

Análise Destendenciada das Flutuações da Variabilidade da Frequência Cardíaca: Melhorias e Aplicações

Daniel Lucas Ferreira e Almeida (daniel.lucas@msn.com)
Rosana Ribeiro Lima (rosanariblim@gmail.com)
João Luiz Azevedo de Carvalho (joaoluiz@pgea.unb.br)

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil

Introdução

- ▶ Análise da variabilidade da frequência cardíaca (HRV): permite detectar anormalidades no controle nervoso sobre a função circulatória [1].
- ▶ Análises tradicionais
 - ▶ Temporal, espectral, Poincaré, etc.
 - ▶ Requerem a estacionariedade do sinal.
- ▶ Análise destendenciada das flutuações (DFA) [2]
 - ▶ Distingue características intrínsecas do sinal de interferências externas (tendências).
 - ▶ Permite analisar sinais de longa duração.
 - ▶ Gera dois coeficientes:
 - ▶ α_1 : quantifica correlações a curto prazo;
 - ▶ α_2 : quantifica correlações a longo prazo.
- ▶ Neste trabalho:
 - ▶ Propomos melhorias no software que realiza a análise DFA da HRV (Figura 1) [3].
 - ▶ Avaliamos o uso da DFA para identificação de seis grupos de indivíduos.

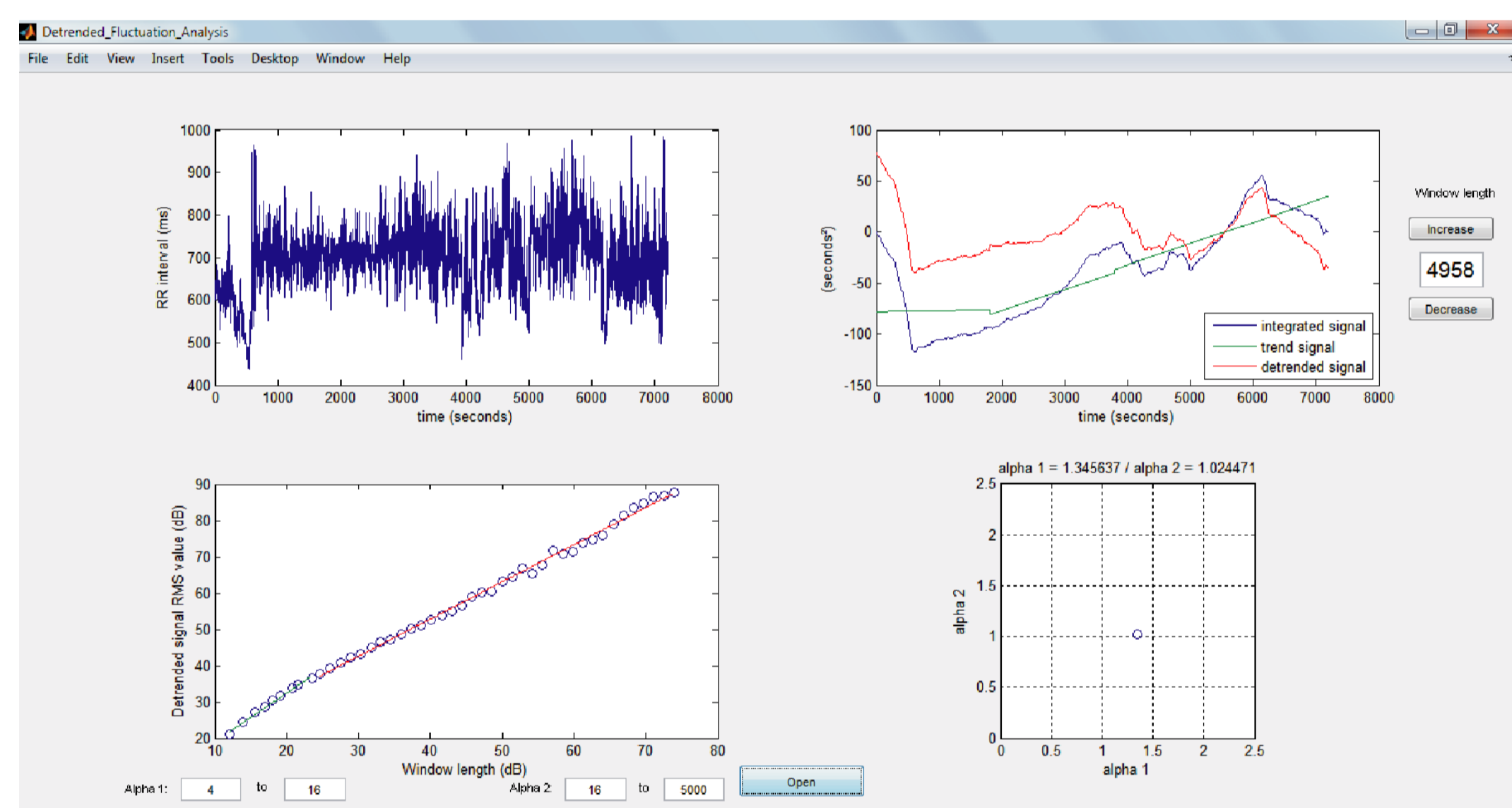


Figura 1: Software para análise destendenciada da HRV [3].

Análise Destendenciada das Flutuações

- 1) Obtém-se o sinal de HRV (intervalos RR) integrado: $y(n) = \sum_{\eta=0}^n [RR(\eta) - \overline{RR}(\eta)]$.
- 2) O sinal $y(n)$ é segmentado em janelas de comprimento l_k e faz-se o ajuste de segmentos de reta para cada janela. Assim, obtém-se a aproximação $y_k(n)$.
- 3) Calcula-se o erro de aproximação: $e_k(n) = y(n) - y_k(n)$.
- 4) Calcula-se o valor efetivo (raiz da média quadrática) do erro de aproximação:

$$E_k = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |e_k(n)|^2}$$
- 5) Os passos 2 a 4 são repetidos para vários valores de l_k .
- 6) Obtém-se a curva $f(x) = \log_{10}(E_k)$, onde: $x = \log_{10}(l_k)$.
- 7) α_1 é o coeficiente angular obtido pela regressão linear de $f(x)$ para $4 \leq l_k \leq 16$.
- 8) α_2 é o coeficiente angular obtido pela regressão linear de $f(x)$ para $16 \leq l_k \leq N$.

Melhorias propostas

- ▶ Cálculo dos comprimentos das janelas
 - ▶ Os comprimentos das janelas (l_k) são obtidos arredondando-se $l'_k = 10^{ks} l_0$.
 - ▶ O valor ótimo do passo s é obtido com base no comprimento inicial das janelas (l_0) (Tabela 1).

Tabela 1: Espaçamento horizontal das amostras de $f(x)$ para $4 \leq l_k \leq 15$.

k	$s = 0,10$ (grande)			$s = 0,05$ (pequeno)			$s = 0,0703$ (ótimo)		
	l'_k	l_k	Δf_k	l'_k	l_k	Δf_k	l'_k	l_k	Δf_k
0	4,00	4	—	4,00	4	—	4,00	4	—
1	5,04	5	0,10	4,49	4	0	4,70	5	0,10
2	6,34	6	0,08	5,04	5	0,10	5,53	6	0,08
3	7,98	8	0,12	5,65	6	0,08	6,50	7	0,07
4	10,05	10	0,10	6,34	6	0	7,64	8	0,06
5	12,65	13	0,11	7,11	7	0,07	8,98	9	0,05
6				7,98	8	0,06	10,56	11	0,09
7				8,95	9	0,05	12,42	12	0,04
8				10,05	10	0,05	14,60	15	0,10
9				11,27	11	0,04			
10				12,65	13	0,07			
11				14,19	14	0,03			

- ▶ Solução para as amostras excedentes
 - ▶ Na versão original [3], quando $N/l_k \notin \mathbb{Z}$, a última janela tem comprimento menor que l_k .
 - ▶ Propomos sobrepor as janela de modo a manter todas com exatamente o mesmo comprimento l_k , sem que nenhuma amostra seja descartada (Figura 2).

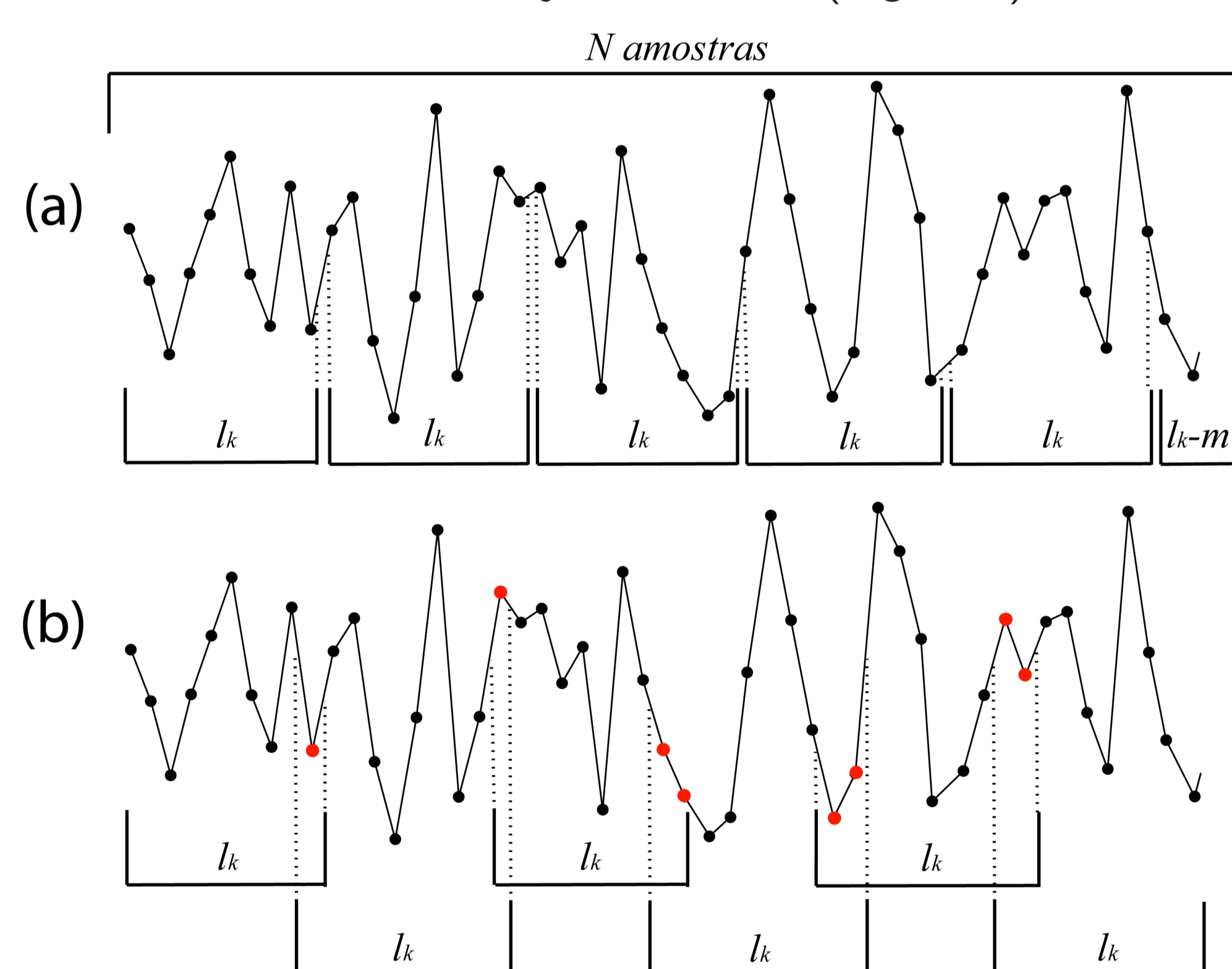


Figura 2: Sobreposição de amostras de $y(n)$ para uniformizar os comprimentos das janelas.

- ▶ Regressão linear ponderada
 - ▶ Ao usar regressão linear ponderada para o cálculo de α_1 e α_2 , buscamos diminuir o efeito do espaçamento não uniforme das amostras de $f(x)$.

Sinais e Pré-processamento

- ▶ Banco de dados da Physionet: normais, apnéicos, atletas, meditadores e epiléticos.
- ▶ Remoção de batimentos ectópicos e falsos positivos e negativos dos sinais analisados.

Resultados e Discussão

- ▶ Com base nos valores de α_1 e α_2 obtidos para cada sinal, é possível separar os diferentes grupos de indivíduos em *clusters* (Figura 3).
- ▶ A separação dos *clusters* foi avaliada com base no índice Davies–Bouldin [4] (Tabelas 2 e 3).

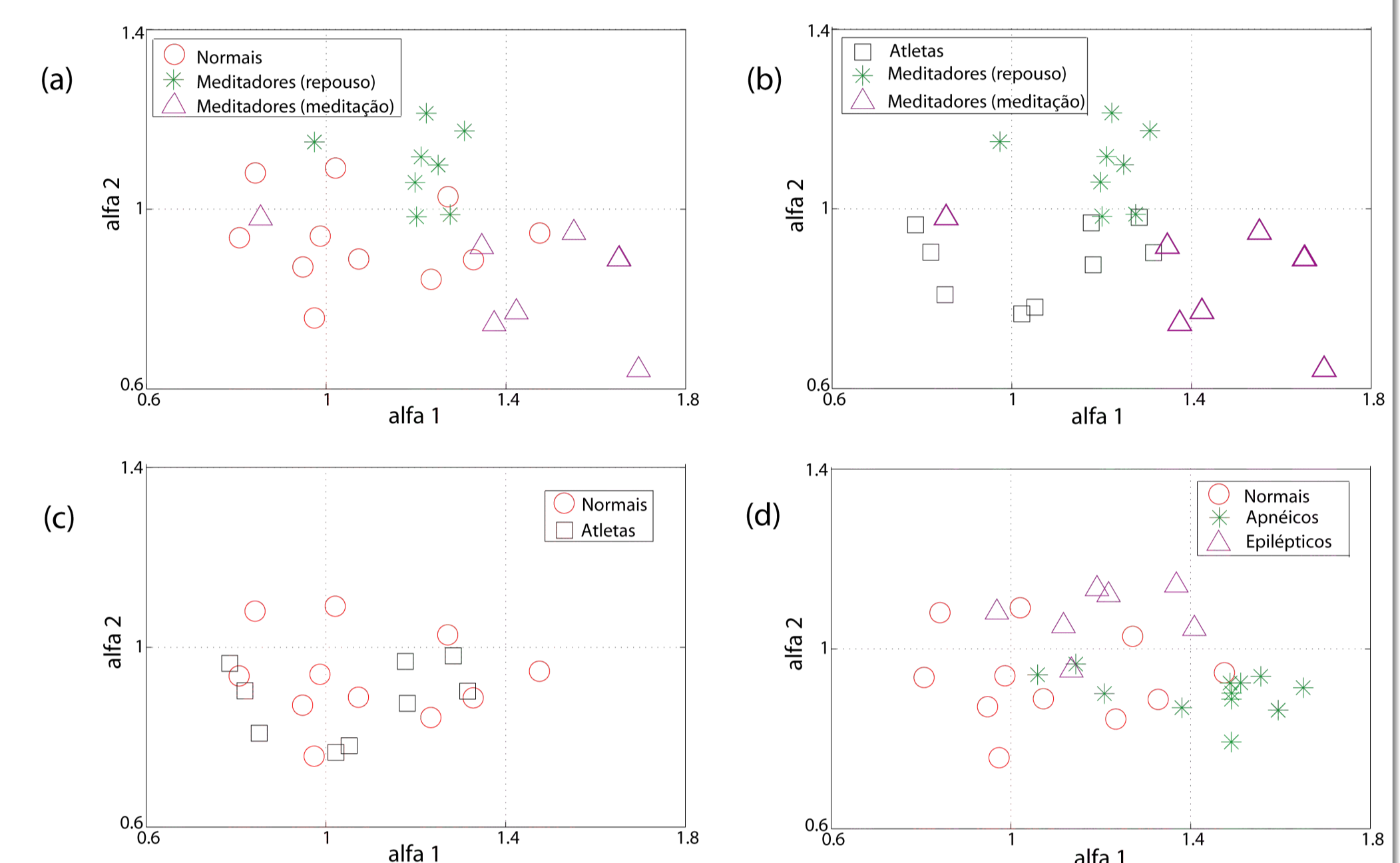


Figura 3: Valores dos coeficientes α_1 e α_2 para os grupos analisados.

Tabela 2: Separação dos grupos: indivíduos normais, atletas e meditadores.

Grupos	Índice DB
Normais × Atletas	5,82
Normais × Meditadores (repouso)	1,15
Normais × Meditadores (meditação)	1,12
Atletas × Meditadores (repouso)	0,86
Atletas × Meditadores (meditação)	1,03
Meditadores (repouso) × Meditadores (meditação)	0,82
Normais × Meditadores (repouso) × Meditadores (meditação)	0,71
Atletas × Meditadores (repouso) × Meditadores (meditação)	0,65

Tabela 3: Separação dos grupos: indivíduos normais, apnéicos e epiléticos.

Grupos	Índice DB
Normais × Apnéicos	1,04
Normais × Epiléticos	1,67
Apnéicos × Epiléticos	1,06
Normais × Apnéicos × Epiléticos	1,11

Referências

- [1] Malik M e Camm AJ. *Heart Rate Variability*, 1995.
- [2] Peng CK et al. *Chaos* 5(1):82–87, 1995.
- [3] Leite FS et al. *Proc. BIOSIGNALS* p. 225–229, 2010.
- [4] Davies DL e Bouldin DW. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* PAMI-1(2):224–227, 1979.

Apoio Financeiro

PIBIC/UnB/CNPq; DEG/UnB; PROAP/CAPES; PGEA/ENE/FT/UnB; MCT/CNPq–Universal.