

Quantificadores Obtidos de Redes Complexas Ordinais para Análise de Séries Temporais de Intervalos RR

Gilberto A. Costa,¹ Fernando K. A. Rizzatto,² Carla R. Tim,³ Livia Assis,⁴ Laurita dos Santos⁵

Universidade Brasil, São Paulo, SP

A aplicação e análise de redes complexas ordinais em séries temporais de sistemas biológicos vem se mostrando eficaz e promissora como uma ferramenta capaz de fornecer informações sobre a dinâmica do sistema e propriedades sobre correlações não lineares e escala [3]. Particularmente, a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), que descreve a variação dos ciclos cardíacos representados pela diferença entre duas ondas R consecutivas (intervalos RR no eletrocardiograma) contribuem para compreensão do sistema nervoso autônomo do indivíduo [1]. Nesse trabalho, redes complexas ordinais obtidas a partir de padrões ordinais do mapeamento *forward*, conforme descrito em [3], foram usadas para analisar séries temporais de intervalos RR de indivíduos saudáveis e indivíduos coronariopatas.

A partir das redes ordinais construídas foram obtidos diversos parâmetros como entropia de permutação (descreve a complexidade estática, aleatoriedade ou acurácia de predição do sistema), a entropia condicional (que quantifica a incerteza local de cada estado no modelo), a entropia global (relacionada ao expoente de escala fractal) [2], densidade da rede e coeficiente global da rede. O trabalho analisou o impacto dos parâmetros de dimensão de imersão (m) e atraso (τ) no mapeamento sobre os valores de entropia obtidos. Posteriormente, os quantificadores da rede foram obtidos para 40 séries temporais de intervalos RR divididas em dois grupos: indivíduos saudáveis e indivíduos coronariopatas.

A Figura 1 apresenta os valores das médias para as entropias calculadas a partir das redes ordinais de cada série temporal no mapeamento *forward*. Foram considerados valores de $\tau = 1$ a 6 e $m = 3$ a 6. A escolha desses valores deu-se por serem os mais comuns encontrados na literatura para esse tipo de aplicação. Note que a escolha dos valores dos parâmetros para mapeamento afetam os valores das entropias em diferentes situações. Entretanto, a entropia de permutação parece ser a menos impactada com a variação dos valores de τ , considerando o mesmo valor de m . Já a entropia condicional, que quantifica a incerteza local de cada estado, é que mais sofre alterações dos valores conforme alterações nos parâmetros do mapeamento da série temporal para rede ordinal, mostrando-se mais sensível às mudanças dos parâmetros.

¹gilbertodearaujocosta@gmail.com

²fkendy86@gmail.com

³carla.tim@ub.edu.br

⁴livia.assis@universidadebrasil.edu.br

⁵lauritas9@gmail.com

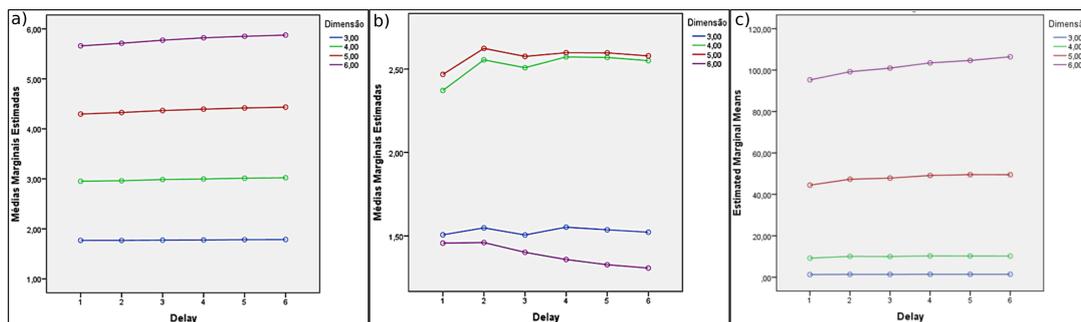


Figura 1: Valores médios para as entropias calculadas a partir da rede ordinal com diferentes valores de dimensão de imersão (m) e atraso ou delay (τ): a) entropia de permutação, b) entropia condicional e c) entropia global da rede. Fonte: dos autores.

Entre os quantificadores obtidos a partir da rede ordinal (matriz de adjacência) das séries temporais de intervalos RR destaca-se o coeficiente de clusterização global (para redes direcionadas). Os valores de dimensão de imersão $m = 3$ e $m = 4$ usados para o mapeamento das séries em redes ordinais foram capazes de diferenciar as classes de indivíduos.

Agradecimentos

G.A. Costa agradece apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. L. dos Santos agradece à Fapesp processo número 2018/03517 – 8 pelo suporte financeiro.

Referências

- [1] Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology. “Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use”. Em: **Circulation** (1996), pp. 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.
- [2] M. McCullough, M. Small, H.H.C. Iu e T. Stemler. “Multiscale ordinal network analysis of human cardiac dynamics”. Em: **Philosophical Transactions A** 375 (2017), p. 20160292. DOI: 10.1098/rsta.2016.0292.
- [3] L. dos Santos, D.C. Correa, D.M. Walker, M.F. de Godoy, E.E.N. Macau e M. Small. “Characterisation of neonatal cardiac dynamics using ordinal partition network”. Em: **Medical Biological Engineering Computing** (2022), pp. 829–842. DOI: 10.1007/s11517-021-02481-0.