

## ESTUDO E COMPARAÇÃO DE MEDIDAS PARA A RECUPERAÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DE MOVIMENTOS DO CORPO HUMANO

Ana Paula Merencia (PIBITI/CNPq)<sup>1</sup>, Weber Takaki<sup>1</sup>, Wu Feng Chung<sup>1,2</sup>, Huei Diana Lee (Orientadora)<sup>1</sup>

Laboratório de Bioinformática (LABI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)<sup>1</sup>

Faculdade de Ciências Médicas (FCM)/Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)<sup>2</sup>

ana.merencia@unioeste.br

### Objetivos

Avaliar diferentes medidas para comparação de curvas de movimentos do corpo humano.

### Métodos e Procedimentos

A análise detalhada da resposta mecânica de movimentos corporais durante atividades físicas e ou de reabilitação, considerando a dinâmica do movimento em cada plano anatômico ao longo do tempo, é um tema pouco explorado na literatura. Nesse contexto, nosso grupo de pesquisa desenvolveu um método original para monitorar e analisar o movimento de articulações e partes do corpo humano [1], o qual foi automatizado por meio do Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina (SMMAR-T) [2]. Entre outras funcionalidades, o SMMAR-T possibilita criar curvas-padrão de movimentos do corpo humano, e posteriormente compará-las com movimentos realizados pelo mesmo ou por outro indivíduo. Nessa comparação utiliza-se, atualmente, o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), porém o  $R^2$  requer que a quantidade de dados das sequências seja a mesma para que seja adequadamente calculado. Desse modo, foram investigadas neste trabalho as métricas *Dynamic Time Warping* (DTW) e Coeficiente de Correlação de Pearson (R), além do  $R^2$ . Diferentemente do R e  $R^2$  que apresentam resultados em intervalos bem definidos ([-1,1] para R, e [0,1] para  $R^2$ ), o DTW é uma medida

de distância absoluta. Para que os resultados pudessem ser comparados, os valores de DTW foram convertidos para o intervalo [0, 1] utilizando a Equação 1:

$$DTW' = 1 - \frac{DTW}{DTW_{max}} \quad (1)$$

onde  $DTW_{max}$  corresponde à maior distância obtida nos experimentos. Neste trabalho foi utilizada a base de dados pública de séries temporais *Activity Recognition from Single Chest-Mounted Accelerometer* [3], a qual contém movimentos de 15 indivíduos realizando sete atividades diferentes, coletados com um acelerômetro posicionado no tórax dos indivíduos a uma frequência de amostragem de 52Hz. Foi extraída uma curva de referência da atividade de caminhada equivalente a dois passos, contendo 60 amostras (pontos) da curva total de um único indivíduo. Após, as medidas de similaridade foram aplicadas aos dados relativos a essa atividade comparando a sequência de referência com a curva completa dos 15 indivíduos (357.064 amostras) utilizando uma janela deslizante de tamanho 60 e o avanço de um em um ponto sobre essa curva completa, a fim de encontrar as cinco sequências mais similares. Em complemento, foi coletado o tempo de execução de cada algoritmo, sendo que todos os programas não essenciais para a execução do experimento foram desabilitados. Esse processo foi realizado em dois cenários distintos: séries com dados brutos (**E1**) e séries com dados normalizados pela técnica min-max

(E2). Os resultados foram analisados por testes estatísticos com intervalo de confiança de 95%.

## Resultados

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de **E1** considerando as 5 curvas mais similares. As colunas **Id** indicam a identificação da curva, e as colunas de cada medida o valor de similaridade obtido. Na Figura 1 estão representadas as curvas recuperadas em **E1** como a segunda mais similar pelas três medidas. Por motivos de espaço, as curvas recuperadas e as tabelas com os resultados de **E1** e **E2** estão disponibilizados em: <https://tinyurl.com/2522zwku>. O tempo de execução médio, em milissegundos, e respectivo desvio padrão (entre parênteses) de cada medida em **E1**, calculado a partir das 5 curvas recuperadas foi: **DTW** = 0,788 (0,013); **R<sup>2</sup>** = 0,163 (0,008); **R** = 0,111 (0,011). Já para **E2** os tempos foram: **DTW** = 0,721 (0,010); **R<sup>2</sup>** = 0,118 (0,016); **R** = 0,084 (0,009). Os resultados do tempo de execução foram analisados pelo teste estatístico de Kruskal-Wallis, seguido pelo pós teste de Tukey. Para **E1** e **E2** houve diferença estatisticamente significativa entre a maioria dos grupos, com exceção de **R<sup>2</sup>** vs **R**.

Tabela 1: Curvas recuperadas para E1

Id	DTW	Id	R <sup>2</sup>	Id	R
263.059	1,000	263.059	1,000	263.059	1,000
263.060	0,999	263.060	0,644	263.060	0,802
263.061	0,999	263.058	0.636	263.058	0,797
263.062	0,999	262.609	0.620	263.609	0,787
263.063	0,998	323	0.617	323	0,785

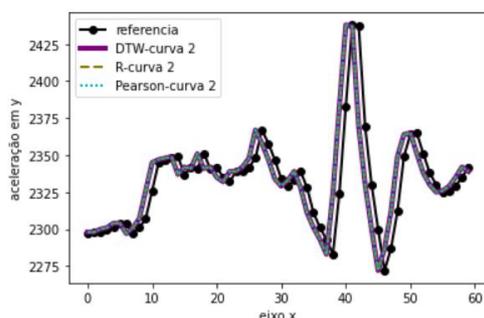


Figura 1: Segunda curva mais similar de cada medida para E1

Como é possível observar na Tabela 1, todas as medidas recuperaram a curva com 100% de similaridade com início do ponto 263.059. O mesmo ocorreu para **E2**. Este é um aspecto

importante pois as medidas devem ser capazes de recuperar ao menos a própria curva de referência. Além disso, até a terceira curva recuperada, a similaridade com a curva de referência foi alta para todas as medidas, em **E1** e **E2**. A partir da quarta curva, **R<sup>2</sup>** e **R** não resgataram curvas tão similares à de referência, diferentemente do DTW, o qual manteve a proximidade em relação à curva de referência. Nos gráficos foi possível notar que as curvas retornadas pelo DTW foram mais semelhantes à de referência que **R<sup>2</sup>** e **R**. Cabe ressaltar que apesar dos valores de DTW serem mais próximos de 1 do que **R<sup>2</sup>** e **R**, isso não indica, necessariamente, que essa métrica foi superior, pois em alguns casos as outras medidas recuperaram as mesmas curvas que DTW, a exemplo da segunda curva na Tabela 1. Além disso, DTW apresentou maior tempo médio de execução, o que é esperado devido ao seu maior custo computacional teórico em relação às outras duas métricas.

## Conclusões

O trabalho atende ao objetivo proposto, sendo que o DTW foi superior em ambos os experimentos para a recuperação de curvas por similaridade, porém inferior quanto ao tempo de execução. Já **R<sup>2</sup>** e **R** apresentaram desempenhos competitivos em ambos os cenários para a recuperação das três curvas mais similares e com menor custo computacional. Trabalhos futuros incluem comparar séries temporais por meio do algoritmo *Symbolic Aggregate AppRoXimation*.

## Referências Bibliográficas

- [1] Wu, F.C. *et al.* (2019). BR Patente INPI 10 2019 015290 7. Método para Monitorar e Analisar Movimentos de Articulações e de Partes do Corpo.
- [2] Ensina, L.A., (2020). Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina. Programa de Pós- graduação em Engenharia Elétrica e Computação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- [3] Casale, P. (2013). Activity Recognition from Single Chest-Mounted Accelerometer. Acessado em 12/08/2022. Disponível em: <https://tinyurl.com/mrxwtuwn>.