

AVALIAÇÃO DA ENTROPIA DE ELETROCARDIOGRAMAS ASSOCIADOS A CORONARIOPATIAS

Laíse Oliveira Resende 1*, Gustavo Moreira da Silva 2*, Adriano O. Andrade 5*

*Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
e-mail: laiseresende@yahoo.com.br

Resumo: O infarto do miocárdio é provocado pela interrupção do fluxo sanguíneo, a partir de uma obstrução coronariana, ocasionando isquemia, lesão e necrose. A predição de eventos isquêmicos é importante para a realização de diagnóstico precoce, escolha do melhor tratamento a ser realizado, melhor prognóstico e possibilidade de acompanhamento da evolução dos pacientes. Tendo em vista a ampla utilização do eletrocardiograma, o objetivo desta pesquisa foi a extração de características de entropia de sinais eletrocardiográficos normais e de sinais associados ao infarto do miocárdio. A entropia pode ser interpretada como uma medida do grau de incerteza. Esse trabalho consiste em um estudo de caso que avalia um conjunto de índices estatísticos medidos a partir da diferença dos graus de irregularidade da série temporal do eletrocardiograma. A coleta de dados foi realizada no Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia, foram selecionadas e analisadas 48 derivações eletrocardiográficas, com a inclusão de pacientes acometidos por infarto do miocárdio e de pacientes sem alterações no eletrocardiograma. Foram obtidos menores valores de entropia para eletrocardiogramas provenientes de pacientes acometidos por infarto do miocárdio. Portanto, a entropia é uma característica que pode ser utilizada para análise e predição de síndromes coronarianas.

Palavras-chave: entropia, eletrocardiografia, infarto do miocárdio.

Abstract: *Myocardial infarction is caused by interruption of blood flow from a coronary obstruction, leading to ischemia, injury and necrosis. The prediction of ischemic events is important for the realization of correct diagnosis, choosing the best treatment, better prognosis and possibility of monitoring patients outcomes. Given the wide use of the electrocardiogram, the objective of this research was to extract entropy features of normal electrocardiographic signs and signs associated with myocardial infarction. Entropy can be interpreted as a measure of uncertainty. This work is a case study that evaluates a set of statistical indices measured from the difference irregularity degree of the electrocardiogram time series. Data collection was performed at Clinical Hospital of Federal University of Uberlândia, 48 ECG leads were selected and analyzed, it was included patients suffering from myocardial infarction and patients without ECG changes. Lower values of entropy for electrocardiograms from patients suffering from myocardial infarction were obtained.*

Therefore, the entropy is a characteristic that can be used for analysis and prediction of coronary syndromes.

Keywords: *entropy, electrocardiography, myocardial infarction.*

Introdução

O infarto do miocárdio é ocasionado a partir de uma obstrução coronariana e constitui-se da necrose miocárdica proveniente da isquemia. O miocárdio é suprido pelas artérias coronárias e, quando um ramo destas se estreita acentuadamente ou fica obstruído, a região miocárdica suprida por esse ramo passa a não ter circulação adequada [1, 2].

Após o início do infarto, há dilatação progressiva dos vasos sanguíneos, além da penetração de sangue colateral na área infartada. As fibras musculares utilizam o restante de oxigênio no sangue, ocorre assim, redução da hemoglobina. Posteriormente, as paredes vasculares tornam-se muito permeáveis e o miocárdio fica edemaciado, devido à redução do metabolismo celular. Após poucas horas as células musculares morrem, com quase nenhum suprimento sanguíneo [3].

As sequelas imediatas da oclusão coronária são: a perda inicial de contratilidade e arritmias, e a morte subsequente das células miocárdicas isquêmicas, que caracterizam um infarto agudo do miocárdio (IAM).

Existem dois efeitos imediatos prejudiciais da isquemia miocárdica: perda da função contrátil e arritmias potencialmente letais. A principal consequência da isquemia prolongada é a morte celular. Embora o início da falência cardíaca e arritmias agudas possuam a mesma origem, os processos fisiopatológicos envolvidos em cada uma são diferentes, pois a interrupção do fluxo coronário produz ações especiais na excitação-contração, na origem e propagação da onda de despolarização que ativa o coração [4].

Destaca-se a corrente de lesão entre os mecanismos que causam arritmias isquêmicas. O surgimento da lesão ocorre no período de repouso em células isquêmicas do miocárdio, está, portanto, associada à condução lenta e origina diferenças de potencial que participam da patogênese de algumas arritmias. Correntes de lesão também dão origem a importantes características diagnósticas no eletrocardiograma de pacientes com diferentes tipos de obstrução das artérias coronárias [3, 4].

A principal causa da despolarização do coração isquêmico é a rápida perda de potássio. A perda de K^+

de uma célula despolariza o miocárdio em repouso, o efeito da despolarização é amplificado quando esse cátion não pode ser levado para fora do espaço extracelular por ausência de perfusão em torno das células isquêmicas. As correntes de lesão que fluem entre regiões normais e isquêmicas do coração em repouso não apenas dão origem a arritmias, mas também propiciam diagnósticos importantes de desvios do segmento ST no eletrocardiograma (ECG) de pacientes com síndrome coronariana isquêmica [5, 6].

Os segmentos ST elevados (supradesnivelamento do segmento ST) representam uma região de lesão transmural, pois a corrente de lesão estabelecida pelas células despolarizadas significa que um eletrodo que registra a atividade da região isquêmica está em uma área de repouso (eletronegativa). Esta corrente diastólica causa uma depressão no segmento TP, linha de base do ECG. A magnitude desta queda de diferença de potencial durante a sístole, quando o coração torna-se despolarizado, eleva o segmento ST em relação ao segmento TP. Como o segmento TP é assumido para gravar uma diferença de potencial zero durante a diástole, a eletronegatividade diminuída durante a sístole é interpretada como elevação do segmento ST [7, 8].

Ademais, a elevação do segmento ST na isquemia aguda pode incluir diferenças de potencial que surgem durante as fases posteriores da sístole, devido à abreviação do potencial de ação na área isquêmica. Outra justificativa é baseada em um retardo na condução da corrente de despolarização, que é propagada lentamente através da área isquêmica, gerando uma onda de despolarização que inscreve elevação do segmento ST quando se aproxima do eletrodo [3, 4].

Ultimamente têm sido propostas novas técnicas e métodos para a análise das formas de onda da eletrocardiografia a qual tem a tendência de um comportamento não linear. Dos indicadores não lineares, um dos mais utilizados é a entropia a qual possui diversas técnicas de quantificação. Entropia pode ser interpretada como uma medida do grau de incerteza que existe antes que uma escolha seja feita. Esse trabalho consiste em um estudo de caso que avalia um conjunto de índices estatísticos medidos a partir da diferença dos graus de irregularidade da série temporal do ECG.

Nesta pesquisa, realizou-se a avaliação da entropia de pacientes com eletrocardiograma normal e pacientes acometidos por infarto do miocárdio, com alterações eletrocardiográficas e alteração de marcadores moleculares de lesão miocárdica.

Materiais e métodos

A. *Caracterização do estudo*

As coletas dos registros eletrocardiográficos dos pacientes foram realizadas no Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Esta

pesquisa foi previamente aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisas da UFU.

A seleção dos pacientes foi baseada nos seguintes critérios de inclusão: infarto da parede anterior ou inferior do miocárdio; em relação às variações presentes no segmento ST dos eletrocardiogramas, foram selecionados apenas os pacientes cujos ECGs continham supradesnivelamento significativo do segmento ST (maior que 1 mm) nas derivações que indicassem infarto anterior ou inferior.

Foram analisadas 48 derivações eletrocardiográficas, 24 derivações de pacientes sem alterações no ECG e 24 derivações de pacientes acometidos por IAM.

Após a coleta dos eletrocardiogramas impressos, os exames foram escaneados e, a partir da obtenção das imagens dos exames, realizou-se a digitalização e processamento dos sinais eletrocardiográficos em um *software* desenvolvido com esta finalidade.

Posteriormente, selecionou-se um ciclo de cada derivação eletrocardiográfica para a análise de entropia.

B. *Extração de características de entropia*

É visto que o conceito de informação é muito amplo para ser reduzido por uma única definição. No entanto, para qualquer distribuição de probabilidades é possível definir uma quantidade denominada entropia que tem muitas propriedades que estão de acordo com o que uma medida de informação deve ter. Entropia é a medida de incerteza de uma variável aleatória, dada pela equação abaixo [9].

$$H = \sum p_i * \log \frac{1}{p_i}$$

Em que p_i indica a probabilidade de evento da distribuição de probabilidades de uma variável aleatória discreta.

Tabela 1: Descrição das técnicas de estimativa de entropia utilizadas [10].

Técnica	Descrição
Entropia Aproximada	Medida de complexidade calculada comparando pequenos grupos para um sinal. Essa comparação é baseada na distância entre o grupo, considerando-se os grupos semelhantes, se a distância for menor do que uma dada tolerância. Para um sinal totalmente previsível, esta medida deverá ser zero.
Entropia Amostral	Baseada na entropia aproximada, a diferença é que as comparações auto-correspondentes não são feitas, o que significa que dois grupos têm sua distância calculada e contabilizada apenas uma vez.
Entropia Fuzzy	Calculada de forma muito semelhante à entropia amostral. No entanto, o nível de similaridade entre os grupos é calculado por meio de uma função de pertinência, a qual deve ser uma função contínua que considera o valor da distância entre os dois grupos e os valores de tolerância em vez de uma simples comparação com a tolerância como nas características anteriores. A função de Gauss pode ser usada como função de pertinência, por exemplo.

É possível assumir, portanto, que entropia é uma função da distribuição da variável aleatória referindo apenas às suas probabilidades.

Dentre diversas técnicas de compressão de uma série temporal por meio da estimativa de entropia este trabalho contempla três delas, a saber: (1) entropia amostral; (2) entropia aproximada; (3) entropia fuzzy [10]. A Tabela 1 exibe uma descrição dessas técnicas.

Essas técnicas foram implementadas em uma toolbox desenvolvida em ambiente de programação Matlab o qual permitiu estimar três valores de entropia para cada uma das 48 derivações.

Resultados

Observou-se, nos sinais eletrocardiográficos dos pacientes acometidos por infarto do miocárdio, menor entropia, comparados aos sinais eletrocardiográficos normais. A Figura 1 apresenta a soma de todas as derivações para cada algoritmo de entropia por paciente.

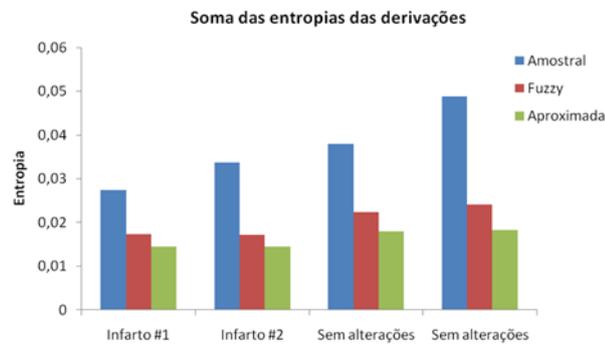


Figura 1: Soma das entropias das derivações.

A Figura 2 representa a soma de todas as derivações para cada algoritmo de entropia por paciente. As análises presentes nas Figuras 1 e 2 permitem uma avaliação mais geral sobre a entropia da série temporal.

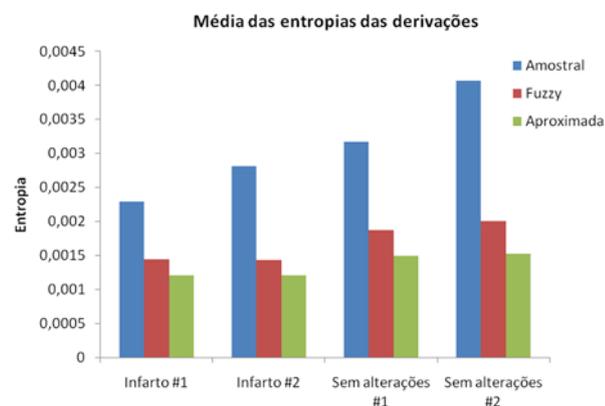


Figura 2: Média das entropias das derivações.

Após essa análise geral das entropias, os gráficos a seguir exibem a informação detalhada por derivação, visto que através destes é possível observar a contribuição de cada eletrodo e a entropia geral que pode ser inferida pela área do polígono formado pelos gráficos. Assim sendo, a Figura 3 demonstra as entropias amostral, de fuzzy e aproximada para as doze derivações do primeiro exame sem alterações, ou exame controle avaliado e a Figura 4 para doze derivações do segundo indivíduo normal.

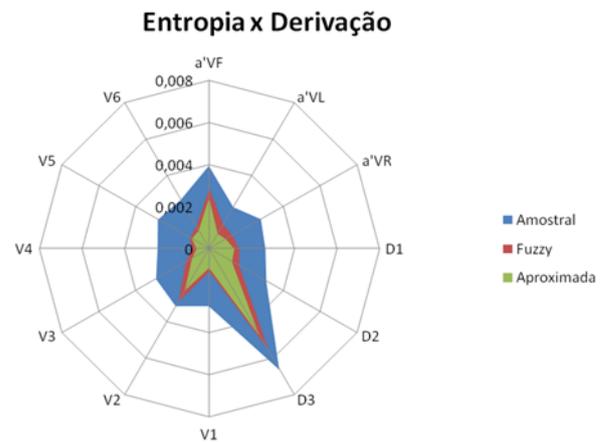


Figura 3: Análise da entropia do primeiro eletrocardiograma normal selecionado.

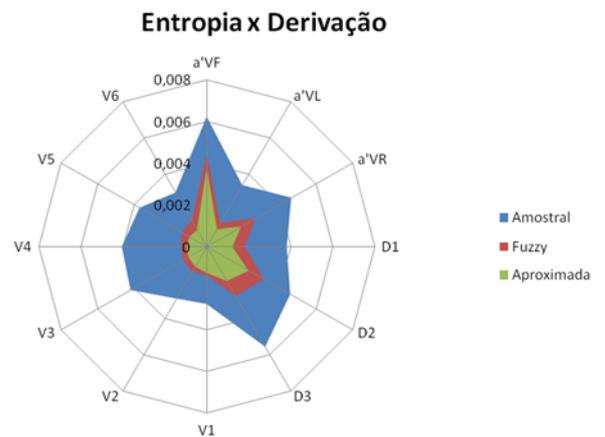


Figura 4: Análise da entropia do segundo eletrocardiograma normal selecionado.

As Figuras 5 e 6 apresentam as entropias em relação a cada derivação para os pacientes infartados.

Discussão

A partir da análise das 48 derivações eletrocardiográficas, as quais incluíram as derivações periféricas e precordiais, D1, D2, D3, aVL, aVF, aVR, V1, V2, V3, V4, V5 e V6 de pacientes normais e acometidos por infarto do miocárdio, verificou-se que a entropia diminuiu nos traçados característicos de IAM.

A Figura 1 demonstra a soma das entropias das derivações para os quatro pacientes analisados. As entropias amostral, fuzzy e aproximada tiveram a mesma característica em todos os sinais, menor entropia no infarto do miocárdio. Esta mesma análise pode ser

observada na Figura 2, que retrata a média das entropias para cada paciente.

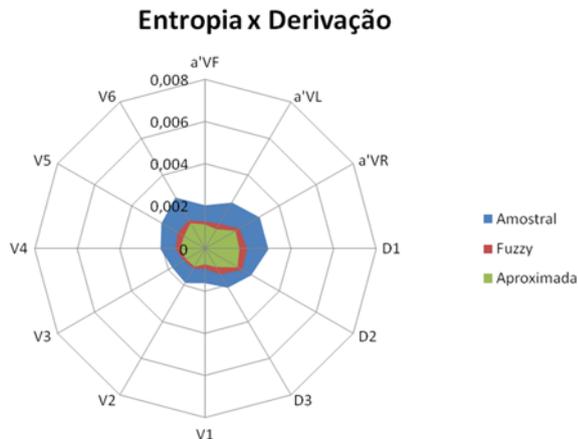


Figura 5: Análise da entropia do primeiro eletrocardiograma selecionado de um paciente acometido por infarto do miocárdio.

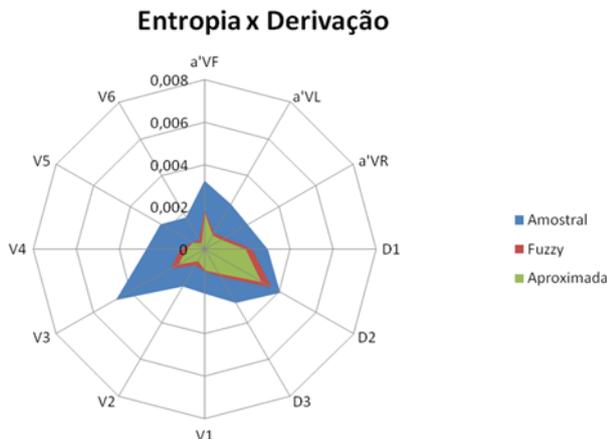


Figura 6: Análise da entropia do segundo eletrocardiograma selecionado de um paciente acometido por infarto do miocárdio.

As Figuras 3 e 4 representam as análises da entropia dos eletrocardiogramas de indivíduos sem alterações eletrocardiográficas, com destaque para a elevada entropia em todas as derivações.

Já nas Figuras 5 e 6, são demonstradas as análises da entropia dos sinais eletrocardiográficos de pacientes acometidos por infarto do miocárdio. Nota-se a menor entropia para as derivações provenientes de alterações isquêmicas.

Conclusão

O eletrocardiograma é um dos exames mais utilizados na prática clínica para o diagnóstico, prognóstico e acompanhamento da evolução de síndromes coronarianas isquêmicas.

A partir do processamento dos sinais eletrocardiográficos é possível realizar a predição de eventos isquêmicos, possibilitando tratamento precoce e melhor prognóstico para os pacientes.

Tendo em vista a importância da análise das características do sinal eletrocardiográfico e das possíveis aplicações clínicas, foi realizado esse estudo de caso para análise de uma das possíveis características a serem implementadas na avaliação destes sinais.

Portanto, a entropia mostrou-se uma importante característica para a discriminação de traçados sem alterações eletrocardiográficas e aqueles com alterações relacionadas à ocorrência de coronariopatias.

A perspectiva desta pesquisa é aumentar o número de traçados analisados, para que sejam realizadas correlações entre as alterações fisiopatológicas de cada derivação e a entropia dos sinais analisados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro a este trabalho.

Referências

- [1] Anderson JL. Infarto agudo do miocárdio com elevação do segmento ST e complicações do infarto do miocárdio. In: Goldman, L.; Ausiello, D. Tratado de Medicina Interna. 22ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 472-489, 2005.
- [2] Braunwald E, Zipes DP, Libby P. Tratado de Medicina Cardiovascular. 6ª ed., v. 1. São Paulo: Roca, 2003.
- [3] Guyton AC, Hall JE. Textbook of medical physiology. 11ª ed. Philadelphia: Elsevier, 2006.
- [4] Katz AM. Physiology of the heart. 2ª ed. Raven Press: New York, 1992.
- [5] Clifford GD. Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis. 1st ed. New York: ArtechHousePublishers, 2006.
- [6] Pastore CA, Grupi CJ, Moffa PJ. Eletrocardiologia Atual: curso do Serviço de Eletrocardiologia do Incor. São Paulo: Atheneu, 2006.
- [7] Rawlings CA. Eletrocardiography: Biophysical Measurement Series. Washington: SpaceLabs, 1991.
- [8] Bacharova L, Mateasik A, Carnicky J, Ubachs JFA, Hedstrom E, Arheden H, Engblom H. The Dipolar Electrocardiotopographic (DECARTO)-like method for graphic presentation of location and extent of area at risk estimated from ST segment deviations in patients with acute myocardial infarction. Journal of Electrocardiology, v. 42 (2), p. 172-180, 2009.
- [9] Brillouin L. Science and Information Theory, 2nd ed., Academic Press, New York, 1962.
- [10] Chen W, Zhuang J, Yu W, Wang Z. Measuring complexity using FuzzyEn, ApEn, and SampEn. Medical Engineering & Physics, v. 31, p. 61-68, 2009.