

GRÁFICOS DE RECORRÊNCIA APLICADOS À CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS LARÍNGEAS

LUANA R. BARROS (IFPB, João Pessoa), SUZETE ÉLIDA N. CORREIA (IFPB, João Pessoa), SILVANA LUCIENE DO N. C. COSTA (IFPB, João Pessoa)

E-mails: E-mails: luana.rodrigues@academico.ifpb.edu.br, suzete@ifpb.edu.br, silvana@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento:(Tabela CNPq): 3.04.00.00-7 Engenharia Elétrica.

Palavras-Chave: Gráfico de Recorrência; Patologias Laríngeas; Sinais de Voz; Sistema Dinâmico não Linear.

1 Introdução

No corpo humano, a laringe e suas estruturas compõem o sistema fonatório, que consiste em uma das três partes principais do mecanismo de produção da voz. Contudo, há algumas patologias que podem afetar diretamente a laringe, ocasionando distúrbios vocais. Nesses casos, as pregas vocais (uma das principais estruturas da laringe) não vibram normalmente, afetando as características intrínsecas da voz do locutor. Essa condição também é denominada disfonia.

Nesse contexto, a identificação correta de uma patologia laríngea é essencial para a indicação do melhor tratamento. Diante desse cenário, nas últimas décadas, a análise acústica de sinais de voz tem se destacado como ferramenta para auxiliar no diagnóstico dos especialistas em patologias da fala. Por meio desse tipo de análise pode-se extrair atributos do sinal de voz que caracterizam, de forma singular, o sistema de produção vocal, possibilitando a discriminação das diferentes patologias que podem afetar a laringe.

O processo produção de voz, por sua vez, pode ser modelado por um sistema dinâmico não linear. Sendo assim, as aplicações baseadas na análise de recorrência de sistemas dinâmicos não lineares têm se sobressaído na detecção de patologias laríngeas. Nesse sentido, gráficos de recorrência (RPs - Recurrence Plots) são utilizados para representar a trajetória de sistemas dinâmicos no espaço de fases, permitindo a análise de recorrências em forma de matrizes bidimensionais. O RP tradicional (RP binário), foi originalmente proposto por Eckmann, Kamphorst e Ruelle (1987) com base na ideia de recorrência, proposta pelo físico e filósofo francês J. H. Poincaré.

Além dos RPs tradicionais, outros estudos também abordam variações de RPs. Pode ser destacado o uso dos RPs sem limiar (URP - *Unthresholded Recurrence Plot*), utilizados por Hatami, Gavet e Debayle (2018) e Chen, Su e Yang (2020); o ReLU-RP (*Rectified Linear Unit based Recurrence Plot*), proposto e aplicado no estudo de Lee, Lee e Shin (2019); e o mais recente RP do espectro da frequência, proposto por Ladeira et al. (2020).

Considerando que não foram encontrados, até o presente momento desta pesquisa, estudos que apliquem RPs não tradicionais à análise e discriminação de sinais afetados por patologias laríngeas, este trabalho se propõe a gerar diferentes tipos de RPs para avaliar o mais viável nesse contexto

2 Materiais e Métodos

Os RPs produzidos neste estudo foram gerados a partir da base de dados gravada pelo Massachusetts Eye and Ear Infirmary (MEEI) Voice and Speech Lab (KAY ELEMETRICS, 1994). As amostras correspondem à vogal /a/ sustentada, gravadas em um ambiente controlado. Todos os sinais foram reamostrados a taxa de 25.000 amostras por segundo, com resolução de 16 bits por amostra. Da base de dados, foram selecionados 53 arquivos de vozes saudáveis e 112 sinais de vozes afetadas por patologias na laringe, dos quais 51 apresentam paralisia, 43 edema de Reinke e 18 de nódulos nas dobras vocais.

Além do RP tradicional, como é o caso do RP binário, foram gerados URPs, Relu-RPs e FFT-RP. Em estudos futuros, esses RPs serão utilizados para avaliar qual representa de forma mais eficiente a variação entre as diferentes classes dos sinais de voz afetados ou não por patologias.

2.1 RP Binários

Os gráficos de recorrência originalmente apresentam-se como uma matriz bidimensional quadrada de ordem N , que permite visualizar o comportamento recorrente de sistemas dinâmicos, independentemente da sua dimensionalidade. Nesta matriz são marcados vários pontos, que podem ser de cor branca ou preta, na qual a recorrência de um estado no instante de tempo i em outro instante de tempo j é indicada por um ponto preto (ECKMANN; KAMPHORST; RUELLE, 1987).

Segundo Marwan (2003), um gráfico de recorrência pode ser definido matematicamente pela Equação 1:

$$R_{i,j}^{m,\epsilon} = \theta(\epsilon - \|\vec{\xi}_i - \vec{\xi}_j\|), \quad \vec{\xi}_i \in \mathbb{R}_m, \quad i, j = 1 \dots N \quad (1)$$

na qual N é o número de estados $\vec{\xi}_i$ formados pelo sistema, que são obtidos por meio do método dos atrasos temporais (TAKENS, 1981), o qual imerge a série temporal num espaço m -dimensional com tempo de defasagem τ . O raio de vizinhança, ϵ , é um parâmetro fundamental na construção do gráfico de recorrência. Ao calcular a distância entre os estados do sistema, o raio de vizinhança define quais pontos estão dentro ou fora dessa vizinhança (pontos recorrentes ou não recorrentes).

2.2 URP

Os gráficos de recorrência sem limiar ou URPs (*unthresholded recurrence plot*) eliminam o uso da função degrau, apresentada na Equação 1, na filtragem da distância entre um estado e os demais. Portanto, um URP basicamente representa a distância entre um estado e todos os outros em um espaço de fases, sendo representado pela relação da Equação Equação 2.

$$R_{i,j}^{m,\epsilon} = \|\vec{\xi}_i - \vec{\xi}_j\|, \quad \vec{\xi}_i \in \mathbb{R}_m, \quad i, j = 1 \dots N \quad (2)$$

2.3 ReLU-RP

Proposto por Lee, Lee e Shin (2019), o ReLU-RP é um gráfico de recorrência que pode ser obtido ao filtrar um URP com a função ReLU (unidade linear retificada). Matematicamente, é representada pela relação da Equação 3.

$$R_{i,j}^{m,\epsilon} = \begin{cases} D, & \text{se } D = \|\vec{\xi}_i - \vec{\xi}_j\| \geq \epsilon \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, \quad \vec{\xi}_i \in \mathbb{R}_m, \quad i, j = 1 \dots N \quad (3)$$

Nesse caso, D é a distância filtrada pela função ReLU entre dois estados do espaço de fases.

2.4 FFT-RP

O FFT-RP (*Fast Fourier Transform Recurrence Plot*) foi proposto por Ladeira et al. (2020), e como sugerido pelo nome, é baseado no domínio da frequência, diferente dos RPs citados anteriormente.

Inicialmente, a série temporal é transformada para o domínio da frequência. A partir do espectro obtido, os RPs podem ser calculados por meio da relação da Equação 4.

$$R_{i,j}^{m,\epsilon} = \theta(\epsilon - \|f_i - f_j\|), \quad f_i \in \mathbb{R}_m, \quad i, j = 1 \dots N \quad (4)$$

3 Resultados e Discussão

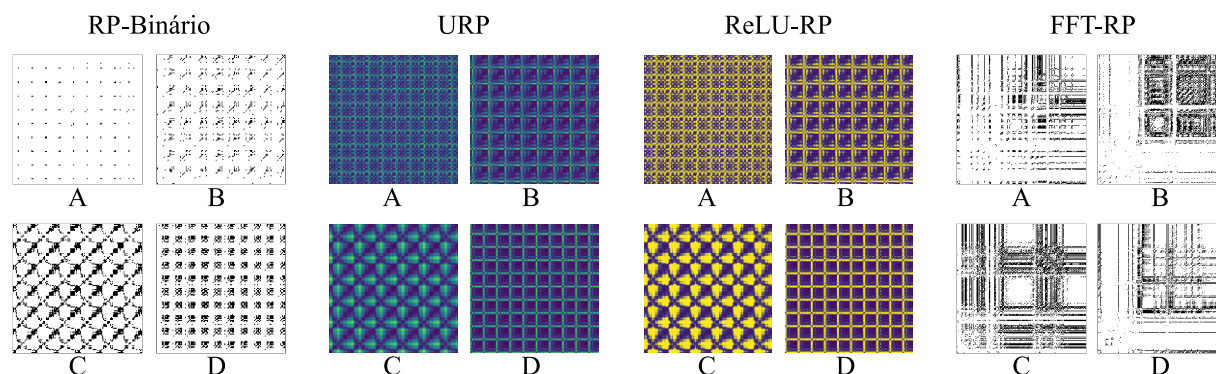
Os RPs foram gerados com o auxílio da biblioteca PyRQA, desenvolvida na linguagem de programação Python. Na constituição dos RPs-binários, foi considerada uma quantidade de estados $N = 1000$ e um raio de vizinhança $\epsilon = 0,05$. A mesma quantidade de estados foi considerada para gerar os URPs. Não foi utilizado ϵ pois este RP não possui limiar. Para geração dos Relu-RPs foi considerado $\epsilon = 0,3$ aplicado à função ReLU.

Para geração dos FFT-RPs, mil pontos do sinal original foram utilizados. Foi aplicado o método proposto por Ladeira et al. (2020). Dessa forma, dois RPs foram gerados (com $\epsilon = 0,4$ e $\epsilon = 0,95$). Os pontos das duas matrizes formadas foram subtraídos, resultando em um RP com pontos significativos do sinal. Isso ocorre

pois parte do ruído é eliminado por meio da remoção dos pontos com amplitude muito baixa e perturbações são eliminadas ao dispensar as amplitudes muito altas (LADEIRA et al., 2020).

Na Figura 1 são apresentados os quatro tipos de RPs gerados a partir de amostras de sinais de voz classificados como saudável, afetada por nódulo, edema e paralisia.

Figura 1: Diferentes RPs gerados a partir de sinal de A - voz saudável, B - afetado por nódulo, C - afetado por edema e D - afetado por paralisia.



Cada RP exibido na Figura 1 apresenta padrões característicos do tipo de voz de origem. O estudo destes padrões pode revelar aspectos importantes das patologias que afetam a laringe, permitindo uma melhor análise da qualidade vocal.

4 Considerações Finais

A concepção de variados gráficos de recorrência proporciona uma gama de possibilidades para a análise acústica. É possível observar nos RPs dos sinais patológicos e do sinal saudável, diferenças entre os padrões gráficos, de forma visual. Como trabalho futuro, os gráficos serão aplicados em um classificador baseado em redes neurais convolucionais, para classificação objetiva e automática, permitindo a detecção de patologias laringeas.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFPB e ao PPGE pelo suporte a este estudo. Agradecemos à CAPES pelo fomento à pesquisa.

Referências

- CHEN, Yun; SU, Shijie; YANG, Hui. Convolutional neural network analysis of recurrence plots for anomaly detection. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, World Scientific, v. 30, n. 01, p. 2050002, 2020.
- ECKMANN, J P; KAMPHORST, S. Oliffson; RUELLE, D. Recurrence plots of dynamical systems. *Europhysics Letters*, v. 5, p. 973–977, 1987.
- HATAMI, Nima; GAVET, Yann; DEBAYLE, Johan. Classification of time-series images using deep convolutional neural networks. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Tenth international conference on machine vision (ICMV 2017)*. [S.l.], 2018. v. 10696, p. 106960Y.
- KAY ELEMENTRICS. *Disordered Voice Database, model 4337, 3a ed.* 1994. 1 CD.
- LADEIRA, Guênia; MARWAN, Norbert; DESTRO-FILHO, João-Batista; RAMOS, Camila Davi; LIMA, Gabriela. Frequency spectrum recurrence analysis. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2020.
- LEE, Hyeonjeong; LEE, Jaewon; SHIN, Miyoung. Using wearable ecg/ppg sensors for driver drowsiness detection based on distinguishable pattern of recurrence plots. *Electronics*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 8, n. 2, p. 192, 2019.
- MARWAN, Norbert. *Encounters with neighbours: current developments of concepts based on recurrence plots and their applications*. [S.l.]: Norbert Marwan, 2003.