_2/E_{\max 2}$  é a maior da mostra (fig. 20). Os parâmetros temporais estão próximos da média, os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão muito próximos à curva de regressão (fig. 13 e 14). O índice de

interações pode ser considerado baixo em relação aos outros indivíduos (0,10).

### **Indivíduo 6**

O repertório é de apenas 8 notas e 16 duplas, ambos abaixo da média. Seu valor de  $E_1$ , porém, está muito próximo de  $E_{\max 1}$ . Esse indivíduo tem o 3º maior valor da relação  $E_1/E_{\max 1}$  (fig. 19). A relação  $E_2/E_{\max 2}$  é comparativamente menor que a  $E_1/E_{\max 1}$ . A duração das notas está acima da média da amostra. O número de notas/s está abaixo da média, mas o valor de  $E_f$  está um pouco acima da curva de regressão da figura 13; em  $E_t$  está logo abaixo (fig. 14). O valor de  $I_t$  está entre os mais altos da amostra (0,25).

### **Indivíduo 7**

O repertório é de 10 notas e o valor de  $E_1$  é muito próximo de  $E_{\max 1}$  (90,4%). O número de notas duplas é de 23;  $E_2$  é um pouco acima da média. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é muito semelhante à  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas está acima da média e é a quarta mais alta da amostra. O número de notas emitidas por segundo é o 3º mais baixo. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante, justapostos abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  está entre os mais altos da amostra (0,23).

### **Indivíduo 8**

O repertório é de 7 notas, 50% abaixo da média. O valor de  $E_1$  é o quinto menor da amostra, assim como o de  $E_2$ . A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é maior que a relação  $E_2/E_{\max 2}$  em comparação com os outros indivíduos da amostra. A relação  $E_2/E_1$  é a sexta maior da amostra. A duração das notas está pouco acima da média, o ritmo pouco abaixo. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante sobre a curva de regressão.

O valor de  $I_t$  está entre os mais altos da amostra (0,22). Ver esquema das seqüências no anexo 2.

### **Indivíduo 9**

O valor de  $E_1$  está acima da média, assim como seu repertório de 17 notas, além da combinação de duplas, que é a 7ª maior da amostra, mesma colocação que a relação  $E_2/E_1$ . A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é muito semelhante a  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas está abaixo da média, enquanto que o ritmo está acima da média da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante no meio e sobre a curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,16) é próximo do valor da média da amostra (0,15).

### **Indivíduo 10**

Seu repertório de 16 notas está acima da média. Os valores de  $E_1$  e  $E_2$  também estão acima da média da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é comparativamente bem menor que a relação  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas está acima da média, mas o ritmo é o 5º mais baixo da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  está entre os mais baixos da amostra (0,09).

### **Indivíduo 11**

Esse indivíduo, proveniente da cidade do Rio de Janeiro, possui canto com impressão auditiva diferenciada dos outros, fato já citado na literatura (Sick 1985). Seu repertório de 9 notas está 36% abaixo da média. O valor de  $E_1$  está bem abaixo da curva de  $E_{\max 1}$  e a relação  $E_1/E_{\max 1}$  é o 5º valor menor da amostra. A relação  $E_2/E_{\max 2}$  é



comparativamente ainda menor que a relação anterior, a terceira menor da amostra.

Realizamos os cálculos para os diversos momentos de entropia desse indivíduo, valores apresentados na figura 22.  $E_1$  tem o valor mais baixo, seguido de  $E_2$  e de  $E_{12}$ .  $E_6$  apresentou o valor mais alto, 3,9, 59% a mais que  $E_1$ , porém não muito diferenciado das outras entropias.

O tempo de duração das notas tem o valor da média da amostra, 260 ms. É o 8º canto mais rápido da amostra, fato que, juntamente com a seqüência de notas de padrão diferenciado, alternando a maior parte do tempo duas notas diferentes, uma de curta duração e de som puro e pouco modulado com uma longa assobiada ascendente sem modulação, produz uma impressão auditiva peculiar. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante, muito próximos e acima da curva de regressão. O índice de interações desse indivíduo é o 5º valor mais alto da amostra (0,26). Ver esquema das seqüências no anexo 2.

### **Indivíduo 12**

Possui um repertório de 10 notas, portanto pouco abaixo da média da amostra que é de 14. Seu repertório de notas duplas é bem abaixo da média (fig. 7), assim como os valores de  $E_1$  e  $E_2$ . A relação  $E_2/E_1$  é o 4º menor valor da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor muito próximo à relação  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas e o ritmo são pouco abaixo da média. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  é próximo da média da amostra (0,12). Ver esquema das seqüências no anexo 2.

### **Indivíduo 13**

Possui um repertório de 12 notas e apresenta 21 notas duplas, valor abaixo da média (fig. 7); os valores de  $E_1$  e  $E_2$  estão pouco acima da média. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor pouco maior em comparação com o

valor de  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas está abaixo da média (225 ms) e tem o 6º ritmo mais rápido da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  é próximo da média da amostra (0,15).

### **Indivíduo 14**

A gravação do canto do indivíduo 14 apresenta 850 notas, a 2º maior da amostra. O repertório de 27 notas está entre os maiores. Seu repertório de notas duplas é o segundo maior, porém é o indivíduo que fica mais abaixo na curva de regressão que relaciona esse valor com  $E_2$  (fig. 8). O valor de  $E_{\max 1}$  é um dos mais altos e é relativamente maior em relação aos valores das outras entropias desse indivíduo. A relação  $E_2/E_1$  é uma das mais altas da amostra. As relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são relativamente baixas. O tempo de duração das notas é o 6º mais breve e o ritmo o 4º mais rápido da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  é próximo da média da amostra (0,12). Ver esquema das seqüências no anexo 2.

### **Indivíduo 15**

O tamanho do repertório é de apenas 7 notas e tem 12 notas duplas, número abaixo da média. A relação  $E_2/E_1$  tem valor mediano e os valores de  $E_1$  e  $E_2$  são abaixo da média, assim como as entropias máximas. O valor da duração das notas é o 6º maior da amostra e tem a 7ª ritmicidade mais lenta. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,24) é relativamente alto.

### **Indivíduo 16**

O indivíduo 16 possui um repertório de 36 notas, o maior da amostra. O valor de  $E_1$  é o 2º maior, mas relativamente baixo em relação à curva de  $E_{\max 1}$ . Apresenta o mais alto valor de  $E_2$  e o maior número de notas duplas (105), mas fica abaixo da curva de regressão na figura 8. Possui os maiores valores de entropias máximas, e as relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são semelhantes e estão em 12º lugar em ordem crescente de valor na amostra. A duração das notas tem valor pouco acima da média e o ritmo pouco abaixo. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são altos e estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,081) é um dos mais baixos.

### **Indivíduo 17**

O repertório é de 19 notas e apresenta 30 notas duplas, valor pouco acima da média. Os valores de  $E_1$  e  $E_2$  são bem acima da média, assim como as entropias máximas. O valor de  $E_1$  está próximo à curva de  $E_{\max 1}$  e  $E_2$  está pouco acima da curva de regressão. As relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são relativamente altas. A duração das notas tem valor abaixo da média e o ritmo é o 12º mais rápido. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são altos e estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,083) é um dos mais baixos.

### **Indivíduo 18**

O repertório de 22 notas é o 8º maior da amostra e apresenta 42 notas duplas, valor bem acima da média. O valor de  $E_1$  está próximo à curva de  $E_{\max 1}$  e o valor da relação  $E_2/E_1$  está dentro da média geral. As relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são relativamente altas e todos os valores de entropia estão acima da média. A duração das notas tem o 3º maior valor e o número de notas emitidas por segundo (2,67) é maior que a média da amostra. O valor de  $E_t$  está posicionado bem abaixo da curva de

regressão, enquanto o de  $E_f$  está acima da curva de regressão, um dos raros casos em que esses índices diferem significativamente. O valor de  $I_t$  (0,087) é o 9º mais baixo.

### **Indivíduo 19**

O repertório é de 17 notas e apresenta 25 notas duplas, valor pouco abaixo da média. O valor de  $E_1$  está pouco abaixo da curva de  $E_{max1}$  e  $E_2$  está acima da curva de regressão. O valor da relação  $E_2/E_1$  é relativamente baixo. As relações  $E_1/E_{max1}$  e  $E_2/E_{max2}$  são de valores relativamente altos e similares. O tempo de duração das notas tem valor abaixo da média e o ritmo é o 12º mais rápido. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são altos e estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,083) é um dos mais baixos.

### **Indivíduo 20**

O repertório é de 21 notas e apresenta 43 notas duplas, valor bem acima da média. O valor de  $E_1$  está próximo à curva de  $E_{max1}$  e o valor da relação  $E_2/E_1$  está dentro da média geral. As relações  $E_1/E_{max1}$  e  $E_2/E_{max2}$  são relativamente altas, mas a primeira é bem menor em comparação com a segunda. Todos os valores de entropia estão acima da média, mas  $E_2$  é relativamente mais alta. O valor da duração das notas é próximo da média (258 ms) e o número de notas emitidas por segundo é pouco acima da média. O valor de  $E_t$  está posicionado logo abaixo da curva de regressão, o valor de  $E_f$  logo acima. O índice de interações de 0,098 é relativamente baixo.

### **Indivíduo 21**

O repertório é de 6 notas, o 4º menor da amostra, e apresenta apenas 9 notas duplas, o 4º menor valor. O valor de  $E_1$  está bem abaixo

da curva de  $E_{\max 1}$  e  $E_2$  está pouco abaixo da curva de regressão. O valor da relação  $E_2/E_1$  é o 3º mais alto. As relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são de valor relativamente baixo e a primeira é maior em comparação com a segunda. A duração das notas tem valor igual ao da média e o ritmo é de valor pouco acima da média da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são baixos e estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,25) é um dos mais altos.

### **Indivíduo 22**

Possui um repertório de 11 notas e apresenta 20 notas duplas, valores abaixo da média (fig. 7); os valores de  $E_1$  e  $E_2$  e as entropias máximas estão pouco abaixo da média. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor pouco menor em comparação ao valor de  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas está pouco abaixo da média e o ritmo pouco acima da média da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  é pouco acima da média da amostra (0,16).

### **Indivíduo 23**

Embora possua o mesmo tamanho de repertório que o indivíduo anterior, apresenta somente 14 notas duplas, além dos valores de  $E_1$ ,  $E_2$  e  $E_{\max 2}$  serem mais baixos. O valor da relação  $E_2/E_1$  é o 8º menor da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor pouco maior em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas está pouco acima da média e o ritmo pouco abaixo da média da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  está abaixo da média da amostra (0,12).

### **Indivíduo 24**

O tamanho do repertório é de 13 notas e possui 24 combinações de notas duplas. O valor de  $E_1$  está bem abaixo da curva de  $E_{\max 1}$ , o de  $E_2$  está acima da curva de regressão e os valores das entropias máximas estão acima da média. A relação  $E_2/E_1$  é a 5ª maior da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor muito menor em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$  (diferença de 6%, alta para uma amostra de variância pequena). A duração das notas está acima da média e o ritmo bem abaixo da média da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  está próximo da média da amostra (0,14).

### **Indivíduo 25**

Possui o mesmo tamanho de repertório de 11 notas que os indivíduos 22 e 23, mas apresenta um número bem maior de notas duplas (31) e valores mais altos de  $E_1$ ,  $E_2$  e  $E_{\max 2}$ . O valor da relação  $E_2/E_1$  é o 8º maior da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor muito maior em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$  (diferença de 9%). O tempo de duração das notas está pouco abaixo da média, assim como o ritmo, de valor comparativamente menor que a duração. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante sobre a curva de regressão. O valor de  $I_t$  é um dos mais altos (0,26).

### **Indivíduo 26**

Possui o mesmo tamanho de repertório que o indivíduo anterior, mas apresenta somente 15 notas duplas e valores mais altos de  $E_1$  e  $E_2$  e mais baixo de  $E_{\max 2}$ . A relação  $E_2/E_1$  é a 8ª maior da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor muito maior em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$  (diferença de 9%). O tempo de duração das notas está pouco abaixo da média assim como o ritmo, de valor comparativamente menor que a

duração. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante sobre a curva de regressão. O valor de  $I_t$  é um dos mais altos (0,26).

### **Indivíduo 27**

Possui um repertório de 10 notas e apresenta 17 notas duplas. Os valores de  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_{\max 1}$  e  $E_{\max 2}$  são próximos e pouco menores que o valor da média da amostra. O valor de  $E_2$  está acima da curva de regressão. A relação  $E_2/E_1$  é de valor comparativamente baixo. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor muito próximo em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas está pouco abaixo da média e o ritmo é de valor pouco acima. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante pouco acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  é próximo da média (0,17).

### **Indivíduo 28**

O repertório de 24 notas é o 7º maior da amostra e apresenta 67 notas duplas, o 3º maior valor. O valor de  $E_2$  está abaixo da curva de regressão e o valor da relação  $E_2/E_1$  é relativamente alto. As relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são relativamente baixas, mas todos os valores de entropia estão acima da média. A duração das notas tem valor pouco abaixo da média e o número de notas emitidas por segundo (2,57) é maior que a média. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,12) é próximo da média.

### **Indivíduo 29**

O indivíduo 29 possui um repertório de 27 notas, o 3º maior da amostra e um número relativamente pequeno de notas duplas (39). Possui o maior valor de  $E_1$  (4,55), pouco abaixo da curva de  $E_{\max 1}$ , mas o valor da relação  $E_2/E_1$  é o 6º menor da amostra, pois o valor de  $E_2$  é

relativamente baixo. As relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são semelhantes e relativamente altas. A duração das notas têm valor pouco acima da média e o ritmo pouco abaixo. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são altos e estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,053) é o mais baixo da amostra.

### **Indivíduo 30**

O repertório é de 17 notas e apresenta 41 notas duplas, valor relativamente alto e bem acima da média. O valor de  $E_1$  está pouco abaixo da curva de  $E_{\max 1}$  e  $E_2$  está sobre a curva de regressão. O valor da relação  $E_2/E_1$  é mediano e as relações  $E_1/E_{\max 1}$  e  $E_2/E_{\max 2}$  são de valores medianos e similares. O tempo de duração das notas têm o 5º maior valor e o ritmo é o 4º mais lento. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são medianos e estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,14) está próximo da média. Ver esquema das seqüências no anexo 2.

### **Indivíduo 31**

O repertório de 28 notas é o segundo maior da amostra, mas bem distante do maior que possui 36 notas. Apresenta 52 notas duplas, o 4º valor mais alto. O valor de  $E_1$  está pouco abaixo da curva de  $E_{\max 1}$  e  $E_2$  está sobre a curva de regressão. O valor da relação  $E_2/E_1$  é mediano, assim como o da relação  $E_1/E_{\max 1}$ . A relação  $E_2/E_{\max 2}$  tem valor mais alto em comparação com o valor de  $E_1/E_{\max 1}$ . O valor de  $E_{\max 2}$  é o 4º maior da amostra. A duração das notas têm o 5º menor valor e este é o indivíduo que emite o maior número de notas por segundo (3,13). Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são altos e estão posicionados de forma semelhante bem acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,07) é o 2º menor da amostra.



### **Indivíduo 32**

O repertório de 7 notas é o 5º menor da amostra, enquanto que o valor de  $E_1$  é o 6º menor e se posiciona pouco abaixo da curva de  $E_{\max 1}$ . O repertório de 13 notas duplas é relativamente grande. A relação  $E_2/E_1$  é o 4º maior valor e o valor de  $E_2$  está abaixo da média, assim como o das entropias máximas. O valor da duração das notas é o 2º maior da amostra e o canto tem a mais lenta ritmicidade (1,62 Hz). Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,24) é relativamente alto.

### **Indivíduo 33**

O repertório de 4 notas é o 2º menor da amostra, mas o valor de  $E_1$  é o 3º menor e se posiciona pouco abaixo da curva de  $E_{\max 1}$ . O repertório de 8 notas duplas é relativamente grande. O valor da relação  $E_2/E_1$  é o maior da amostra (57,8) e o valor de  $E_2$  é o 4º menor, assim como  $E_{\max 2}$ . O valor da duração das notas e o ritmo estão abaixo da média da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante pouco acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,50) é o 2º mais alto. Ver esquema das seqüências no anexo 2.

### **Indivíduo 34**

O indivíduo 34 possui um repertório de 9 notas e 13 notas duplas, que é um número relativamente baixo, mas o valor de  $E_1$  é relativamente alto e se posiciona pouco abaixo da curva de  $E_{\max 1}$ . A relação  $E_2/E_1$  está entre os valores mais baixos e o valor de  $E_2$  está pouco acima da curva de regressão. Os valores de  $E_{\max 1}$  e  $E_{\max 2}$  estão abaixo da média. O valor da duração das notas está entre os mais altos da amostra e a ritmicidade está bem abaixo da média. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante logo abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,16) está próximo da média.

### **Indivíduo 35**

Possui 12 notas em seu repertório e um número relativamente baixo de notas duplas (22). O valor da relação  $E_2/E_1$  é o 2º mais alto, o valor de  $E_1$  está bem abaixo da média e o valor de  $E_2$  é igual à média. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor muito menor em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$  (diferença de 13%). O tempo de duração das notas é o mais baixo da amostra e o valor do ritmo está pouco abaixo da média. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são muito diferentes:  $E_t$  está muito acima da linha de regressão, enquanto que o valor de  $E_f$  está logo abaixo. O valor de  $I_t$  está próximo da média (0,15).

### **Indivíduo 36**

O indivíduo 36 possui uma única nota em seu repertório e conseqüentemente todos os valores de entropia e dos índices  $E_t$  e  $E_f$  são nulos. Possui uma combinação de notas duplas e tem o maior valor de  $I_t$  (1). O tempo de duração das notas está acima da média (294 ms) e o ritmo é o 6º mais baixo da amostra, 2,0 notas/s.

### **Indivíduo 37**

O indivíduo 37 possui 12 notas em seu repertório, 22 notas duplas e o mesmo valor de  $I_t$  (0,15) que o indivíduo 35, mas seu valor de  $E_1$  é bem maior (3,5 ou seja 26 % maior). O valor da relação  $E_2/E_1$  é bem menor que do indivíduo 35, mas o valor de  $E_2$  é comparativamente maior e acima da média. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é a mais alta da amostra, enquanto que o valor de  $E_2/E_{\max 2}$  é o 3º maior. O tempo de duração das notas está pouco abaixo da média da amostra e o valor do ritmo está bem acima da média. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são semelhantes e posicionados pouco acima da linha de regressão.

### **Indivíduo 38**

Assim como o indivíduo 34, o indivíduo 38 possui um repertório de 9 notas e 13 notas duplas, mas os valores de  $E_1$  e de  $E_2$  são ambos 6% mais altos, e a relação  $E_2/E_1$  pouco mais baixa. Os valores de  $E_{\max 1}$  e  $E_{\max 2}$  estão abaixo da média. O valor da duração das notas está entre os mais altos da amostra e a ritmicidade está bem abaixo da média, muito próximo do valor do indivíduo 34. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante logo abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,16) está próximo da média.

### **Indivíduo 39**

Possui o mesmo tamanho de repertório que o indivíduo 23, que é de 11 notas, mas apresenta mais notas duplas (18), o segundo valor mais baixo entre os que têm 11 notas (ind. 22, 23, 25 e 39). Possui valores de  $E_1$  e  $E_2$  mais baixos que os outros de repertório similar. A relação  $E_2/E_1$  é a 4ª menor da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor maior em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas é igual ao valor da média e o ritmo pouco abaixo da média da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante pouco abaixo da curva de regressão. O valor de  $I_t$  está próximo da média da amostra (0,15).

### **Indivíduo 40**

Possui um repertório de 10 notas, menor que o do indivíduo anterior, mas o valor de  $E_1$  é 9% mais alto (3,24). Apresenta 27 notas duplas, um número relativamente alto, mas o valor de  $E_2$  é relativamente baixo e se posiciona abaixo da linha de regressão, embora seja pouco acima da média. A relação  $E_2/E_1$  tem valor mediano e a relação  $E_1/E_{\max 1}$  é o 2º maior valor da amostra e maior em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$ . O tempo de duração das notas é o 2º menor valor e o ritmo igual à média da amostra. O valor de  $E_t$  está posicionado bem acima da

linha de regressão, enquanto que o de  $E_f$  está logo acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  é um dos mais altos (0,27).

### **Indivíduo 41**

Possui um repertório de 12 notas, como o indivíduo 13, mas apresenta duas notas duplas a mais (23), e o valor de  $E_1$  é um pouco maior. Os valores de  $E_1$  e  $E_2$  estão pouco acima da média e a relação  $E_1/E_{\max 1}$  é de valor pouco maior em comparação com o valor de  $E_2/E_{\max 2}$ . O tempo de duração das notas é o 3º valor mais baixo e tem o 5º ritmo mais rápido da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  é pouco acima da média da amostra (0,16).

### **Indivíduo 42**

A gravação do canto do indivíduo 42 apresenta 992 notas, a maior da amostra. Seu repertório de 16 notas está acima da média e é do mesmo tamanho que o do indivíduo 10, mas o indivíduo 42 tem 25 notas duplas, 3 a mais. Os valores de  $E_1$  e  $E_2$  são pouco mais altos que o do indivíduo 10. A relação  $E_2/E_1$  é a 7ª menor da amostra e menor que a do indivíduo 10. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  é comparativamente maior que a relação  $E_2/E_{\max 2}$ . O tempo de duração das notas é o 4º valor mais baixo e tem o 9º ritmo mais rápido da amostra. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  estão posicionados de forma semelhante acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  está entre os mais baixos da amostra (0,1).

### **Indivíduo 43**

O indivíduo 43 possui um repertório de 20 notas, o 10º maior da amostra mas o 5º maior valor de  $E_1$  (4,2) e um número relativamente grande de notas duplas (49).  $E_2$  apresenta o 4º valor mais alto e a

relação  $E_2/E_1$  tem valor compatível com a média geral. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  tem valor comparativamente muito mais alto que o de  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas tem valor abaixo da média e o ritmo é o 3º mais rápido. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são altos e estão posicionados acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,12) é próximo da média da amostra. Ver esquema das seqüências no anexo 2.

#### **Indivíduo 44**

O indivíduo 44 possui um repertório de 24 notas, como o indivíduo 28, mas o valor de  $E_1$  (4,3) é bem maior; o 3º maior da amostra. O número de notas duplas é relativamente pequeno (41).  $E_2$  apresenta o 9º valor mais alto e o valor da relação  $E_2/E_1$  é o 3º menor da amostra. A relação  $E_1/E_{\max 1}$  tem valor comparativamente maior que o de  $E_2/E_{\max 2}$ . A duração das notas tem valor abaixo da média e o ritmo é o 2º mais rápido. Os valores de  $E_t$  e  $E_f$  são altos e estão posicionados acima da curva de regressão. O valor de  $I_t$  (0,07) é relativamente baixo.

## DISCUSSÃO

### Repertório

A grande variação inter-individual do tamanho do repertório de *Turdus rufiventris* surpreende, mas o fato mais estarrecedor foi encontrar um indivíduo (36) com um único tipo de nota em seu repertório.

Sabemos que existem espécies com repertórios gigantescos e variados entre os indivíduos, como os rouxinóis (gênero *Luscinia*, na mesma família dos sabiás). A espécie que possui mais tipos de notas, *Luscinia luscinia*, pode emitir individualmente mais de 700 tipos (Naguib & Kolb 1992), mas não encontramos registro de indivíduos que tivessem repertório muito pequeno, sendo o menor tamanho registrado de 200 tipos de notas. Em *Plectrophenax nivalis* (família Emberizidae), o tamanho do repertório varia de 3 a 11 notas (Espmark 1995). O máximo registrado para *Cistothorus platensis* (Troglodytidae) foi de 225 tipos e estima-se que possa atingir 330, mas são raros os repertórios menores que 100 tipos, verificados em populações mais sedentárias (Kroodsma *et al.* 1999). O repertório analisado que talvez mais se aproxime do padrão de variação de *T. rufiventris* é o de *Alauda arvensis* (Alaudidae), a famosa "Alouette" francesa ou Skylark dos ingleses e Cotovia dos portugueses, que pode apresentar, por indivíduo, de 25 a 700 tipos de notas (Aubin 1982, Aubin & Brémond 1983).

Dentro dessa estratégia de canto aprendido, há espécies que possuem dialetos populacionais e, freqüentemente, nas áreas de transição um indivíduo pode emitir mais de um dialeto (Baptista 1975, 1977). Há ainda espécies como *Cypholais gujanensis*, o Pitiguari, que tem um canto estereotipado mas pode emitir individualmente até oito tipos de frases, dependendo do contexto comportamental (Lima 1997). Slater (1983) sugere que há uma "competição" por expressão entre os cantos de *Fringilla coelebs* (Fringillidae), espécie cujo repertório individual varia

de 1 a 6 tipos de frases, geralmente mais que dois. Assim, parece ser raro encontrar indivíduos com um único tipo de canto nas espécies cuja estratégia de comunicação é mediada pela aprendizagem.

A variação inter-individual do tamanho do repertório do Sabiá-laranjeira permite o reconhecimento individual sem a perda do reconhecimento específico através do canto. Podemos verificar esse fato através da nossa capacidade de discriminação auditiva: reconhecemos os indivíduos através das diferenças de repertório e podemos, ao mesmo tempo, distinguir esse canto como pertencente ao Sabiá-laranjeira, através da impressão do som melodioso, flautado, fluente e variado que lhe é característico. Animais que discriminam conspecíficos familiares e não familiares provavelmente evitam desperdício de tempo e energia durante as interações sociais (ver Lambrechts & Dhondt 1995). A escolha da estratégia de reconhecimento individual pela espécie é dilemática, quase corneliana: a variação é benéfica para a identificação individual e poupa energia nas interações sociais, mas corre-se o risco de perder a identidade específica, que deve ser mantida, de alguma forma, independente dessa variação individual. Muitas espécies de sabiás do mundo escolheram essa estratégia de canto e foram bem sucedidas, mas não parece ser uma tarefa fácil de ser cumprida, pois se fosse seria regra entre as aves canoras.

## Entropia e índices derivados

O que podemos dizer de um sistema de comunicação que tem entropia zero? Segundo os propositores da teoria da informação, Shannon e Weaver (1949, p. 15), “no caso particular onde uma probabilidade é unitária (certeza) e todas as outras zero (impossibilidade), então  $H$  é zero (nenhuma incerteza - nenhuma possibilidade de escolha - nenhuma informação)”. No sistema de comunicação abordado neste estudo, o do Sabiá-laranjeira, existe um caso cuja entropia é zero (ind. 36), mas não podemos dizer que ele não transmite informação, já que deve ser lembrado que estamos considerando somente a entropia da seqüência das notas nesta proposição, enquanto há informação contida na freqüência das notas e na ritmicidade do canto. Foram feitos experimentos de “play-back” com o canto de entropia zero para outros indivíduos da natureza e esses sempre respondiam prontamente, demonstrando reconhecer que se tratava do canto de um conspecífico. Ressaltamos ainda que o indivíduo 36 foi gravado na natureza, o que nos inclina a considerar que já tenha passado pela seleção natural para chegar à idade adulta e manter-se vivo, ainda que haja a possibilidade de indivíduos degenerados sobreviverem em situações onde abundância de alimento e ausência de predadores e de outros fatores limitantes os favoreçam. Retornamos ao local onde esse indivíduo foi gravado, no Parque Estadual da Serra do Mar – núcleo Cunha, do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, mas infelizmente não o reencontramos. Seria elucidativo se pudéssemos verificar se o indivíduo manteve esse comportamento ao longo da vida. Pode ser que ele teria dificuldades em se acasalar, mas, por outro lado, verificamos que há uma tendência à diminuição do tamanho do repertório em localidades de alta densidade populacional (Silva 1997). Não observamos, porém, uma relação significativa entre a entropia e a densidade populacional ou o tipo de habitat considerados isoladamente (fig. 48 e 49).



A distribuição dos valores das entropias de 1º e 2º momentos mostrou ser multimodal, com alguns casos extra-limites de valores inferiores (fig. 50 e 51). Na figura 50 podemos verificar que somente 4 indivíduos possuem  $E_1$  menor que 2,28, sinalizando que são exceções na amostra. Há três faixas de valores de  $E_1$  que apresentam picos no número de indivíduos correspondentes: de 2,9 a 3,1 encontramos 7 indivíduos, de 3,31 a 3,52 há 6 indivíduos e de 3,73 a 3,93 são 5 indivíduos. Na figura 51 verificamos que esse padrão é confirmado de forma ainda mais evidente em  $E_2$ : somente 3 indivíduos apresentaram valores abaixo de 2,29 e ocorrem três faixas de valores com o número máximo de indivíduos, nesse caso 6: 3,05 a 3,31, 4,07 a 4,33 e 4,84 a 5,09.

Esses padrões evidenciam a heterogeneidade da amostra e o polifiletismo que a originou. Podemos inferir que há pelo menos três fontes distintas de produção de padrões de entropia nas seqüências das notas, ou seja, três mecanismos diferentes de produção de variação, que podem ter sido originados em diferentes populações, que foram isoladas por muito tempo e têm processos de transmissão cultural distintos.

Os outros momentos de entropia que calculamos para os indivíduos 4 (fig. 21) e 11 (fig. 22) não foram muito elucidativos pela diminuição do número de estados, à medida que analisamos níveis mais altos de entropia. O indivíduo 4 apresenta um valor baixo de  $E_2$  (1,27) se compararmos com os outros momentos de entropia,  $E_1$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ ,  $E_5$  e  $E_6$ , mas, embora o valor absoluto de  $E_7$  seja mais baixo (1,0), esse número representa a entropia máxima nesse nível, já que há somente duas possibilidades que aparecem uma vez cada uma. O valor de  $E_2$  desse indivíduo reflete melhor a predominância da seqüência ABCDE no seu canto, mas as variações no início e final desse padrão são reveladas nos outros valores de entropia.

O indivíduo 11, da cidade do Rio de Janeiro, apresentou o menor valor de entropia do 1º momento (2,32), o que melhor retrata seu padrão característico de alternar dois tipos de notas em seu repertório, C e D,

causando uma impressão auditiva diferenciada da dos outros indivíduos. Fizemos observações em praças e jardins do centro da cidade do Rio de Janeiro e verificamos que grande parte dos indivíduos cantam dessa forma, mas há também muitos cantores que não exibem essa alternância de notas curtas e longas. Acreditamos que é essa forma de cantar, exibida só por alguns indivíduos, que chama a atenção do ouvinte. Talvez, foi o que motivou Sick (1985) a descrever erroneamente o canto do Sabiá-laranjeira da cidade do Rio de Janeiro como sendo um dialeto diferenciado - "um carioca dos sabiás".

Os padrões de distribuição dos valores dos índices que criamos,  $E_t$  e  $E_f$ , são heterogêneos como os das entropias.  $E_t$  reflete a variação da distribuição dos valores da duração das notas, considerando o indivíduo e a espécie. Os valores da duração das notas variaram de 37 a 687 ms, média de 252 ms. Há pelo menos três grandes agrupamentos de duração de notas: o primeiro é formado por aquelas notas que têm menos de 150 ms, o segundo é o de média duração, onde está a maioria, e o terceiro são as de longa duração (Silva 1997). Alguns indivíduos combinam notas dos três grupos em seu repertório (por ex. ind. 6 e 30), outros alternam longas e curtas (ind. 11) e há aqueles em que predominam as notas longas (ind. 4 e 38). Assim, os valores de  $E_t$  se distribuem de forma multimodal na figura 52, sendo raros os casos menores que 5,87 (somente 2 indivíduos); aparecem dois picos: na faixa entre 10,76 e 11,74, com 7 indivíduos, e na faixa entre 18,58 e 19,56, com 6 indivíduos.

$E_f$  corresponde a uma combinação entre a entropia e o ritmo do canto, que é o caráter que menos varia tanto intra quanto inter-individualmente, além de ser um auxiliar na distinção específica. Os valores desse índice tiveram uma distribuição um pouco mais equilibrada que os anteriores, como podemos verificar na figura 53: 6 indivíduos apresentaram valores menores que 5,44 e houve picos nas faixas entre 6,05 e 6,65, com 5 indivíduos, e entre 7,26 e 7,86 com 6 indivíduos.

Em relação às localidades, podemos dizer que  $E_1$  varia muito de uma localidade para outra (fig. 23), aumentando a variância em  $E_f$  (fig. 25) e mais ainda em  $E_t$  (fig. 24), confirmando apenas a ausência de padrões populacionais. Na verdade, embora a ritmicidade seja o caráter com menor variação entre os indivíduos, essa variação é grande e maximizada em  $E_f$ , mais facilmente visualizada nas comparações dos valores desse índice com as localidades e as regiões (fig. 25 e 27).

Os valores da média de  $E_1$  para as regiões Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul são muito próximos e a maior variância entre os indivíduos ocorre na região Centro-oeste, a menor na região Sul. As regiões Nordeste e Sudeste têm variâncias de  $E_1$  semelhantes, ambas com indivíduos extra-limites (fig. 26). Na figura 27 vemos que com os valores de  $E_f$  as diferenças aumentam, tanto nos valores das médias como nas variâncias e no número de extra-limites. A maior variância na região Centro-oeste pode ser explicada em função da amostra ser pequena - 4 indivíduos, enquanto temos 9 para a região Nordeste, 22 para Sudeste e 8 para Sul.

Sugerimos uma explicação biológica para a constatação de que existe menor variação de entropia entre os Sabiás-laranjeiras da região Sul: a população meridional seria composta de colonizadores relativamente recentes, derivados de um mesmo pool genético-cultural, exibindo assim uma heterogeneidade menor (Silva *et al.* 2000). Essa afirmação carece de experimento comprobatório e não elucida o mistério da ontogênese do canto dessa espécie: se a aprendizagem vocal é mediada pela imitação, como os machos adquirem seu repertório sem compartilhar notas dentro da mesma população? Voltaremos a discutir esse assunto nos tópicos posteriores.

Figura 48. – Valores da média e desvio-padrão de  $E_1$  e  $E_f$  segundo o habitat.

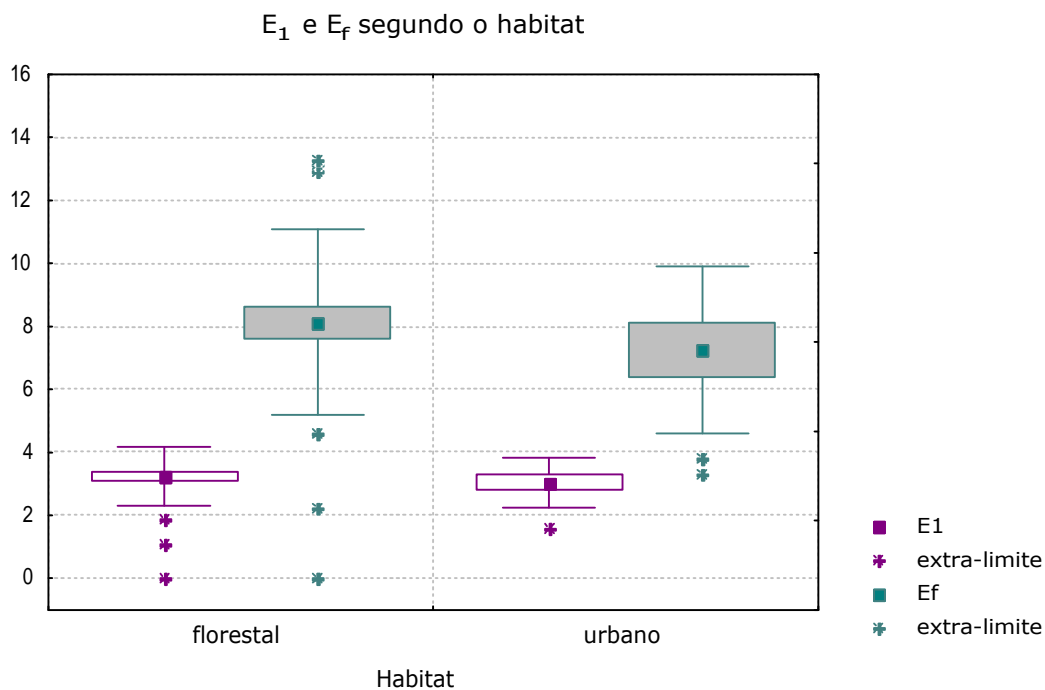


Figura 49. – Valores da média e desvio-padrão de  $E_1$  e  $E_f$  segundo a densidade populacional.

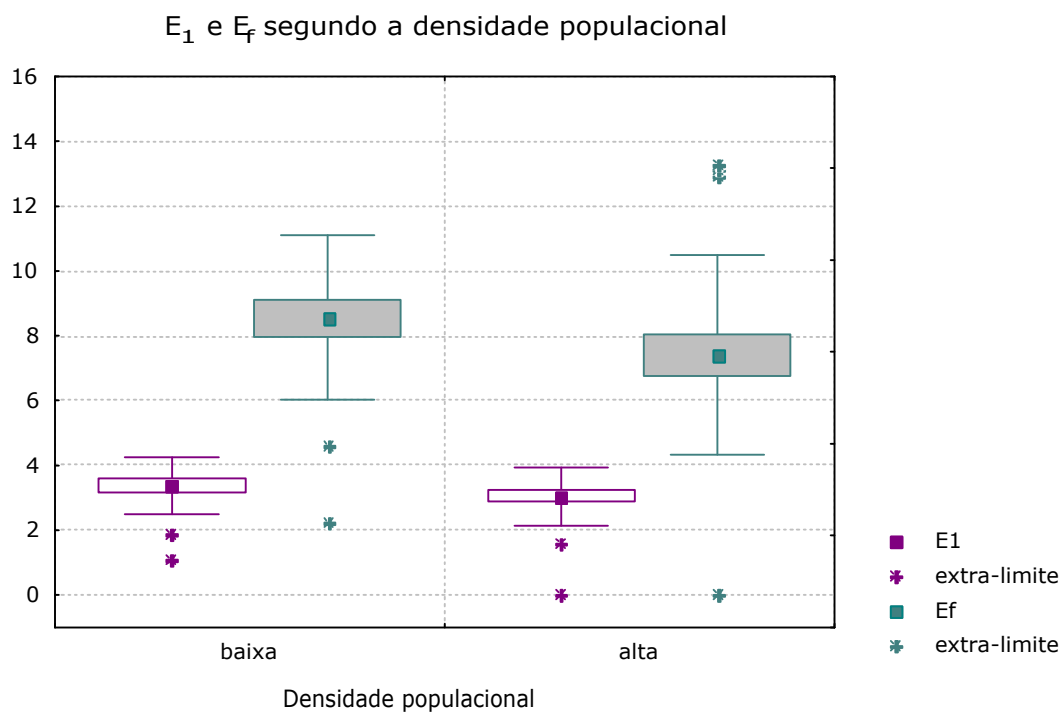


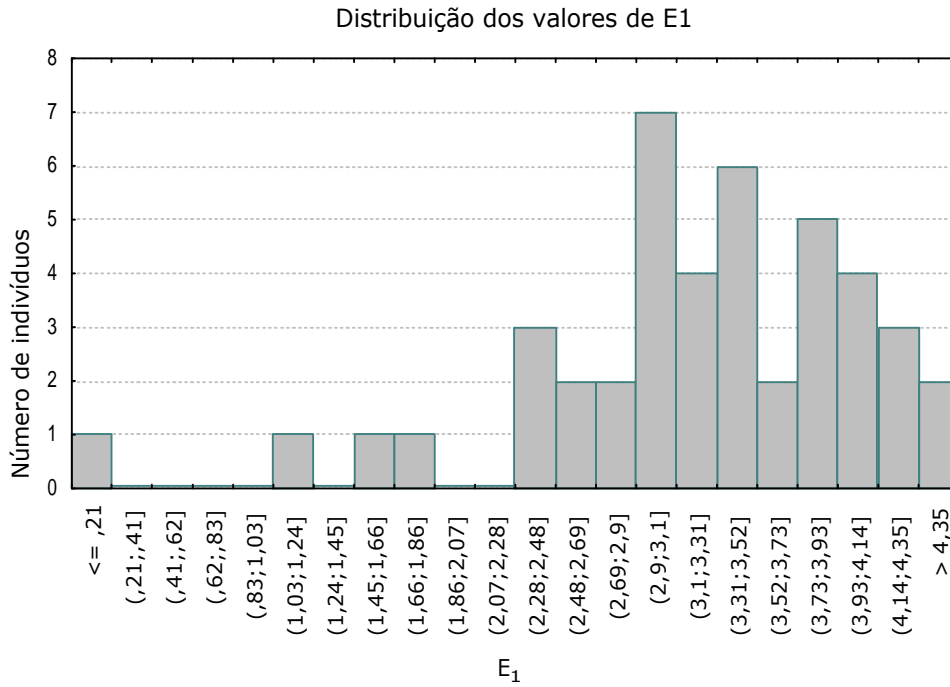
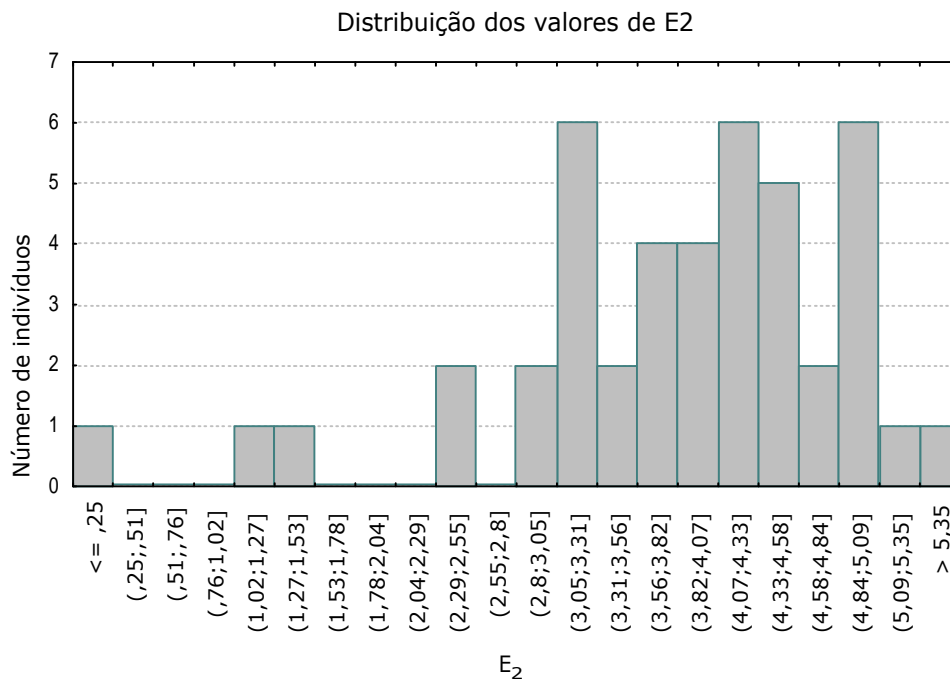
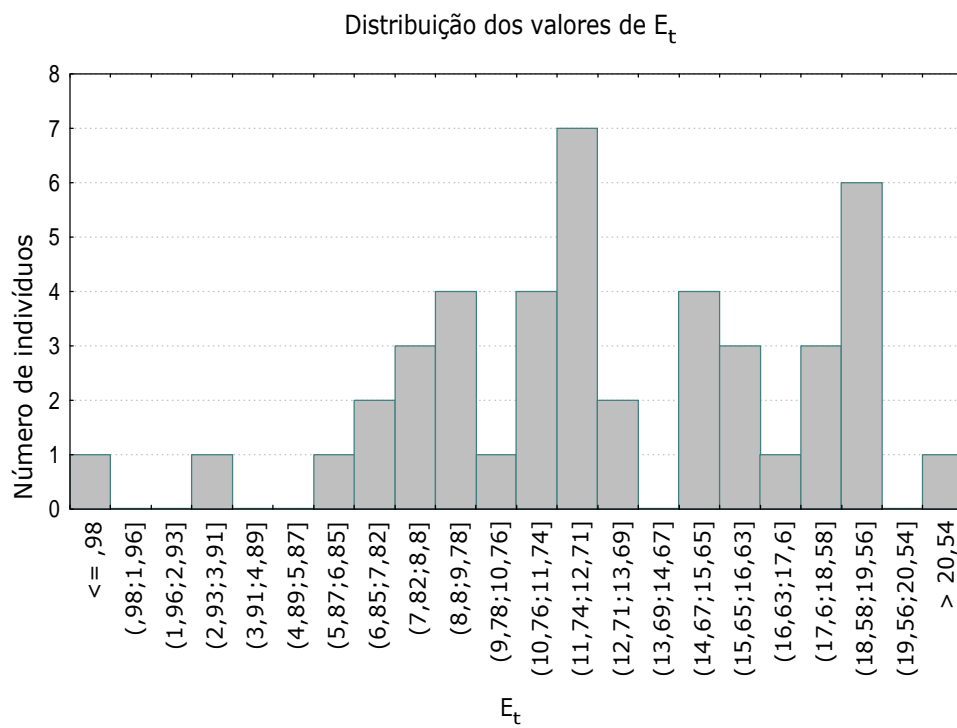
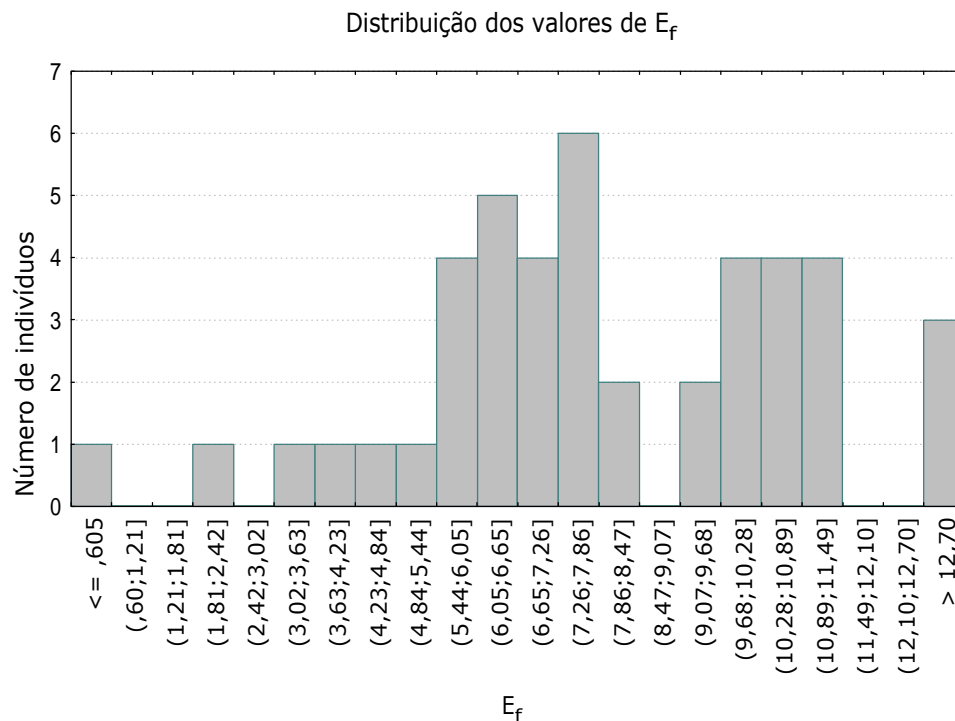
Figura 50. - Distribuição dos valores de  $E_1$  em 22 classes.Figura 51. - Distribuição dos valores de  $E_2$  em 22 classes.

Figura 52. - Distribuição dos valores de  $E_t$  em 22 classes.Figura 53. - Distribuição dos valores de  $E_f$  em 22 classes.

## Índice de interações e análise de conglomerados

O índice de interações ( $I_t$ ) relaciona o número real de combinações de notas duplas de um indivíduo e o número de combinações possíveis a partir do repertório individual; os resultados obtidos com sua determinação na nossa amostra confirmam a variação individual encontrada com os outros parâmetros. O índice de interações diminui à medida que o número de combinações possíveis aumenta, conforme sua escala geométrica. A partir de repertórios maiores que 10 tipos de notas, nos quais o número de interações possíveis é igual a 100 ou mais, a real possibilidade de se aproximar desse número vai ficando distante pois, na nossa amostra, o indivíduo que apresentou o maior número de duplas (105) tem 36 notas em seu repertório, o que equivale a 1296 interações possíveis. Dessa forma, embora a variação de repertório e combinações seja alta, ela está limitada por fatores físicos de ordem prática, como o limite individual de memorização dos cantos.

A análise de conglomerados para os 44 indivíduos de *Turdus rufiventris* foi realizada baseada nas relações entre as entropias calculadas para o canto de cada indivíduo e  $E_f$ . O dendrograma resultante (fig. 43) nos mostrou que há uma variação individual enorme, embora se reconheçam grupos já descritos com diferentes graus de afinidade. Realizamos então um outro dendrograma considerando os parâmetros de entropia ( $E_1$  e  $E_2$ ), temporais ( $E_f$  e notas emitidas por segundo), o repertório e o índice de interações, diversificando a análise em termos de características que definem o canto para determinar grupos menos artificiais (fig. 54).

Descreveremos brevemente o resultado dessa análise: a primeira repartição define dois grupos, o primeiro é menor e formado por onze indivíduos, que possuem os mais altos valores de entropia ( $E_1 > 3,8$ ) associados à ritmicidade mais rápida de canto (entre 2,2 e 3,2 notas/s). Os valores do índice de interações são os mais baixos da amostra (<

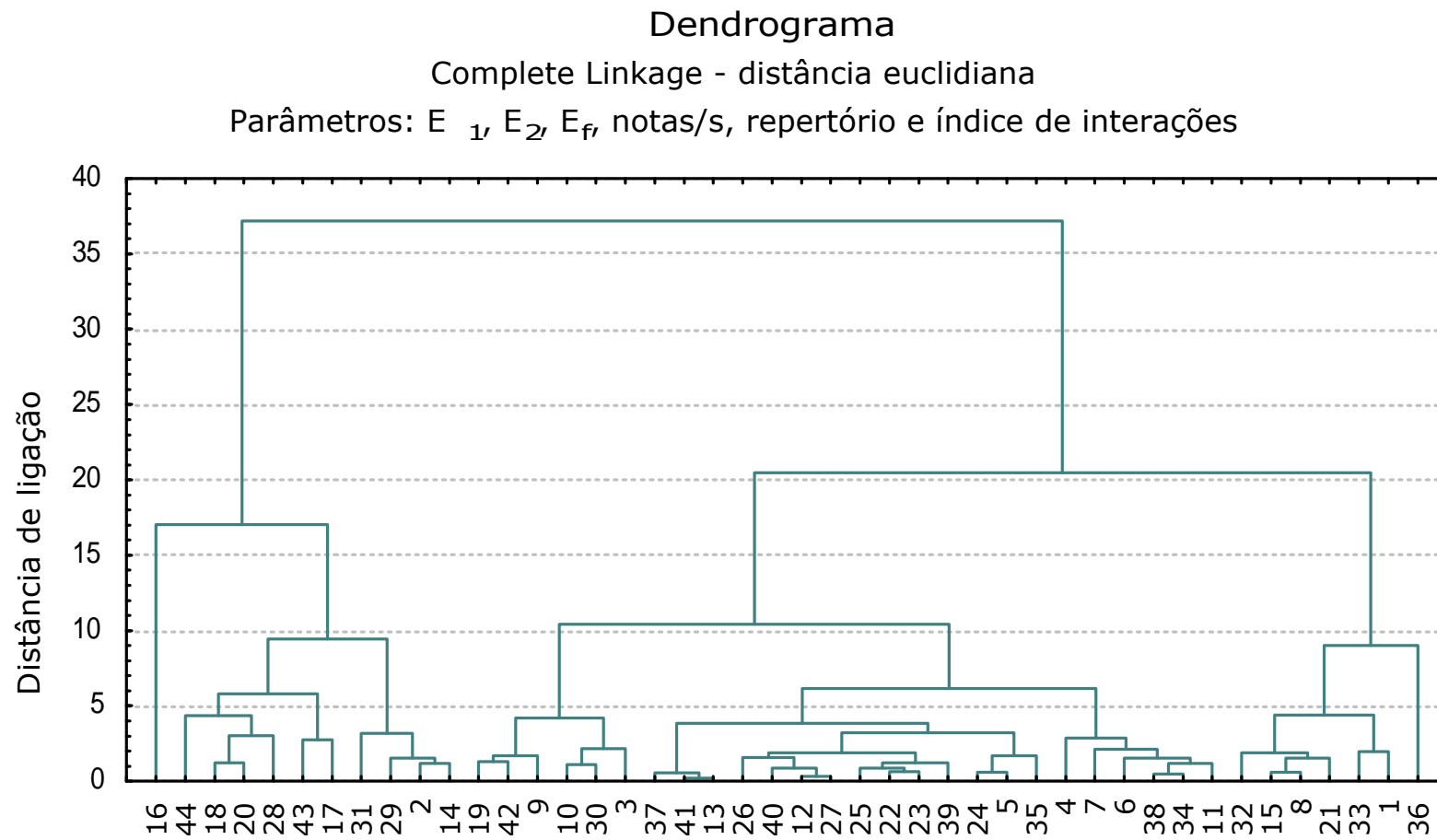
0,12) e o indivíduo 16 é destacado nesse grupo, por apresentar o maior repertório e o mais alto valor de  $E_2$ .

O segundo grande grupo, composto pelo resto dos indivíduos da amostra, subdivide-se em outros dois: um com os sete indivíduos com os mais baixos valores de entropia ( $E_1$  entre 0 e 2,4) associado a um ritmo de canto lento e altos valores de  $I_t$ , destacando-se o indivíduo 36 de entropia 0. O outro grupo é formado pelo resto dos indivíduos da amostra, com valores medianos para todos os parâmetros. Esse último grupo é subdividido em três outros: um com os valores de  $E_1$  abaixo de 2,9 e ritmo mais lento que os outros (ind. 11, 34, 38, 6, 7 e 4), o segundo contém quatorze indivíduos e é o maior grupo, cujos valores de  $E_1$  variam de 2,6 a 3,5, o ritmo é cerca de 2,4 notas/s e  $I_t$  cerca de 0,15. O último grupo descrito é formado pelos indivíduos 3, 30, 10, 9, 42 e 19; seus valores de  $E_1$  variam de 3,3 a 3,9 e eles apresentam valores baixos de  $I_t$  (0,13 a 0,09).

Essa análise sintetiza toda a diversidade de características dos cantos dos indivíduos da amostra e ilustra o alto nível de complexidade da comunicação da espécie *Turdus rufiventris*.



Figura 54. - Dendrograma dos 44 indivíduos de *Turdus rufiventris* com parâmetros temporais, entropia e repertório.



## Seqüências

As seqüências das notas variam intra e inter-individualmente e a magnitude dessa variação é tal que não se pode estabelecer um esquema que represente a sintaxe do canto de *Turdus rufiventris*.

As frases podem ser muito longas, com até 60 notas emitidas sem interrupção, como vemos no indivíduo 43 da amostra, ou as notas podem ser emitidas isoladamente, como ocorre nas seqüências dos indivíduos 1 e 30, por exemplo (anexo 2). Alguns indivíduos estruturam seu canto em frases curtas, com menos de 10 notas por frase (ind. 30, 32, 34 e 35, entre outros). Temos 10 indivíduos na nossa amostra que têm acima de 20 tipos de notas em seu repertório e todos eles apresentam frases longas em seu canto; o número máximo de notas por frase entre esses indivíduos varia de 15 a 60.

Em virtude da grande variação das seqüências de notas, tivemos dificuldade em encontrar um esquema gráfico para representá-las de forma homogênea. Escolhemos alguns indivíduos como exemplo e mostramos suas seqüências completas em diagramas baseados na entropia condicionada ( $E_2$ ) ou cadeia de Markov de 1ª ordem, material do anexo 2. As notas estão representadas por letras e as setas correspondem ao seguimento imediato das seqüências. As setas em curva indicam que a mesma nota foi repetida. As porcentagens acima das setas representam o número de vezes que a nota seguinte é emitida. Para melhor clareza dos esquemas, algumas notas foram representadas mais de uma vez e foram coloridas em verde para marcar a repetição. Marcamos as porcentagens em que determinadas notas iniciaram as frases em azul e as que finalizaram em vermelho.

Os indivíduos com repertórios grandes tendem a ter um esquema complicado de seqüências e foram os que mais necessitaram ter a mesma nota representada mais de uma vez, para evitar uma rede intrincada de setas que impedem a visualização do diagrama.

O indivíduo 4 só tem 9 notas em seu repertório e mostra um comportamento de emissão relativamente estereotipado: o esquema de A a E é seqüencial e previsível, mas pode ter algumas variações no final das frases; ocorrem também algumas variações na nota inicial de 9 do total de 21 frases que completam o seu registro. O indivíduo 12 mostra também uma emissão de notas seqüencial, havendo alguma imprevisibilidade após a nota C e na forma de iniciar as frases.

O indivíduo 8 só tem 5 frases em sua gravação e 7 notas no repertório e, apesar da seqüência ser relativamente simples, ela não é seqüencialmente progressiva, mas centraliza seu esquema de emissão na letra A, que inicia todas as frases e finaliza 60 % das vezes. O indivíduo 33, com somente 4 notas em seu repertório, mostra 100 % de certeza somente na emissão da seqüência BC.

O indivíduo 11, do qual já descrevemos algumas particularidades de suas seqüências, como o grande número de emissões alternadas das notas C e D, mostra ter outras características peculiares em seu canto, como a repetição freqüente da mesma nota (particularmente A, B, E, H e I) e a imprevisibilidade em iniciar e finalizar as frases.

O indivíduo 2, que possui 26 notas em seu repertório, inicia seu canto com a frase ABCDEFGHGB. A segunda frase que ele emite é igual a primeira sem a última nota B e, a partir da terceira frase até a vigésima que compõe o total gravado para esse indivíduo, todas as frases têm seqüências diferentes, sem repetição de qualquer padrão. As frases podem iniciar com as notas A, E, I, J, K, N, O, P, W, X ou Z e podem finalizar com ainda mais opções: B, D, F, G, H, J, K, M, O, P, R, T, V ou X. Algumas notas são emitidas duas vezes em seguida, no início ou no final das frases: J, K, M, V, mas há uma exceção: a nota S também foi emitida duas vezes antes de ser emitida a nota I no final.

O indivíduo 14 precisou de duas folhas para a representação gráfica de sua emissão. Seu repertório de 27 notas é emitido com poucas certezas: em 100% das vezes que é emitida a nota V ela é seguida da

nota R, ocorrendo o mesmo com a nota Q seguida de S e Z seguida de M; as outras emissões possuem graus diferentes de incerteza. Esse é um exemplo bem representativo, pois gravamos um total de 850 notas desse indivíduo, o que permite uma melhor avaliação do seu comportamento de emissão.

O indivíduo 43 tem 20 notas em seu repertório e demonstra seqüencialidade maior em suas emissões, uma exceção entre os que têm repertórios relativamente grandes. É também um exemplo bem representativo, com uma amostra de 424 notas. Embora exiba algumas variações, esse indivíduo repete alguns padrões de seqüência: ABCDE, GHI e KLM.

Outro exemplo com uma gravação longa (total de 291 notas) é o indivíduo 30, que tem um repertório de 17 notas emitidas em frases relativamente curtas, geralmente 5 ou 6 notas por frase. Seu comportamento de emissão também é muito variável, como mostra o esquema correspondente.

Esses esquemas nos mostram a diversidade de estratégias na emissão das notas que podemos encontrar em indivíduos de uma mesma espécie. Não se pode estabelecer uma regra de seqüência de notas que represente o comportamento de emissão de *Turdus rufiventris*. Entre as espécies já estudadas, as regras de organização das seqüências dos elementos do canto variam enormemente, como relata Slater (1983), que as classifica segundo dois tipos: 1) o mesmo elemento do canto é repetido um certo número de vezes antes de passar para um diferente; 2) outras espécies apresentam a chamada "variedade imediata", na qual raramente ou nunca um tipo de nota é emitido duas vezes em seguida. As regras de variação entre os tipos de notas podem ser determinísticas ou probabilísticas. Em alguns casos os modelos estocásticos das seqüências mais complexas são explicados satisfatoriamente com uma cadeia de Markov de 1ª ordem, outros necessitam de modelos com ordens mais elevadas. McCowan (1999) analisou as seqüências dos assobios do

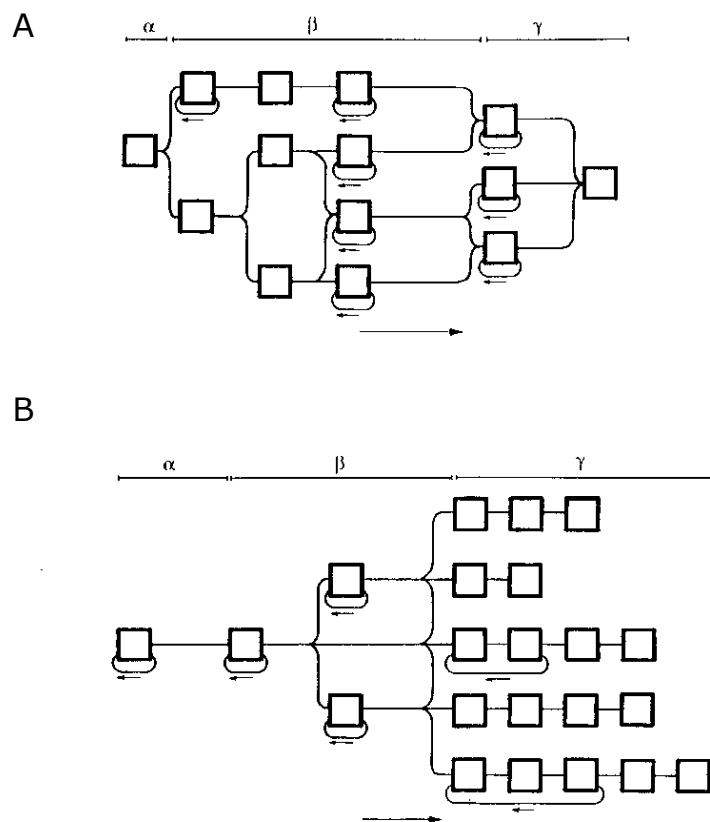
golfinho *Tursiops truncatus* em um diagrama baseado na cadeia de Markov de 1ª ordem, que forneceu uma indicação preliminar da complexidade das seqüências, porém cita a dificuldade de realização de análises em ordens mais elevadas, que exigem uma amostra gigantesca.

As seqüências de notas de espécies com repertórios muito grandes podem apresentar uma grande porcentagem de repetições, como é o caso de *Alauda arvensis*: com mais de 700 notas diferentes registrados para um único indivíduo, há 24% de probabilidade de repetir a mesma nota de forma consecutiva e 32% em frases diferentes (Aubin 1982).

Naguib e Kolb (1992) foram bem sucedidos em definir a estrutura da organização da seqüência dos elementos sonoros de duas espécies de rouxinóis, *Luscinia luscinia* e *Luscinia svecica*, ambas com repertórios maiores que 200 tipos. Os autores relatam que a organização da sintaxe do canto, definida nas seções  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , tem relação com a seqüência dos elementos (ver fig. 55).

No caso do Sabiá-laranjeira, a determinação da sintaxe está longe de ser estabelecida, já que não se pode definir uma regra para a emissão das seqüências de notas que explique o comportamento da espécie, pois cada indivíduo parece ter sua própria regra que, por sua vez, pode ser variável. Verificamos que *Turdus rufiventris* é muito sensível a perturbações externas quando está emitindo seu canto, característica que dificulta muito a realização da gravação (Silva 1997). O indivíduo que está cantando e se sente perturbado de alguma forma, pode parar de cantar, deixar o local ou modificar a continuidade de seu canto, aumentando as pausas entre as notas e modificando, dessa forma, a seqüência. Assim, as amostras maiores são importantes não só estatisticamente, mas também para permitir que o macho mostre de forma mais espontânea e fidedigna seu canto e a seqüência de notas.

Figura 55. – Dendrograma esquemático da sucessão dos elementos do canto de *Luscinia luscinia* (A) e *Luscinia svecica* (B). Cada quadrado representa um elemento diferente. As diferentes seções do canto estão marcadas como  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . As setas indicam a direção da seqüência dos elementos. (Retirado de Naguib & Kolb 1992).



## Ontogênese

Muitos fenômenos biológicos passam de um estado menor de organização para uma organização maior durante o seu desenvolvimento (Benedito-Silva 1997). É o que acontece no decorrer do desenvolvimento do ciclo vigília-sono em seres humanos (Benedito-Silva *op. cit.*), com a comunicação vocal de golfinhos (McCowan 1999) e na ontogênese do canto dos pássaros *Zonotrichia leucophrys* (Marler 1970), *Fringilla coelebs* (Catchpole & Slater 1995) e *Poephila guttata* (Leonardo & Konishi 1999).

Nossa experiência com um jovem macho de *Turdus rufiventris*, impedido de ter o desenvolvimento normal do seu canto, confirma o achado dos outros autores: este canto não apresenta a mesma organização do canto já formado de um indivíduo adulto, com estabilidade na estrutura das notas, nos intervalos das emissões e regularidade nas repetições. Assim, o canto do adulto deveria ter uma entropia menor que a do filhote, por ser mais estruturado. No caso do Sabiá-laranjeira, não temos como comparar o canto do filhote com o do adulto em valor de entropia, pois essa varia muito entre os indivíduos. Vimos que a estrutura física das notas do filhote é também mais irregular e diferenciada da do adulto, apresentando mais harmônicos e menos modulações.

O canto desorganizado do nosso filhote e a variação individual em diversos aspectos do canto de *T. rufiventris* nos levam a assumir que a comunicação vocal da espécie é mediada pela aprendizagem. Mas os modelos de aprendizagem conhecidos envolvem a repetição de elementos do canto dos tutores e vizinhos de território (Baptista 1975, Krebs 1977, Baptista & Petrinovich 1984), o que não corresponde ao observado no Sabiá-laranjeira. Encontramos uma porcentagem muito pequena de compartilhamento de notas entre os indivíduos de *T. rufiventris* da mesma localidade: dos 4,05 % de notas compartilhadas na amostra, 50% o foram entre indivíduos de territórios muito distantes entre si (Silva 1997).

Nelson e Marler (1994) apresentam um modelo de desenvolvimento do canto aprendido em que os dialetos são ativados pela grande produção de cantos previamente memorizados e pela eliminação seletiva daqueles que não são semelhantes aos dialetos dos machos interativos. Catchpole e Slater (1995) justificam a maior similaridade entre cantos de indivíduos mais distantes do que entre vizinhos com a possibilidade da aprendizagem ocorrer antes da dispersão e do estabelecimento dos territórios. Não temos dados acerca da dispersão dos jovens sabiás, mas sabemos que essa espécie não realiza migrações e indivíduos de locais muito distantes, como Morro do Chapéu (Bahia) e Magdalena (Argentina), certamente nunca se encontraram. O compartilhamento de notas entre indivíduos de localidades tão distantes deve ser ao acaso, mesmo porque a repetição de notas no canto do Sabiá-laranjeira é exceção. Isso nos leva a crer que talvez nessa espécie a maneira de estruturação das notas e a ritmicidade do canto sejam mediadas pela aprendizagem e que a diversidade de formatos de notas tenha se originado da capacidade de criação do animal, através da recombinação de informações inatas e aprendidas.

Mas se compararmos as notas do canto a um sistema de signos como é o alfabeto para representação dos fonemas da linguagem humana, parece ser improvável que uma espécie tenha um número tão gigantesco de letras em seu sistema de comunicação. Mesmo tratando-se da linguagem humana, embora a eficiência máxima da linguagem aumente com o tamanho da palavra, isto é limitado por uma restrição natural contra essa tendência: o aumento da dificuldade de memorização diminui a taxa de comunicação (Plotkin & Nowak 2000). Essa comparação é então equivocada e ainda não sabemos qual o significado de cada elemento do canto. Possivelmente é o conjunto de informações que compõem a estrutura organizacional do sinal sonoro e sua variação, que forma o código específico funcional, mas não se pode isolar e determinar de antemão quais são os fatores relevantes.



## Especificidade

A importância da especificidade no sinal de comunicação das aves é ainda mais evidente quando encontramos espécies em sintopia e cantos variados individualmente de tal forma que se tornam semelhantes aos nossos ouvidos. Os pássaros, porém, não têm problema em diferenciar a própria espécie das outras, mesmo vivendo em ambiente com restrições à comunicação visual e sonora, como é o caso de uma floresta. Verificamos que entre as quatro espécies sintópicas que estudamos, *Turdus rufiventris*, *T. leucomelas*, *T. amaurochalinus* e *T. albicollis*, entidades específicas taxonomicamente bem definidas, um ornitólogo pode facilmente confundir seus cantos, já que os valores dos parâmetros físicos se sobrepõem (Silva & Vielliard 1994).

Todavia, é possível distinguir as espécies a partir do conhecimento das características distintivas aplicadas caso a caso, como vimos após a realização da análise de conglomerados que mostrou a separação dos grupos específicos *T. amaurochalinus* e *T. albicollis* em função dos parâmetros temporais e de frequência, embora não tenha diferenciado *T. rufiventris* de *T. leucomelas*. Podemos reconhecer essas duas últimas espécies através da avaliação das seqüências das notas, que parece ter um número maior de repetições consecutivas da mesma nota em *T. leucomelas*, emitidas em frases mais curtas e com maior número de notas com trinados do que em *T. rufiventris*, embora a alta variação individual encontrada em ambas espécies dificulte uma identificação rápida e eficiente mesmo com o conhecimento desses distintivos.

Os experimentos de "play-back" representam a nossa forma de perguntar ao animal se ele reconhece determinado sinal de comunicação como sendo de sua própria espécie. As dificuldades na execução e avaliação da resposta desses experimentos em ambiente natural estão relacionadas às características restritivas à propagação do som e à dependência do estado fisiológico do indivíduo testado (Dabelsteen 1980). Os parâmetros temporais do sinal sonoro são os que, geralmente, mais

interessam às aves. Se eles são modificados de forma relevante pelo canal de transmissão, o processo de decodificação corre o risco de falhar (Mathevon 1996). Todavia, Holland e colaboradores (2000), realizando experimentos de “play-back” modificados em *Troglodytes troglodytes*, verificaram que a ritmicidade isoladamente não contém a informação específica, mas alterações no ritmo, seqüência e espectro de freqüência, juntos, afetam a resposta territorial. Parece que a comunicação sonora está codificada em um conjunto de parâmetros; mesmo que haja um fator que seja mais relevante na codificação, a funcionalidade depende da combinação entre os diferentes elementos do canto.

A redundância do sinal pode garantir a eficiência da sua transmissão no meio natural perturbado por ruídos e reverberação (Lengagne *et al.* 1999a, Mathevon 1996). Esta afirmativa procede se levarmos em consideração a estratégia de comunicação definida pela espécie e o fato de que na natureza os processos biológicos são parcimoniosos; não há desperdício de esforço e energia, pois a seleção natural permite que permaneçam, somente, as características que são de algum modo vantajosas para a espécie. O pingüin *Aptenodytes patagonicus*, que vive em imensas colônias barulhentas com o agravo do forte ruído do vento freqüente no seu ambiente, individualmente diminui a entropia do seu sinal sonoro conforme o aumento do ruído ao seu redor (Lengagne *et al.* 1999a). Pica-paus grandes do gênero *Campephilus*, que habitam florestas tropicais, estabeleceram uma estratégia de canto com a mínima entropia possível: uma tamborilada bissilábica, que corresponde a apenas um bit de informação, mas garante a comunicação (Vielliard com. pess.).

No caso do Sabiá-laranjeira, que só emite seu canto durante poucos meses por ano e ainda é muito suscetível a perturbações externas durante essa fase, a complexidade da estrutura do seu canto deve ter funcionalidade em diversos aspectos para compensar o esforço da produção e a manutenção da eficiência da comunicação.

## Versatilidade e caos

Diante do exposto podemos dizer que a comunicação sonora do Sabiá-laranjeira é um sistema biológico complexo, dinâmico e versátil, no sentido de imprevisível. Avaliamos a complexidade desse sistema em diversos níveis de organização: no nível específico - *Turdus rufiventris* - em comparação com espécies de comportamento versátil semelhante, podemos dizer que possui entropia alta com um alto fluxo de informações. Apresenta imprevisibilidade, pois a variação dos cantos entre os indivíduos é tal que não se pode falar em variação populacional e não se tem elementos para prever que tipo de canto um indivíduo pode emitir. Em um outro nível, considerando o indivíduo, possui variação e imprevisibilidade na ritmicidade e no fluxo de informações, dependendo do estado fisiológico ou de perturbação externa. A mesma variação ocorre em relação ao tamanho das frases, às seqüências dos elementos do canto, aos tipos de notas emitidas, à proporção da emissão dos tipos de notas e à quantidade total emitida. Assim, a única palavra que pode expressar o significado desse sinal de comunicação é o caos, termo utilizado nas últimas décadas a partir do estudo dos fenômenos não-lineares.

Etimologicamente a palavra caos vem do grego  $\chi\alpha\omicron\varsigma$  [ka-ô]. Segundo o Dictionnaire encyclopédique Quillet, caos é a confusão de todas as coisas – dentro da cosmogonia antiga, confusão geral dos elementos antes de sua separação e seu arranjo para a formação do mundo. No sentido figurativo, confusão, desordem extrema. Gleick (1990) define caos como uma nova ciência criada na última década por físicos, biólogos, astrônomos e economistas, dando um novo enfoque à complexidade da natureza. O caos demonstrou que problemas que tinham soluções simples e deterministas pelas leis de Newton, na verdade apresentavam uma riqueza de comportamentos muito grande em função das suas não-linearidades, dependendo de seus parâmetros. Mudanças em parâmetros produzem trajetórias, às vezes, não previsíveis. Esse

fenômeno recebe a denominação já consagrada de “caos determinístico” (ver Piqueira 1996). Qualitativamente, o comportamento caótico determinístico apresenta as características que listamos a seguir (Fiedler-Ferrara & Prado 1994) e faremos um paralelo de cada uma com o observado nesse estudo. São elas:

a) Imprevisibilidade. - O conhecimento do estado do sistema durante um tempo arbitrariamente longo não permite prever, de maneira imediata, sua evolução posterior. Analisando as seqüências de notas do indivíduo 14 (anexo 2), podemos verificar as incertezas na emissão das notas com as probabilidades calculadas, apenas como exemplo, já que a imprevisibilidade ocorre nos diversos níveis de organização do canto do Sabiá-laranjeira.

b) Espectro contínuo de frequências. - Caracteriza um comportamento aperiódico. Se tomarmos como exemplo o parâmetro entropia de 1º momento, verificamos que há uma gradação contínua de valores para os indivíduos da nossa amostra; não há divisão em classes.

c) Invariança de escala. - Indica uma certa estrutura hierárquica com características de auto-similaridade. Essa característica pode ser demonstrada de diversas maneiras, uma delas é a verificação da repetição de padrões sequenciais de notas, como no esquema do indivíduo 43 (anexo 2).

d) Estacionaridade. - Significa que, embora aperiodicamente, os padrões tendem à repetição. É o que define a emissão de notas dos indivíduos estudados: há variação e irregularidade, mas o número de notas é limitado, havendo muitas repetições individuais.

A versatilidade do canto de *Turdus rufiventris* foi abordada apenas na 1º ordem da cadeia de Markov, sem resultados conclusivos, mas isto nos indicou que ordens mais elevadas poderiam elucidar o nível da imprevisibilidade de forma mais abrangente.

## CONCLUSÕES

A atuação do cientista é fundamentada no entendimento e na explicação dos fenômenos naturais. Com a finalidade de atingir esse objetivo, o cientista freqüentemente elabora hipóteses e tenta aplicá-las aos processos que envolvem determinados fenômenos. Não existe uma teoria que possa ser generalizada à todos os processos complexos da natureza: é necessário descrever a realidade do fenômeno para depois formular uma teoria que o explique, o caminho oposto é certeza de erro.

Antes de aplicarmos a teoria da informação no intuito de definir a estrutura e organização da comunicação sonora do Sabiá-laranjeira, observamos seu comportamento em ambiente natural durante muitas horas e realizamos uma exaustiva descrição de seu canto. Após a análise da entropia de 1º momento ou entropia não condicionada, partimos para o cálculo da entropia de 2º momento ou entropia condicionada e ainda criamos índices que incorporaram parâmetros temporais à entropia para delimitarmos de forma mais eficiente a complexidade do canto do Sabiá-laranjeira. Nossos resultados não esgotaram o tema, já que em ciência, felizmente, não existe respostas definitivas que expliquem todos os aspectos de um problema. O presente trabalho representa apenas um pequeno avanço no conhecimento humano, mas deve permitir futuros progressos.

Podemos concluir que o sinal de comunicação sonora de *Turdus rufiventris* tem variação individual e inter-individual em diversos níveis: quanto ao repertório, quanto à proporção da emissão das notas e quanto à suas seqüências. A variação se repete com as entropias de 1º e 2º momentos, com a taxa de entropia temporal média ( $E_t$ ) e a taxa de entropia rítmica média ( $E_f$ ). Este último índice teve uma contribuição importante nas análises, já que leva em conta um caráter que varia pouco tanto inter quanto intra-individualmente e é um dos distintivos específicos.

Não há correlação entre as localidades, a densidade populacional e o tipo de habitat da espécie com a entropia, pelo menos quando esses fatores são considerados isoladamente. A análise de conglomerados que realizamos com o tamanho do repertório, o ritmo e os índices  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_f$  e  $I_t$  mostrou que existem traços em comum entre indivíduos da mesma população, pois a partir do terceiro nível de repartição encontramos indivíduos da mesma localidade no mesmo grupo. Mas em níveis de afinidades mais próximos, os grupos são formados por indivíduos de localidades muito distantes. O maior grupo da análise de conglomerados, que apresenta quatorze indivíduos com ritmo semelhantes e valores mais homogêneos dos seus índices, reúne todos os indivíduos da região Sul, alguns do Sudeste e um do Nordeste. Confirma a pouca variação apresentada entre os parâmetros dos representantes do Sul, mas não se pode identificar a existência de um padrão regional. Em uma mesma população, entretanto, pode-se encontrar algumas similaridades, mas ao mesmo tempo, há indivíduos de cantos completamente diferentes. Estas diferenças foram ressaltadas com os índices  $E_f$  e  $I_t$ , que juntamente com a entropia permitiram a constatação desse padrão incomum de variação de canto.

Os exemplos de esquemas de seqüências das notas mostraram grande variação individual: alguns indivíduos apresentam seqüências predominantemente dicotômicas, outros consecutivas, outros circulares. Estes esquemas também revelaram a importância das gravações longas, pois elas representam melhor o comportamento de emissão.

O estudo da ontogênese do canto do Sabiá-laranjeira nos mostrou uma nova modalidade de desenvolvimento do canto: o canto criativo. No modelo de canto mediado pela aprendizagem apresentado pela espécie mais estudada nesse aspecto, o Tico-tico-da-Califórnia *Zonotrichia leucophrys*, os jovens aprendem o canto dos tutores e vizinhos por imitação. Este modelo não se aplica ao caso de *Turdus rufiventris*, já que não encontramos imitações das notas entre indivíduos vizinhos. Apesar da

existência de alguma concordância entre os cantos de indivíduos da mesma população, a ausência de semelhança entre notas de vizinhos próximos nos leva a concluir que se os indivíduos não imitam a forma das notas para emití-las, eles devem recombinaar as informações da produção dos elementos do canto no cérebro dentro dos padrões específicos e criar as notas com o auxílio do ajuste motor permitido pela audição do canto dos outros machos interativos. Experimentos com filhotes em isolamento acústico e a verificação dos critérios de seleção para o acasalamento em função da variação individual estão em nossos planos para futuras pesquisas.

Nosso estudo também nos permitiu concluir que o canto do Sabiá-laranjeira tem um comportamento caótico, pois os diversos aspectos da sua complexidade concordam com as premissas da teoria do caos: a emissão do canto é tão sensível às condições prévias quanto às que alteram a previsibilidade das variações das condições meteorológicas - um dia de queda brusca de temperatura durante o período reprodutivo pode interromper ou alterar drasticamente a emissão do canto dos indivíduos dessa espécie; os parâmetros físicos do canto se apresentam em um espectro contínuo de frequências, não se identificam classes; a auto-similaridade pode ser verificada na repetição de padrões de seqüências de notas; e a repetição aperiódica das notas mostra a estacionaridade do canto.

Como declarou recentemente (*Jornal da Ciência* 15 (452), 2001, 12) o poeta Ferreira Gullar, "Certas descobertas da ciência situam-se tão distantes de nosso modo de pensar o mundo que talvez só mesmo a linguagem poética - que pretende superar o pensamento conceitual - seja capaz de expressá-la verbalmente".

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcock, J. (1942). - *Animal Behavior, an evolutionary approach*. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Mass.
- Altschul, S. F. (1991). - Amino acid substitution matrices from an information theoretic perspective. *J. Molecular Biology* 219(3): 555-565.
- Altum, B. (1868). - *Der Vögel und sein Leben*. W. Niemann, Münster, 196 pp.
- Aubin, T. (1982). - Habituation au chant territorial de l'Alouette des champs *Alauda arvensis*; rôle de la diversité et de la monotonie. *Biol. Behav.* 7: 353-362.
- & Brémond, J.C. (1983). - The process of species-specific song recognition in the Skylark *Alauda arvensis*: an experimental study by means of synthesis. *Z. Tierpsychol.* 61: 141-152.
- & Jouventin, P. (1998). - Cocktail-party effect in King Penguin colonies. *Proc. R. Soc. Lond. B* 265: 1665-1673.
- Baker, M.C. & Cunningham, M.A. (1985). - The biology of bird-song dialects. *Behav. Brain Sci.* 8: 85-133.
- Baptista, L.F. (1975). - Song dialects and demes in sedentary populations of the White-crowned Sparrow (*Zonotrichia leucophrys nuttalli*). *Univ. California Publ. Zool.* 105: 1-52.
- (1977). - Geographic variation in song and dialects of the Puget Sound White-crowned Sparrow. *Condor* 79: 356-370.
- & Petronovich, L. (1984). - Social interaction, sensitive phases and the song template hypothesis in the White-crowned Sparrow. *Anim. Behav.* 32: 172-181.
- Barange, M. & Campos, B. (1991). - Models of species abundance: a critique of and an alternative to the dynamics model. *Marine Ecology Progress Series* 69(3): 293-298.
- Beer, C.G. (1982). - Conceptual issues in the study of communication. Pp. 279-310 in D.E. Kroodsma & E.H. Miller (eds.). *Acoustic communication in birds*. Academic Press, New York.
- Beme, I.R. (1994). - Formation of acoustic repertoire in the Turdidae. *J. Ornith.* 135 (Sonderh.): 157.
- Benedito-Silva, A.A. (1997). - *Entropia informacional e cronobiologia*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Billot, P. & Pitard, B. (1992). - Taguchi design experiments for optimizing the gas chromatographic analysis of residual solvents in bulk pharmaceuticals. *J. Chromatography* 623(2): 305-313.



- Brainard, M.S. & Doupe, A.J. (2000). - Auditory feedback in learning and maintenance of vocal behaviour. *Nature Neuroscience* (1): 31-40.
- Brenowitz, E.A., Nalls, B., Wingfield, J.C. & Kroodsma, D.E. (1991). - Seasonal changes in avian song nuclei without seasonal changes in song repertoire. *J. Neurosci.* 11: 1367-1374.
- Calvo, J.F., Palazon, J.A., Esteve, M.A., Suarez, M.L., Torres, A., Vidal-Abarcam, M.R. & Ramirez-Diaz, L. (1992). - The use of multivariate analysis for the ecological characterization of landscape: The Mula River watershed, south-east Spain. *J. Environmental Management* 34(4): 297-308.
- Canady, R.A., Kroodsma, D.E. & Nottebohm, F. (1984). - Population differences in complexity of a learned skill are correlated with the brain space involved. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 81: 6232-6234.
- Catchpole, C.K. & Slater, P.J.B. (1995). - *Bird song: biological themes and variations*. Cambridge University Press.
- Chan, S.C., Wong, A.K.C. & Chiu, D.K.Y. (1992). - A survey of multiple sequence comparison methods. *Bull. Mathematical Biology* 54(4): 563-598.
- Dabelsteen, T. (1980). - Factors influencing the response in play-back experiments with Blackbirds *Turdus merula*. *Biophon* 7(3): 31-34.
- Dawkins, M.S. (1989). - *Explicando o comportamento animal*. Editora Manole, São Paulo.
- De Gheff, V.J. (1978). - Hierarchical cluster analysis. Pp. 115-144 in Colgan, P. (org.). *Quantitative Ethology*. J. Wiley, New York.
- Dictionnaire encyclopédique Quillet (1968). Librairie Aristide Quillet, Paris.
- Dolezal, J., Hraba, T., & Celikovsky, S. (1991). - Influence of the cell interaction parameters on the simulated CD4 positive lymphocyte depletion in HIV infection. *Folia Biologica* (Prague) 37(1): 42-51.
- Douglass, J.K., Wilkens, L., Pantazelou, E. & Moss, F. (1993). - Noise enhancement of information transfer in crayfish mechanoreceptors by stochastic resonance. *Nature* 365(6444): 337-340.
- Espmark, Y. (1995). - Individual and local variations in the song of the Snow Bunting *Plectrophenax nivalis* on Spitsbergen. *Bioacoustics* 6: 117-133.
- Fernandez-Montraveta, C., Ortega, J. & Olea, J. (1991). - Information transfer through intraspecific interactions in a lycosid spider. *Miscellanea Zoologica* (Barcelona) 15: 69-80.
- Fidler-Ferrara, N. & Prado, C.P.C. (1994). - *Caos - uma introdução*. Edgard Blücher, São Paulo.
- Flusser, J. (1992). - An adaptive method for image registration. *Pattern Recognition* 25(1): 45-54.

- Friston, K.J., Frith, C.D., Passingham, R.E., Dolan, R.J., Liddle, P.F. & Frackowiak, R.S.J. (1992). - Entropy and cortical activity: Information theory and PET findings. *Cerebral Cortex* 2(3): 259-267.
- Gabrielyan, A.E., Shulga, A.A. & Kripichnikov, M.P. (1992). - Theoretical analysis of primary structures of growth hormones and prolactin receptors: Prediction of ligand-binding sites. *Molekulyarnaya Biologiya* (Moscow) 26(4): 916-926.
- Gaunt, S.L.L., Baptista, L.F., Sanchez, J.E. & Hernandez, D. (1994). - Song learning as evidenced from song sharing in two hummingbird species (*Colibri coruscans* and *C. thalassinus*). *Auk* 111(1): 87-103.
- Germine, M. (1993). - Information and psychopathology. *J. Nerv. Mental Disease* 181(6): 382-387.
- Giannoni, M.R., Ferrari, I. & Giannoni, M.A. (1990). - Cytogenetic analysis of Thrush (*Turdus*, Muscicapidae) species. *Rev. Brasil. Genet.* 13 (1): 33-46.
- Gleick, J. (1990). - *Caos*. [tradução de *Chaos*. Penguin, Nova York, 1987] Campus, Rio de Janeiro.
- Goller, F. & Larsen, O.N. (1998). - New views on sound generating mechanisms. P. 216 in N.J. Adams & R.H. Slotow (eds.). Proc. 22 Int. Ornithol. Congr., Durban. *Ostrich* 69.
- Graben, P.B., Saddy, J.D., Schlesewsky, M. & Kurths, J. (2000). - Symbolic dynamics of event-related brain potentials. *Physical Review* 62(4), part B: 5518-5541.
- Haddad, C.F.B. (1995). - Comunicação em Anuros (Amphibia). *Anais de Etologia* 13: 116-132.
- Hayashi, Y., Matsuda, R. & Nakamura, A. (1990). - Quantity and wavelength optimization based on information theory of chromatography. *J. Chromatographic Science* 28(12): 628-632.
- , Matsuda, R. & Jinno, K. (1991). - Feasible solutions for optimization problems involving unresolved peaks using retention prediction and information theory. *Chromatographia* 31(11-12): 554-560.
- Holland, J., Dabelsteen, T. & Paris, A.L. (2000). - Coding in the song of the Wren: importance of rhythmicity, syntax and element structure. *Anim. Behav.* 60: 463-470.
- Huber, J.F.K., Kenndler, E., Reich, G., Hack, W. & Wolf, J. (1993). - Optimal selection of gas chromatographic columns for the analytical control of chemical warfare agents by application of information theory to retention data. *Analytical Chemistry* 65(20): 2903-2906.
- Isaac, D. & Marler, P. (1963). - Ordering of sequences of singing behaviour of Mistle Thrushes in relationship to timing. *Anim. Behav.* 11:179-188.

- Jarosik, V. (1991). - Are diversity indices of carabid beetle (Coleoptera, Carabidae) communities useful, redundant, or misleading? *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 88(5): 273-279.
- Jarvis, E.D., Ribeiro, S., Silva, M.L., Ventura, D., Vielliard, J. & Mello, C.V. (2000). - Behaviorally-driven gene expression reveals hummingbird brain vocal nuclei. *Nature* 406(6796), 628-632.
- Johnsgard, P.A. (1967). - *Animal Behavior*. W.M.C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- Jordan, J.C. Jr. (1990). - Evolution towards increasing entropy according to the Boltzmann model. *Evolutionary Theory* 9(2): 255-278.
- Jouventin, P., Aubin, T. & Lengagne, T. (1999). - Finding a parent in a King Penguin colony: the acoustic system of individual recognition. *Anim. Behav.* 57: 1175-1183.
- Jurisevic, M., Sanderson, K. & Baudinete, R. (1998). - Energetics of avian vocalisations. P. 373 in N.J. Adams & R.H. Slotow (eds.). Proc. 22 Int. Ornithol. Congr., Durban. *Ostrich* 69.
- Kettle, R. & Vielliard, J. (1991). - Documentation standards for wildlife sound recordings. *Bioacoustics* 3: 235-238.
- Kolmes, S.A. & Sommeijer, M.J. (1992). - A quantitative analysis of behavioral specialization among worker stingless bees (*Melipona favosa*) performing hive duties (Hymenoptera, Apidae). *J. Kansas Entomol. Soc.* 65(4): 421-430.
- Konishi, M. (1965). - The role of auditory feedback in the control of vocalization in the White-crowned Sparrow. *Z. Tierpsychol.* 22: 770-783.
- Krebs, J.R. (1977). - Song and territory in the Great Tit *Parus major*. In: Stonehouse, B. & Perrins, C. (eds.) *Evolutionary ecology*, vol.I. Macmillan Press, London.
- & Davies, N.B. (1996). - *Introdução à Ecologia comportamental*. Atheneu Editora, São Paulo.
- Kroodsma, D.E. (1982). - Song learning and its consequences. Pp. 315-326 in D.E. Kroodsma & E.H. Miller (eds.). *Acoustic communication in birds*. Academic Press, New York.
- (1986). - Design of song playback experiments. *Auk* 103: 640-642.
- (1996). - Ecology of Passerine song development. Pp. 3-19 in D.E. Kroodsma & E.H. Miller (eds). *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds*. Cornell University Press, Ithaca.
- & Baylis, J.R. (1982). - Appendix: a world survey of evidence for vocal learning. Pp 311-337 in D.E. Kroodsma & E.H. Miller (eds.). *Acoustic communication in birds*. Academic Press, New York.

- , Sánchez, J., Stemple, D.W., Goodwin, E., Silva, M.L. & Vielliard, J. (1999). - Sedentary life style of Neotropical Sedge Wrens promotes song imitation. *Anim. Behav.* 57: 855-863.
- Lambrechts, M.M. & Dhondt, A.A. (1995). - Individual voice discrimination in birds. *Current Ornith.* 12: 115-139.
- Lamotte, M. (1994). - *Théorie actuelle de l'évolution*. Hachette, Paris.
- Lampe, H.M. & Baker, M.C. (1994). - Behavioural response to song playback by male and female White-crowned Sparrows of two subspecies. *Bioacoustics* 5: 171-185.
- Lanyon, W.E. (1979). - Development of song in the Wood Thrush (*Hylocichla mustelina*), with notes on a technique for hand-rearing passerines from egg. *Am. Mus. Novitates* 2666: 1-27.
- Leger, D.W., Brooks, K.E. & O'Brien, J. (2000). - Versatility from a single song: the case of the Nightingale Wren. *Auk* 117(4): 1038-1042.
- Leijon, A. (1991). - Hearing aid gain for loudness-density normalization in cochlear hearing losses with impaired frequency resolution. *Ear and Hearing* 12(4): 242-250.
- , Lindkvist, A., Ringdahl, A. & Israelsson, B. (1991). - Sound quality and speech reception for prescribed hearing aid frequency responses. *Ear and Hearing* 12(4):251-260.
- Lengagne, T., Aubin, T., Lauga, J. & Jouventin, P. (1999a). - How do King Penguins *Aptenodytes patagonicus* apply the mathematical theory of information to communicate in windy conditions? *Proc. R. Soc. Lond. B* 266: 1623-1628.
- , Jouventin, P. & Aubin, T. (1999b). - Finding one's mate in a King Penguin colony: efficiency of acoustic communication. *Behaviour* 136, 833-846.
- Leonardo, A. & Konishi, M. (1999). - Decrystallization of adult birdsong by perturbation of auditory feedback. *Nature* 399: 466-470.
- Lima, V.S. (1997). - *Os sons do Pitiguari* *Cyclarhis gujanensis*. Dissertação de Mestrado, Programa de PG em Multimeios, Instituto de Artes, Unicamp, Campinas.
- Loehle, C. & Wein, G. (1994). - Landscape habitat diversity: A multiscale information theory approach. *Ecological Modelling* 73(3-4): 311-329.
- Lutfi, R.A. (1992). - Informational processing of complex sound: III. Interference. *J. Acoust. Soc. Amer.* 91(6): 3391-3401.
- (1993). - A model of auditory pattern analysis based on component-relative-entropy. *J. Acoust. Soc. Amer.* 94(2, Part 1): 748-758.

- Mao, Z., Deng, C. & Chang, J. (1993). - The Quotation judgment to the diagnosis value of the clinic symptoms of gastric carcinoma. *Acta Academiae Medicinae Hubei* 14(2): 143-146.
- Marler, P. (1970). - A comparative approach to vocal learning: song development in White-crowned Sparrows. *J. Comp. Physiol. Psychol.* 71: 1-25.
- (1990). - Innate learning preferences: signals for communication. *Dev. Psychobiol.* 23(7): 557-568.
- (1991). - Song-learning behavior: the interface with neuroethology. *Trends Neurosci.* 14(5): 199-206.
- (1997). - Three models of song learning: evidence from behavior. *J. Neurobiol.* 33(5): 501-516.
- (1998). - Song learning: the instinct to learn. *Ostrich* 69: 124.
- Mathevon, N. (1996). - *Communication en milieux acoustiques extrêmes chez l'oiseau: dégradation des signaux sonores et stratégies adaptatives aux conditions défavorables de propagation*. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon.
- Matsuda, R. & Hayashi, Y. (1990). - Information theory of optimization in chromatography: Analytical structure of optimization. *Chromatographia* 30(7-8): 371-376.
- , Hayashi, Y., Suzuki, T. & Saito, Y. (1991a). - Information theory of optimization in chromatography: Optimum peak separation and dependency on peak area. *Chromatographia* 32(5-6): 233-237.
- , Hayashi, Y., Suzuki, T., Saito, Y. & Jinno, K. (1991b). - Optimization based on retention prediction and information theory for liquid-chromatographic analysis of alkylbenzenes. *Analytical Letters* 24(11): 2083-2092.
- Mayer, E.A. (1993). - Neuronal communication. *Biological Signals* 2(2): 57-76.
- McClurkin, J.W., Optican, L.M., Richmond, B.J. & Gawne, T.J. (1991). - Concurrent processing and complexity of temporally encoded neuronal messages in visual perception. *Science* 253(5020): 675-677.
- McConville, K.M.V., Norwich, K.H. & Abel, S.M. (1991). - Application of the entropy theory of perception to auditory intensity discrimination. *Internat. J. Bio-Medical Computing* 27(3-4): 157-174.
- McCowan, B., Hanser, S.F. & Doyle, L.R. (1999). - Quantitative tools for comparing animal communication systems: information theory applied to Bottlenose Dolphin whistle repertoires. *Anim. Behav.* 57: 409-419.

- Moles, A. (1978). - *Teoria da informação e percepção estética*. Editora Universidade de Brasília, DF.
- Morris, J.A. (1994a). - Information and clonal concepts in ageing. *Medical Hypotheses* 42(2): 89-94 .
- (1994b). - Information and observer disagreement in histopathology. *Histopathology* (Oxford) 25(2): 123-128.
- Morton, E.S. (1977). - On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some bird and mammal sounds. *Amer. Natur.* 111: 855-869.
- Mundinger, P.C. (1982). - Microgeographic and macrogeographic variation in the acquired vocalizations of birds. Pp. 147-208 in D.E. Kroodsma & E.H. Miller (eds.). *Acoustic communication in birds*. Academic Press, New York.
- Naguib, M. & Kolb, H. (1992). - Vergleich des Strophenaufbaus und der Strophenabfolgen an Gesängen von Sprosser (*Luscinia luscinia*) und Blaukehlchen (*Luscinia svecica*). *J. Ornith.* 133: 133-145.
- Nakao, M., Kawazoe, Y. & Shimada, I. (1994). - Capability of intensity discrimination in multiple receptor model of insect taste. *Chemical Senses* 19(4): 317-329.
- Nelson, D.A. & Marler, P. (1994). - Selection-based learning in bird song development. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91: 10498-10501.
- Nolte, R.T. & Atkinson, D. (1992). - Conformational analysis of apolipoprotein A-I and E-3 based on primary sequence and circular dichroism. *Biophysical Journal* 63(5): 1221-1239.
- Norwich, K.H. (1991). - On the fundamental nature of perception. *Acta Biotheoretica* 39(1): 81-90.
- & Valter-McConville, K.M. (1991). - An informational approach to sensory adaptation. *J. Compar. Physiology, A: Sensory Neural and Behavioral Physiology* 168(2): 151-158.
- Nowicki, S., Peters, S., Searcy, W.A. & Clayton, C. (1999). - The development of within-song type variation in Song Sparrows. *Anim. Behav.* 57: 1257-1264.
- Oborny, B. (1994). - Growth rules in clonal plants and environmental predictability: A simulation study. *J. Ecology* 82(2): 341-351.
- Okagaki, T. & Zeltermann, D. (1991). - Information, discrimination and divergence in cytology: II. Total discrimination as a measure of performance. *Acta Cytologica* 35(1): 25-29.
- Optican, L.M., Gawne, T.J., Richmond, B.J. & Joseph, P.J. (1991). - Unbiased measures of transmitted information and channel capacity from multivariate neuronal data. *Biological Cybernetics* 65(5): 305-310.

- Pahl-Wostl, C. (1990). - Temporal organization: a new perspective on the ecological network. *Oikos* 58(3): 293-305.
- (1991). - Patterns in space and time: a new method for their characterization. *Ecological Modelling* 58(1-4): 141-158.
- Penkala, K. (1993). - Information throughput characteristics: a new method for evaluation of visual efficiency. *Biomedizinische Technik* 38(5): 94-98.
- Piqueira, J.R.C. (1996). - Estabilidade estrutural e organização. *Coleção CLE 18*, Campinas, 165-189.
- Plotkin, J.B. & Nowak, M.A. (2000). - Language evolution and information theory. *J. theor. Biol.* 205: 147-159.
- Pough, F.H., Heiser, J.B. & McFarland, W.N. (1999). - *A vida dos Vertebrados*. Atheneu Editora, São Paulo.
- Reboreda, J.C. & Kacelnik, A. (1991). - Risk sensitivity in Starlings: variability in food amount and food delay. *Behav. Ecology* 2(4): 301-308 .
- Riggs, J.E. (1993). - Aging and mortality: manifestations of increasing informational entropy of the genome? *Mechanisms of Ageing and Development* 66(3): 249-256.
- Roberts, R.D., Beh, H.C., Spilisbury, G. & Stankov, L. (1991). - Evidence for an attentional model of human intelligence using the competing task paradigm. *Personality and Individual Differences* 12(5): 445-456.
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). - *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.
- Sharps, M.J. & Tindall, M.H. (1992). - Relational and item-specific information in the determination of "blocking effects". *Memory and Cognition* 20(2): 183-191.
- Schauensee, M.R. de (1970). - *A guide to the Birds of South America*. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Wynnewood, Pennsylvania.
- Sick, H. (1985). - *Ornitologia brasileira, uma introdução*. Editora Universidade de Brasília.
- Silva, M.L. (1995). - Estereotipia e versatilidade nos cantos das aves: os padrões de canto em sabiás e outras aves. *Anais de Etologia* 13: 133-147.
- (1997). - *Descrição do repertório vocal do Sabiá-laranjeira Turdus rufiventris (Aves, Passeriformes, Turdinae)*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Psicologia, Neurociências e Comportamento, Universidade de São Paulo.

- , Piqueira, J.R.C. & Vielliard, J. (2000). - Using Shannon entropy on measuring the individual variability in the Rufous-bellied Thrush *Turdus rufiventris* vocal communication. *J. theor. Biol.* 207: 57-64.
- & Vielliard, J. (1994). - Song discrimination among sympatric *Turdus* thrushes in Brazil. *XXI International Ornithological Congress Notebook*, Vienna, Austria, P632.
- & Vielliard, J. (1998). - Repertoire size of the Rufous-bellied Thrush *Turdus rufiventris* relate to environment and populational factors. *XXII International Ornithological Congress*, Durban, South Africa.
- Slater, P.J.B. (1983). - Sequences of song in Chaffinches. *Anim. Behav.* 31: 272-281.
- Somoza, E., Steer, R.A., Beck, A.T. & Clark, D.A. (1994). - Differentiating major depression and panic disorders by self-report and clinical rating scales: Roc analysis and information theory. *Behaviour Research and Therapy* 32(7): 771-782.
- StatSoft, Inc. (1999). - *Statistica* for Windows, Volume III, Statistics II, 2<sup>nd</sup> edition. Tulsa, OK.
- Stenkvis, B. & Strande, G. (1990). - Entropy as an algorithm for the statistical description of DNA cytometric data obtained by image analysis microscopy. *Analytical Cellular Pathology* 2(3): 159-166.
- Thorpe, W.H. (1961). - *The biology of vocal communication and expression in birds*. Cambridge University Press.
- Todt, D. & Hultsch, H. (1996). - Acquisition and performance of song repertoires: ways of coping with diversity and versatility. Pp. 79-96 in D.E. Kroodsma & E.H. Miller (eds.). *Ecology and Evolution of Acoustic Communication in Birds*. Cornell University Press, Ithaca.
- Vielliard, J. (1980). - Bibliographie [resenha de Lanyon 1979]. *Alauda* 48: 167.
- (1983). - Catálogo sonográfico dos cantos e piados dos beija-flores do Brasil, 1. *Bol. Museu de Biologia "Mello Leitão"*, Série Biologia 58: 1-20.
- (1987). - Uso da bioacústica na observação das aves. *II Encontro Nac. Anilhad. Aves*, Rio de Janeiro, pp. 98-121.
- (1989). - O registro dos sinais de comunicação sonora em Aves: parâmetros etológicos e testes de play-back. *Anais de Etologia*, Botucatu, 7: 134-149.
- (1990). - Estudo bioacústico das aves do Brasil: o gênero *Scytalopus*. *Ararajuba* 1: 5-18.
- (1993). - *A Zoophonia de Hercule Florence*. UFMT, Cuiabá.
- (1995). - Phylogeny of bioacoustical parameters in birds. *Bioacoustics* 6(2): 171-174.



- (2000). - Estado atual das pesquisas em bioacústicas e sua contribuição para o estudo e a proteção das aves do Brasil. *A Ornitologia no Brasil*, UERJ, pp. 287-301.
- Wang, S. (1992). - Application of cybernetics and information theory to genetics: II. Influence of population fusion on genotypic and phenotypic entropy. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Normalis Hunanensis* 15(3): 257-262.
- Weaver, W. (1949). - Recent contributions to the mathematical theory of communication. Pp. 1-29 in C.E. Shannon & W. Weaver. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.
- Weimerskirch H., Stahl, J.C. & Jouventin, P. (1992). - The breeding biology and population dynamics of King Penguin *Aptenodytes patagonica* on the Crozet Islands. *Ibis* 134: 107-117.
- Yamada, S., Nakashima, M., Matsumoto, K. & Shiono, S. (1993). - Information theoretic analysis of action potential trains: I. Analysis of correlation between two neurons. *Biological Cybernetics* 68(3): 215-220.
- Zhang, Y.J. (1991). - 3-D image analysis system and megakaryocyte quantitation. *Cytometry* 12(4): 308-315.

## ANEXOS

### Anexo 1

Tabela geral dos valores medidos para cada dos 44 indivíduos da amostra. A coluna 1 indica o número de identificação dos indivíduos. A coluna 2 apresenta os valores de  $E_1$ , seguida das colunas 3, 4 e 5 com os valores de  $E_2$ ,  $E_{\max 1}$  e  $E_{\max 2}$  correspondentes. As colunas seguintes (6 e 7) apresentam os valores das entropias de 1º momento e das de 2º momento divididas pelas respectivas entropias máximas. A coluna 8 apresenta a relação  $E_2/E_1$  em porcentagem. Os parâmetros temporais apresentados são: duração das notas em ms, número de notas emitidas por segundo e intervalo de tempo entre as notas em ms (colunas 9 a 11).  $E_t$  e  $E_f$  estão dispostos nas colunas 12 e 13. O repertório corresponde ao número de tipos de notas para cada indivíduo (coluna 14), depois vem a coluna do número de combinações de notas duplas (coluna 15), e a coluna 16 mostra o número total de notas amostradas para cada indivíduo. A localidade e a região correspondente, denominada de acordo com a área de distribuição da espécie, estão respectivamente nas colunas 17 e 18.

### Anexo 2

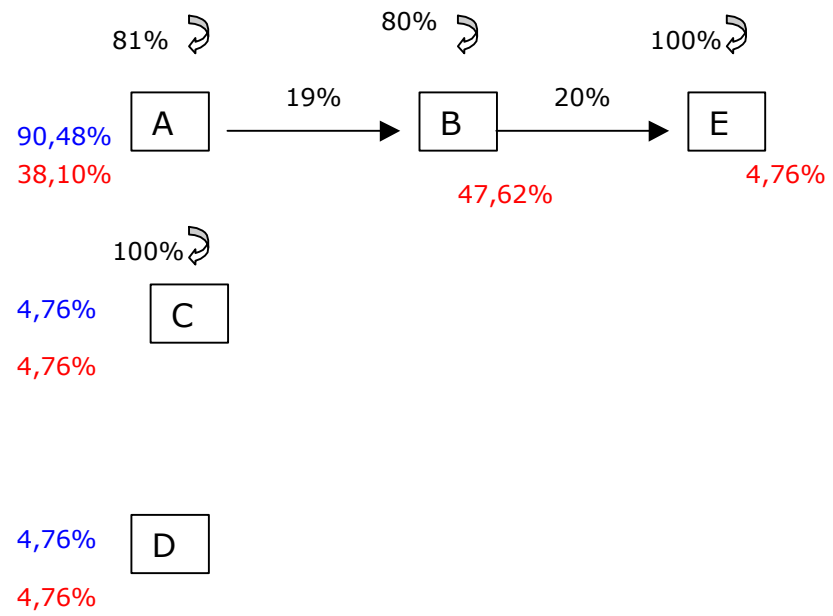
Representação gráfica esquemática da seqüência das notas dos indivíduos 1, 2, 4, 8, 11, 12, 14 (em duas páginas), 30, 33 e 43.

As notas estão representadas por letras e as setas correspondem ao seguimento imediato das seqüências. As setas em curva indicam que a mesma nota foi repetida. As porcentagens acima das setas representam o número de vezes que a nota seguinte é emitida. Para melhor clareza dos esquemas, algumas notas foram representadas mais de uma vez e foram coloridas em verde para marcar a repetição. Marcamos as porcentagens em que determinadas notas iniciaram as frases em azul e as que finalizaram em vermelho.

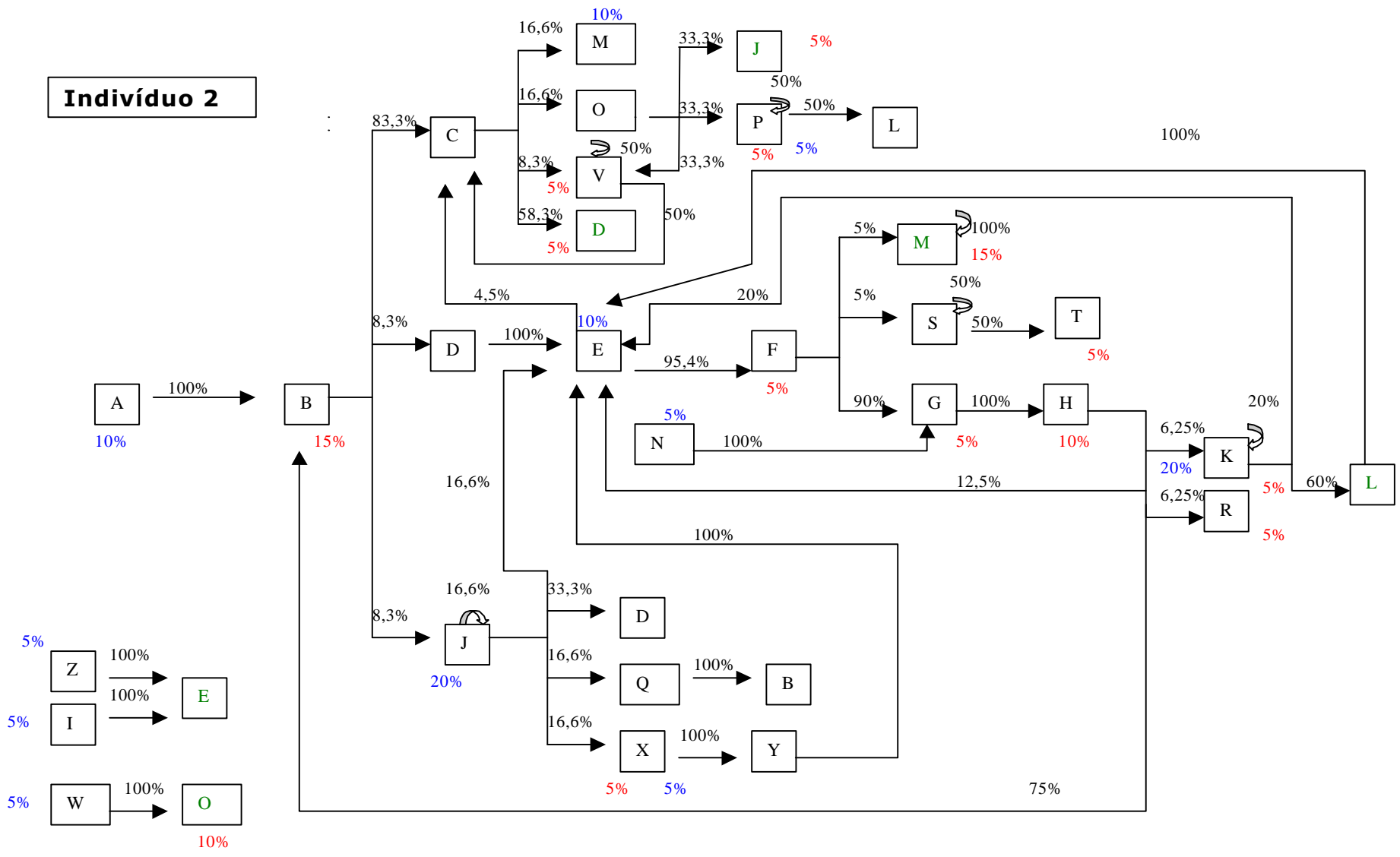
## Anexo 1 – Tabela geral

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ind	E1	E2	E <sub>max</sub> 1	E <sub>max</sub> 2	E1/E1 max	E2/E2 max	E2/E1 %	Duração	Notas/s	Inter valo	Et	Ef	Reper tório	notas duplas	n° total de notas	Localidade	Região
1	1,06	1,30	2,32	2,59	0,46	0,50	22,36	301	2,12	259	3,52	2,25	5	6	86	Caruaru	NE
2	3,94	4,45	4,70	5,49	0,84	0,81	12,91	216	2,77	300	18,24	10,92	26	45	164	Crato	NE
3	3,32	4,10	3,91	4,91	0,85	0,84	23,62	303	2,32	140	10,95	7,71	15	30	186	Morro Chapéu	NE
4	2,88	1,27	3,17	3,17	0,91	0,40	-55,79	357	1,93	160	8,06	5,54	9	9	111	Itabuna	NE
5	3,19	3,97	3,70	4,09	0,86	0,97	24,26	267	2,32	170	11,97	7,41	13	17	41	Itabuna	NE
6	2,92	3,72	3,00	4,00	0,97	0,93	27,44	305	2,22	168	9,57	6,46	8	16	38	Itabuna	NE
7	3,00	3,92	3,32	4,52	0,90	0,87	30,48	316	1,96	200	9,50	5,88	10	23	102	Itabuna	NE
8	2,31	2,91	2,81	3,46	0,82	0,84	26,25	291	2,41	134	7,92	5,56	7	11	52	São Paulo	SE
9	3,52	4,59	4,09	5,49	0,86	0,84	30,25	232	2,74	169	15,17	9,65	17	45	252	Formosa R. P.	NE
10	3,73	4,21	4,00	4,46	0,93	0,95	12,87	288	2,00	214	12,97	7,48	16	22	51	Itabuna	NE
11	2,32	2,96	3,17	4,39	0,73	0,67	27,49	259	2,83	186	8,96	6,57	9	21	125	Rio de Janeiro	SE
12	3,03	3,31	3,32	3,59	0,91	0,92	9,19	245	2,41	190	12,39	7,29	10	12	34	Palmas	S
13	3,39	4,02	3,59	4,39	0,95	0,91	18,53	226	2,89	173	15,02	9,78	12	21	57	Palmas	S
14	3,78	4,90	4,76	6,41	0,80	0,76	29,49	215	2,99	184	17,63	11,30	27	85	850	I. Cardoso	SE
15	2,52	3,06	2,81	3,59	0,90	0,85	21,33	312	2,04	214	8,09	5,14	7	12	93	Boracéia	SE
16	4,39	5,60	5,17	6,71	0,85	0,83	27,50	287	2,35	187	15,29	10,31	36	105	440	Poconé	CO
17	3,85	4,55	4,25	4,91	0,91	0,93	18,32	223	2,71	170	17,26	10,44	19	30	102	Piracicaba	SE
18	4,09	5,05	4,46	5,39	0,92	0,94	23,39	344	2,67	159	11,90	10,92	22	42	89	Piracicaba	SE
19	3,92	4,39	4,09	4,64	0,96	0,95	11,86	217	2,88	156	18,05	11,29	17	25	152	Brasília	CO
20	4,09	5,10	4,39	5,43	0,93	0,94	24,81	258	2,51	182	15,81	10,27	21	43	106	Picinguaba	SE
21	1,86	2,49	2,59	3,17	0,72	0,78	33,77	259	2,47	189	7,17	4,58	6	9	125	Piracanjuba	CO
22	3,13	3,66	3,46	4,32	0,91	0,85	16,89	249	2,47	167	12,56	7,74	11	20	158	Sete Barras	SE
23	2,99	3,30	3,46	3,81	0,87	0,87	10,14	274	2,42	148	10,92	7,25	11	14	53	Salta	S
24	3,34	4,40	3,70	4,59	0,90	0,96	31,64	293	2,13	194	11,43	7,11	13	24	62	Magdalena	S
25	3,17	4,10	3,46	4,95	0,92	0,83	29,58	255	2,24	221	12,42	7,09	11	31	223	Magdalena	S
26	3,31	3,67	3,46	3,91	0,96	0,94	10,90	249	2,54	155	13,28	8,41	11	15	40	Magdalena	S
27	3,00	3,54	3,32	4,09	0,90	0,87	18,00	252	2,49	169	11,94	7,48	10	17	76	Costanera	S
28	4,03	4,99	4,59	6,07	0,88	0,82	23,76	243	2,57	193	16,57	10,37	24	67	531	São Paulo	SE
29	4,55	4,99	4,76	5,29	0,96	0,94	9,50	289	2,25	173	15,76	10,25	27	39	122	Miranda	CO
30	3,66	4,49	4,09	5,36	0,90	0,84	22,47	312	1,96	161	11,75	7,18	17	41	291	São Paulo	SE
31	4,20	5,01	4,81	5,70	0,87	0,88	19,09	195	3,13	147	21,52	13,14	28	52	270	Caraguatatuba	SE
32	2,36	3,12	2,81	3,70	0,84	0,84	32,14	348	1,62	367	6,78	3,83	7	13	62	São Paulo	SE
33	1,55	2,45	2,00	3,00	0,78	0,82	57,85	218	2,13	269	7,12	3,31	4	8	50	São Paulo	SE
34	2,87	3,22	3,17	3,70	0,90	0,87	12,42	301	2,09	196	9,51	5,98	9	13	57	São Paulo	SE
35	2,60	3,78	3,59	4,46	0,72	0,85	45,80	134	2,38	370	19,37	6,19	12	22	93	Cunha	SE
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	294	2,01	206	0,00	0,00	1	1	70	Cunha	SE
37	3,50	4,26	3,59	4,46	0,98	0,96	21,70	236	2,69	149	14,85	9,41	12	22	104	Cunha	SE
38	3,06	3,42	3,17	3,70	0,97	0,92	11,72	310	2,08	209	9,86	6,35	9	13	80	Cunha	SE
39	2,96	3,23	3,46	4,17	0,86	0,77	9,08	258	2,24	197	11,46	6,64	11	18	264	Pelotas	S
40	3,24	3,87	3,32	4,76	0,97	0,81	19,47	172	2,44	221	18,87	7,90	10	27	28	Santa Teresa	SE
41	3,42	4,17	3,59	4,52	0,96	0,92	21,93	176	2,89	197	19,49	9,90	12	23	153	Santa Teresa	SE
42	3,73	4,10	4,00	4,64	0,93	0,88	10,03	194	2,83	179	19,23	10,54	16	25	992	Caraguatatuba	SE
43	4,20	5,02	4,32	5,62	0,97	0,89	19,61	218	3,08	140	19,23	12,92	20	49	369	Caraguatatuba	SE
44	4,30	4,66	4,59	5,36	0,94	0,87	8,55	221	3,10	190	19,47	13,31	24	41	424	Caraguatatuba	SE

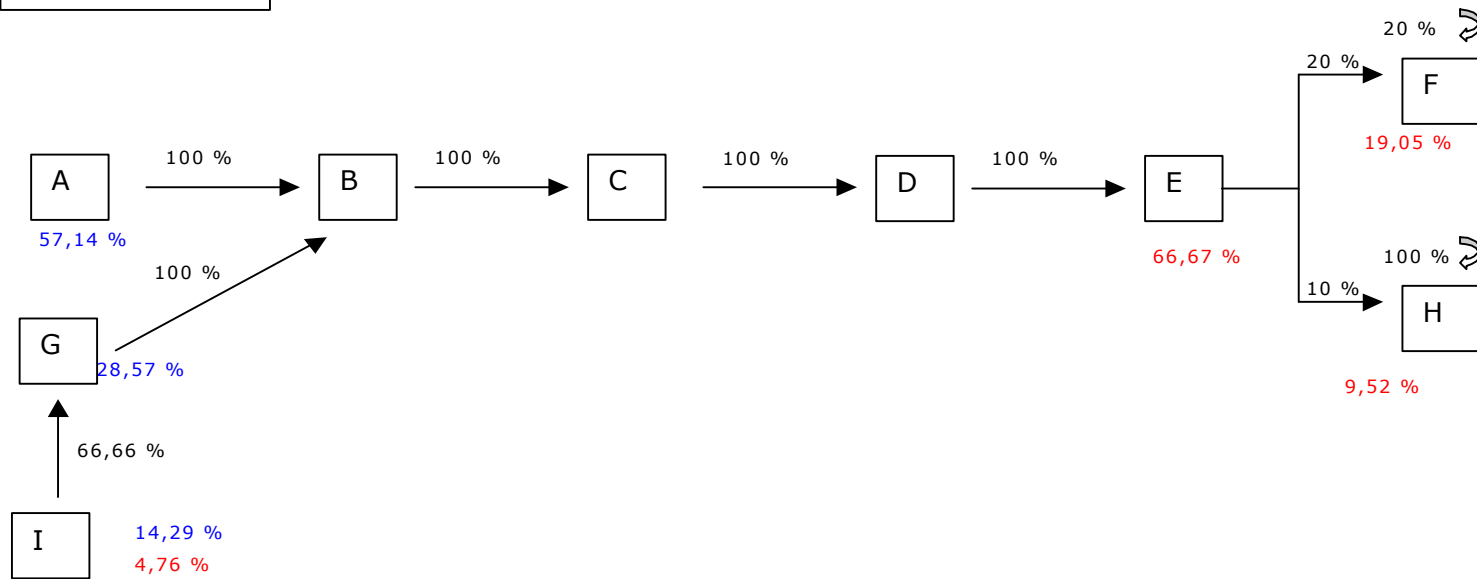
**Indivíduo 1**



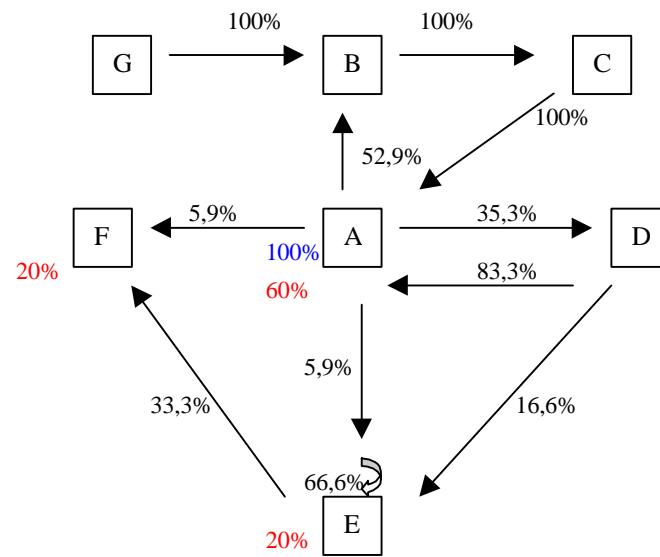
# Indivíduo 2



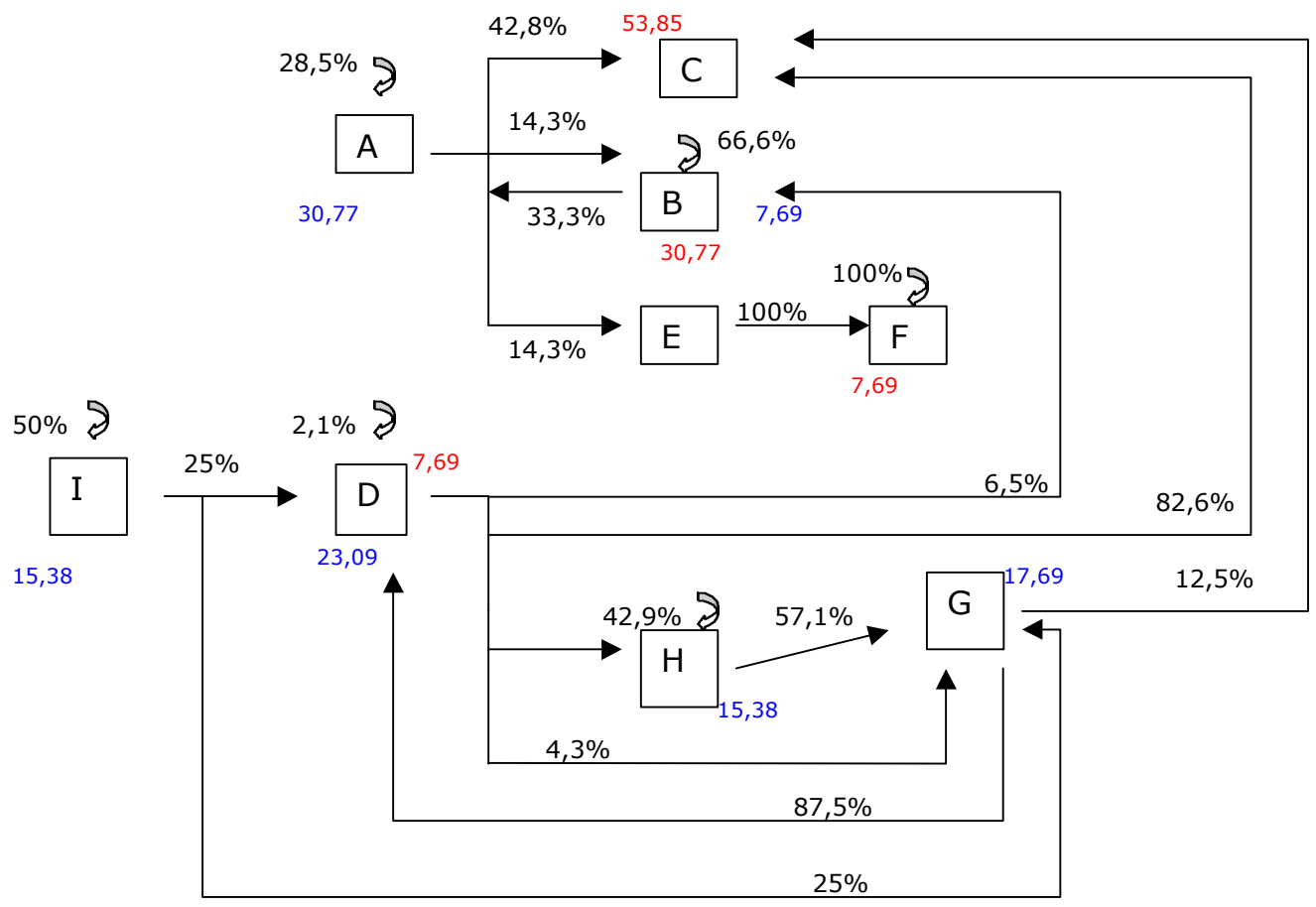
**Indivíduo 4**



**Indivíduo 8**

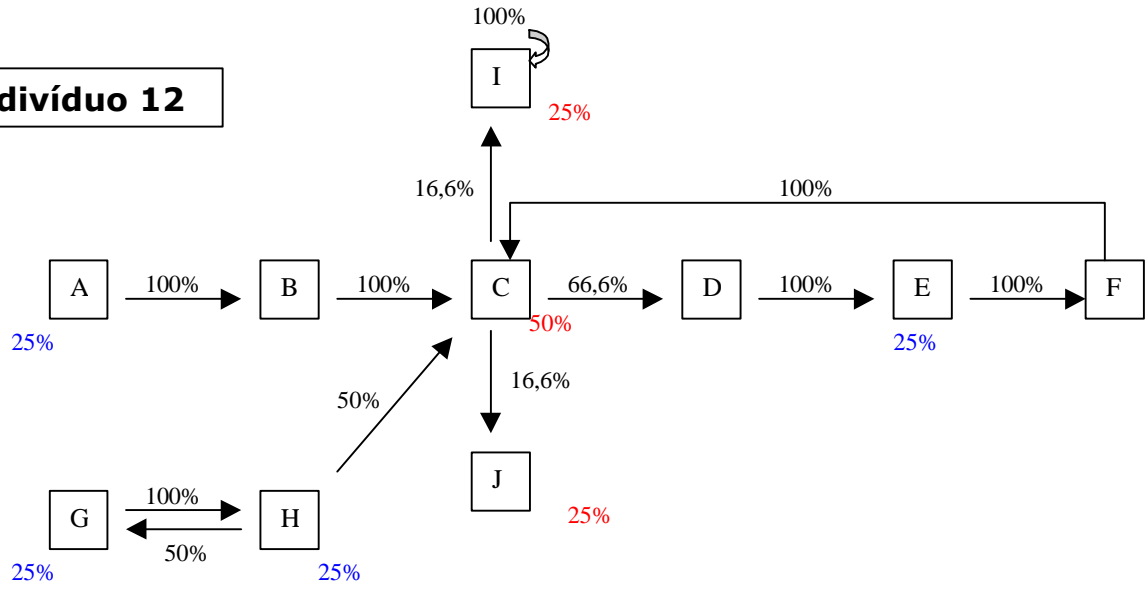


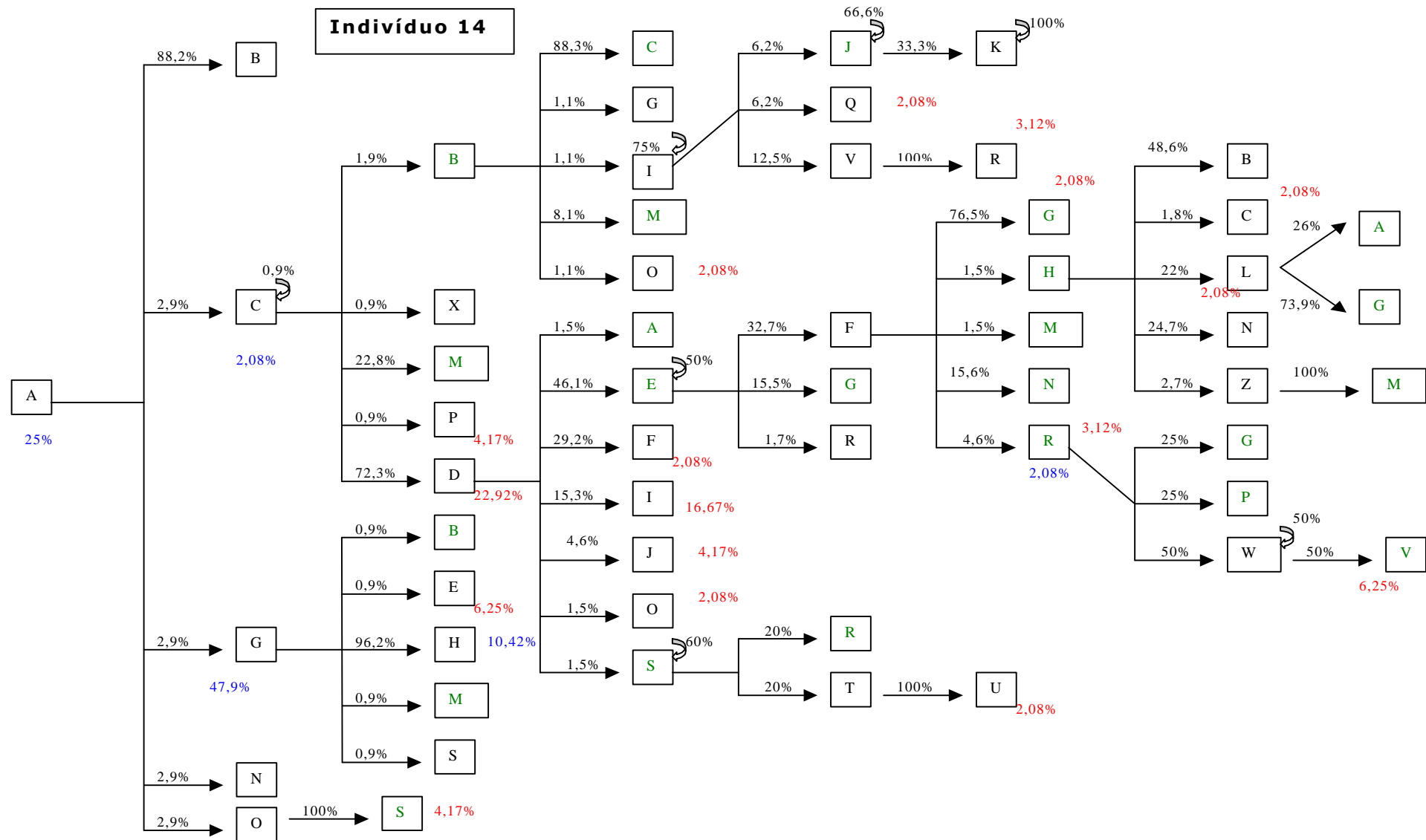
**Indivíduo 11**



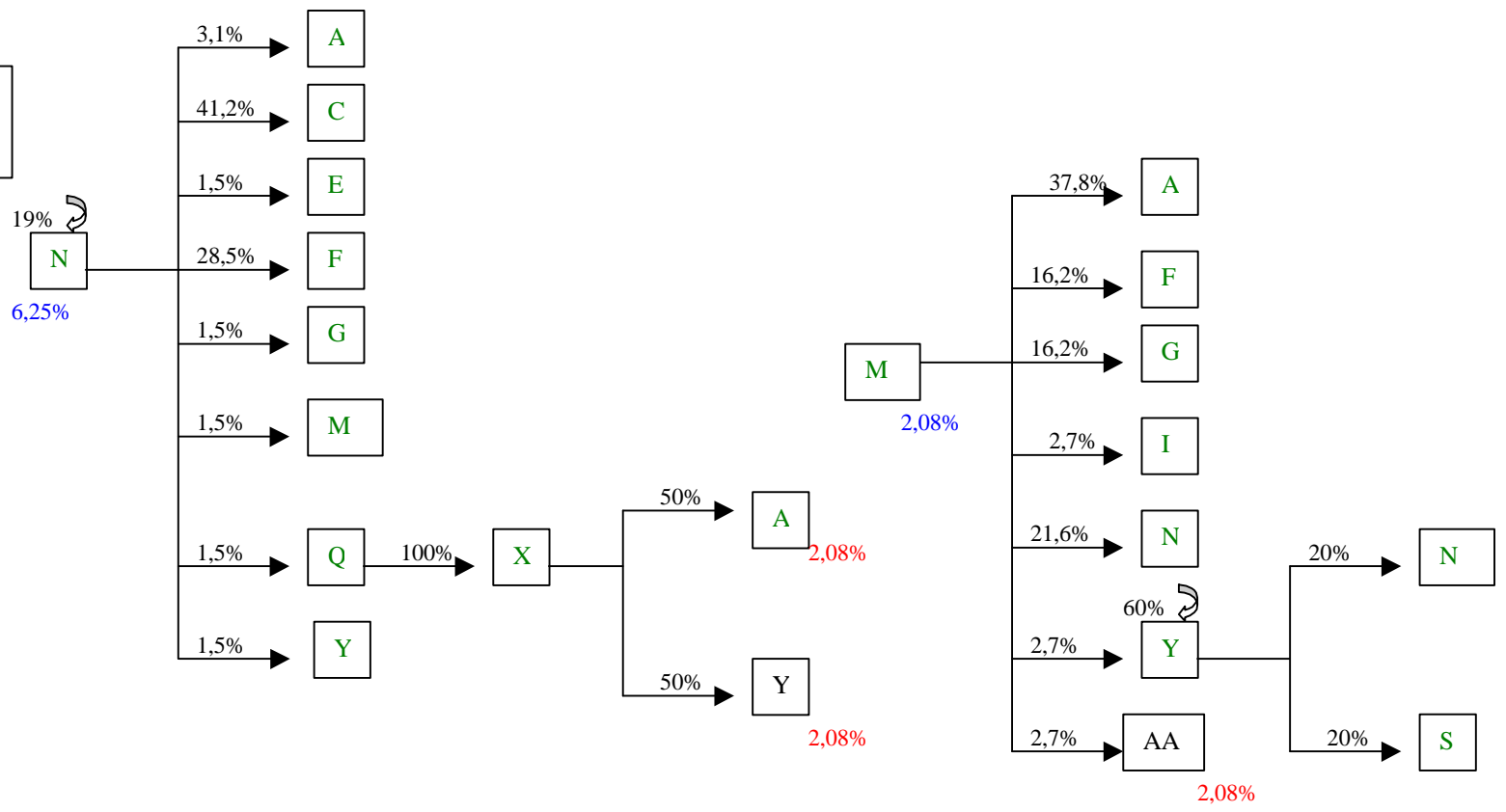


**Indivíduo 12**

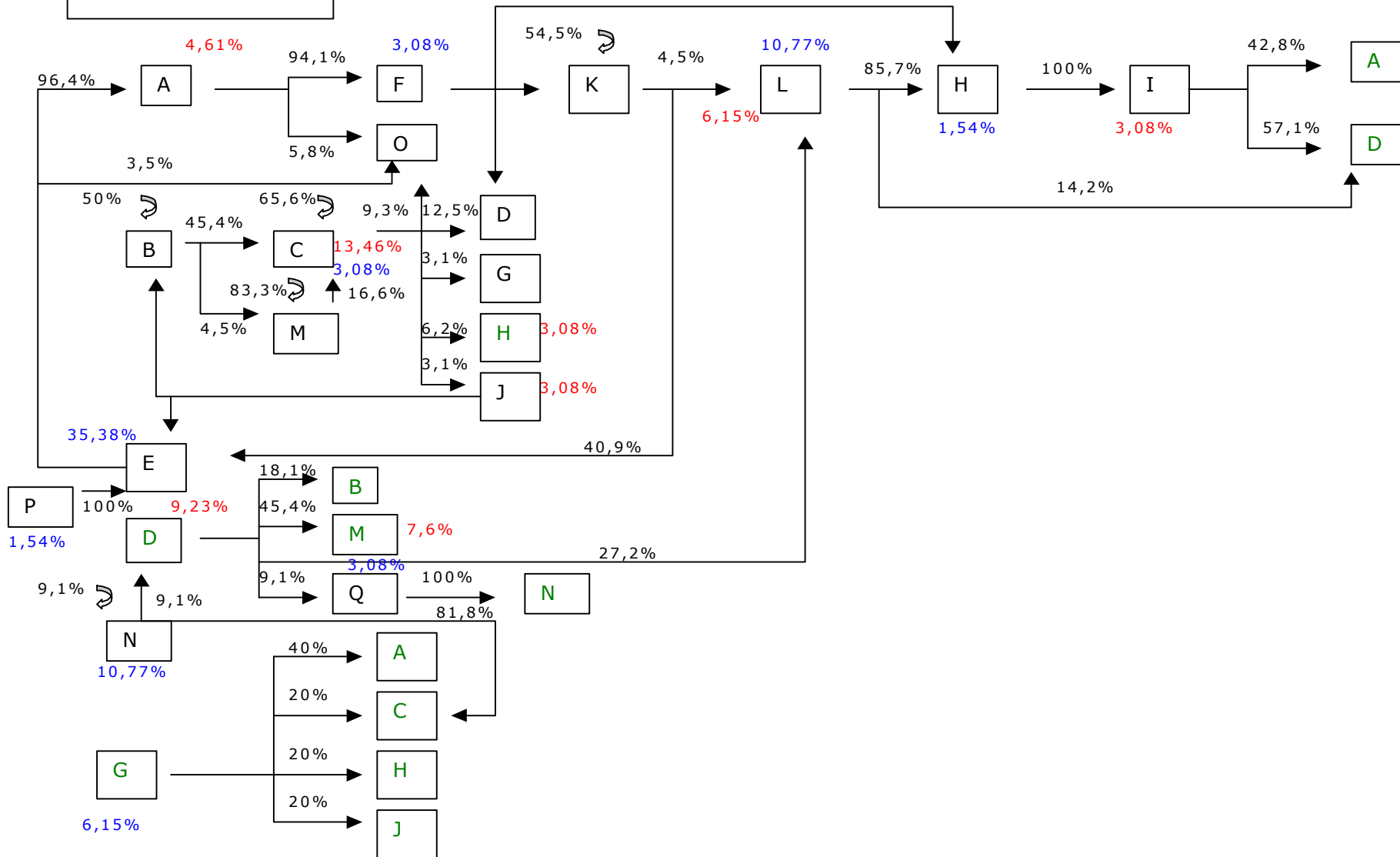




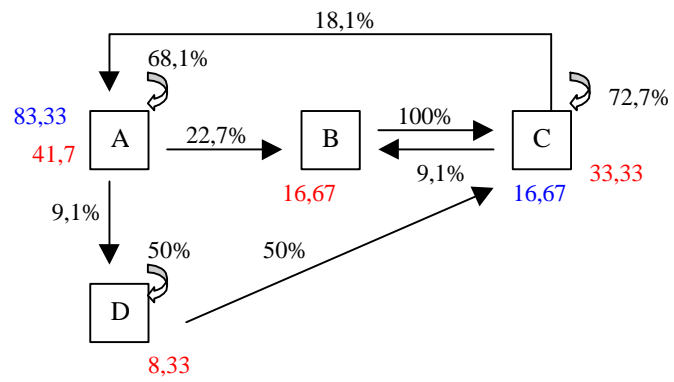
**Indivíduo 14**  
continuação



**Indivíduo 30**



**Indivíduo 33**



**Indivíduo 43**

