

Analizador de Variabilidade da Frequência Cardíaca

César Natal Martins¹, Lucas dos Santos², Rodolfo Brandão Barbosa³, Rodolfo Serrano Flausino⁴
Tiago de Castro Nogueira⁵, Lineu Fernando Stege Mialaret⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Universidade do Vale do Paraíba/FCC, Av. Shishima Hifumi, 2911, CEP 12444-000, Urbanova
São José dos Campos, SP, lineu@univap.br

Resumo Este artigo apresenta um software que propicia a realização de análise de biosinais cardíacos, desenvolvido em linguagem Java. Este software implementa, especificamente, os algoritmos *Information Based Similarity (IBS)*, *MultiScale Entropy (MSE)* e *MultiFractal Analysis*, que recebem como entrada um ou mais arquivos no padrão PhysioBank (definido pelo portal PhysioNet) gerados a partir de um eletrocardiograma, possuindo cada um deles o seu resultado próprio. Os resultados destes algoritmos são muito úteis para a interpretação dos eletrocardiogramas e a sua análise, podendo determinar a existência de anormalidades e doenças cardíacas.

Palavras-chave: Análise de Biosinais Cardíacos, Análise de Eletrocardiograma, *Information-Based Similarity*, *MultiScale Entropy*, *MultiFractal Analysis*

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra.

Introdução

O sistema cardiovascular é constituído de algumas estruturas, tais como o coração e os vasos sanguíneos, que tratam de impulsionar e transportar o sangue por todo organismo. O sangue, depois de impulsionado pela bomba propulsora natural – o coração – leva nutrientes e oxigênio às células do corpo e, ao mesmo tempo, retira delas impurezas e gás carbônico. Após este processo, o sangue retorna ao coração, de onde é agora impulsionado aos pulmões, para que o gás carbônico retirado das células seja trocado por oxigênio, e novamente é bombeado ao organismo. Para controle desta função, o coração apresenta um sistema excito-condutor que inicia o impulso cardíaco (potencial de ação), e o transmite a todas as divisões do coração (átrios e ventrículos direito e esquerdo), assegurando uma ação sincronizada.

As duas divisões do Sistema Nervoso Autônomo (SNA), Sistema Simpático e Sistema Parassimpático, atuam sobre o sistema excito-condutor do coração, modulando sua atividade. É aceito que a frequência cardíaca (FC) é regulada através de uma ação recíproca dessas duas divisões: aumenta com uma combinada redução na atividade parassimpática e aumento na simpática, e reduz com alterações opostas na atividade nervosa autônoma.

A atividade cardíaca pode ser avaliada pelo registro e análise do eletrocardiograma (ECG), que é o registro, na superfície do corpo, da soma algébrica das variações dos potenciais elétricos gerados pelo músculo cardíaco, o que fornece informações sobre a seqüência temporal dos seus eventos. Eventos estes que são identificados no ECG através de suas ondas (e.g. Q, R, S e T), intervalos (e.g. RR e QT) e segmentos (e.g. S-T)

característicos, os quais apresentam flutuações batimento a batimento. Por meio da análise da morfologia, amplitude, duração e polaridade dos diferentes eventos eletrocardiográficos, dentre outros aspectos, consegue-se estabelecer o diagnóstico da condição de normalidade ou patológica do coração.

A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC), termo usado para caracterizar as flutuações dos intervalos RR, é uma variável eletrocardiográfica que reflete, de maneira não-invasiva, a atividade dos componentes do SNA sobre o nodo sinoatrial do coração. Diversos métodos de processamento digital de sinais têm sido utilizados para quantificar tanto esta variabilidade quanto a dos Intervalos QT, os quais refletem a repolarização ventricular do coração e possuem grande relação com a frequência cardíaca.

A análise tradicional da VFC tem sido realizada através de métodos no domínio do tempo e da frequência. No entanto, em algumas situações de risco a análise tradicional apresenta limitações.

A ineficiência das metodologias tradicionais pode ser suprida utilizando medidas dinâmicas não-lineares da VFC. Portanto, a presença de dinâmicas não-lineares em sinais biomédicos, torna necessária a aplicação de ferramentas adequadas para análise neste domínio.

Métodos não-lineares são baseados na teoria do caos e fractais. O caos descreve sistemas naturais de uma forma diferente, pois pode esclarecer randomicidade e não-periodicidade presentes na natureza. Talvez a teoria do caos possa ajudar num melhor entendimento da dinâmica de variação da frequência cardíaca, já que mostra que o batimento cardíaco saudável é ligeiramente irregular e, em alguma extensão, caótico. Dentre as várias ferramentas para o

estudo da dinâmica não linear da frequência cardíaca estão os algoritmos *Information-Based Similarity (IBS)*, *MultiScale Entropy (MSE)* e *MultiFractal Analysis*.

O presente trabalho trata de um software implementado na linguagem Java, destinado a realizar a análise dos biosinais cardíacos, utilizando os algoritmos de análise não-linear descritos acima.

Metodologia

Foi usada a linguagem de programação Java para a implementação dos algoritmos de análise não-linear da VFC. Foram utilizadas as bibliotecas e classes de interface gráfica do Java para fornecer uma interface mais amigável com o usuário.

O algoritmo *Information-Based Similarity* (algoritmo IBS) (YANG et al., 2003) é baseado no fato de que sistemas fisiológicos geram flutuações complexas nos seus sinais de saída, que refletem a dinâmica envolvida nestes sistemas. Encontrar e analisar as estruturas dinâmicas “escondidas” nestes sinais é de interesse clínico. Uma maneira de descobrir estas informações “escondidas” é analisar a aparição repetitiva de certos padrões básicos que estão no sinal completo. O algoritmo IBS gera um índice de similaridade para detectar e quantificar estas estruturas temporais dentro das medições de VFC, utilizando ferramentas das linguagens estatísticas.

A dinâmica do coração humano é controlada por duas forças que competem entre si: a estimulação simpática aumenta a frequência cardíaca e a estimulação parassimpática diminui a frequência cardíaca. Para simplificar a dinâmica deste sistema, no algoritmo IBS, a variação da frequência do batimento cardíaco é mapeada para uma seqüência binária, onde o aumento e a diminuição dos intervalos entre batimentos cardíacos são representadas por 1 e 0, respectivamente. A seqüência binária resultante possui informações importantes sobre a dinâmica gerada pelo sistema de controle dos batimentos cardíacos, mas é simples o suficiente para ser analisada como uma seqüência simbólica. Na figura 1, tem-se um exemplo de como esta conversão é feita.

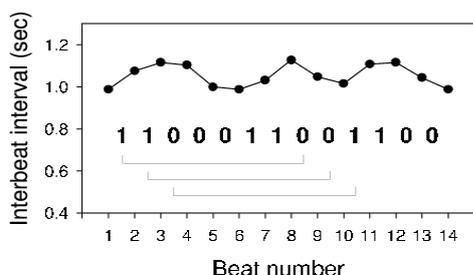


Figura 1 – Mapeamento da Variação da Frequência Cardíaca para uma Seqüência Binária.

Para a realização da análise, esta seqüência binária é dividida em palavras com um tamanho pré-definido. O algoritmo IBS realiza uma análise da frequência da ocorrência de cada uma destas palavras e cria um ordenamento, colocando as palavras em ordem de qual aparece mais na seqüência binária original. Para fazer a comparação de similaridade de um sinal com outro, este algoritmo compara os ordenamentos obtidos de cada um destes sinais. Como resultado desta comparação, o algoritmo fornece um número entre zero e um, que é o índice de similaridade entre os dois sinais. Com isso, o sinal VFC de uma pessoa pode ser comparado com o de outras pessoas reconhecidamente saudáveis ou com algum problema.

O segundo algoritmo utilizado no projeto é conhecido como *MultiScale Entropy* (algoritmo MSE) (Physionet - MultiScale Entropy, 2007). Nos métodos tradicionais de medida de entropia, a regularidade dos sinais é mensurada somente em uma escala. Portanto, não há correspondência entre regularidade e complexidade. Nem os sinais completamente previsíveis, com os periódicos, que tem entropia mínima, ou os sinais aleatórios, que possuem entropia máxima, são muito complexos, pois pode, ser descritos de maneira compacta. A complexidade é definida como sinais com grande riqueza estrutural, incorporando correlações entre múltiplas escalas espaço-temporais. Com o algoritmo MSE, conseguiu-se revelar a verdadeira complexidade dos sinais, através da medida da entropia em diversas escalas. Através de vários testes realizados, foi constatado que a medida do MSE para indivíduos saudáveis é muito diferente da medida do MSE para indivíduos apresentando alguma patologia.

O terceiro algoritmo utilizado para análise dos sinais biocardiacos é o *MultiFractal Analysis* (algoritmo MFA) (GOLDBERGER et al., 2000). Os sinais encontrados na vida real, como os batimentos cardíacos, não conseguem ser decompostos em séries de Taylor ou Fourier de apenas alguns termos, porque possuem comportamentos singulares em determinados valores de tempo, o que é chamado de características fractais (*fractal features*).

Para detectar as singularidades de comportamento, são utilizadas as transformadas wavelet, que conseguem descrever um sinal com todos os pontos em que apresenta comportamento singular. Com a decomposição de um sinal através das transformadas wavelet, é possível calcular um coeficiente h , que indica se as singularidades são as mesmas em diferentes escalas de tempo ou se estas singularidades variam de acordo com a escala de tempo dentro da decomposição. Caso este coeficiente seja igual para todas as singularidades, o sinal é dito monofractal, caso contrário, é chamado de multifractal. A partir desta análise, podemos quantificar o grau de não-

linearidade das singularidades, que é expressado pelo espectro de singularidade $D(h)$.

A importância da análise multifractal no estudo dos sinais biocardiácos está no fato de que indivíduos saudáveis apresentam um comportamento multifractal, com grande variação das singularidades em diferentes escalas de tempo, ao contrário de indivíduos que apresentam alguma doença, cuja análise apresenta um comportamento monofractal ou com pouca variação.

Resultados

Como resultados da implementação, o primeiro passo foi o aprendizado e a compreensão a fundo do funcionamento dos algoritmos descritos acima. Após este processo, foi possível codificar o software na linguagem Java. A tela principal do software é mostrada na figura 2, apresentada a seguir.

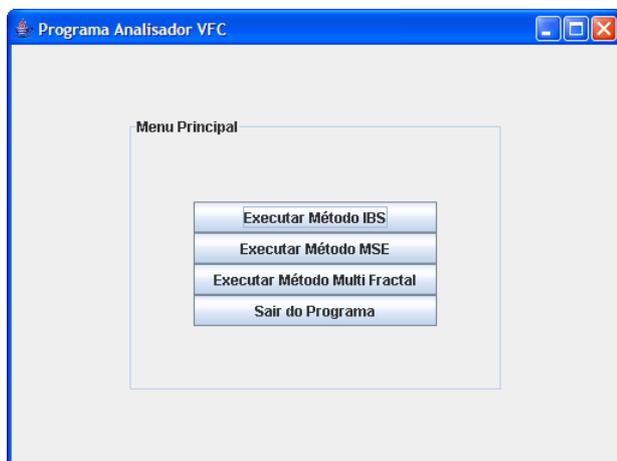


Figura 2 – Tela principal do Software em Java.

Dentro da tela principal, temos a opção para executar os três algoritmos de análise descritos no projeto. A entrada básica dos algoritmos é sempre a mesma: deve ser um arquivo no formato definido pelo portal PhysioNet (PhysioNet, 2007), que na verdade é uma série de dados descrevendo os intervalos entre batimentos cardíacos (também conhecidos como períodos RR) de um exame realizado através de um eletrocardiograma. Abaixo, tem-se a descrição das entradas e saídas de cada uma das funções do programa:

Algoritmo IBS – Na execução deste método, deve ser dada como entrada dois arquivos para a comparação, no formato descrito acima, e também o tamanho da palavra em bytes para a realização da comparação. A saída obtida é a distância entre os dois sinais, conforme apresentado na figura 3.

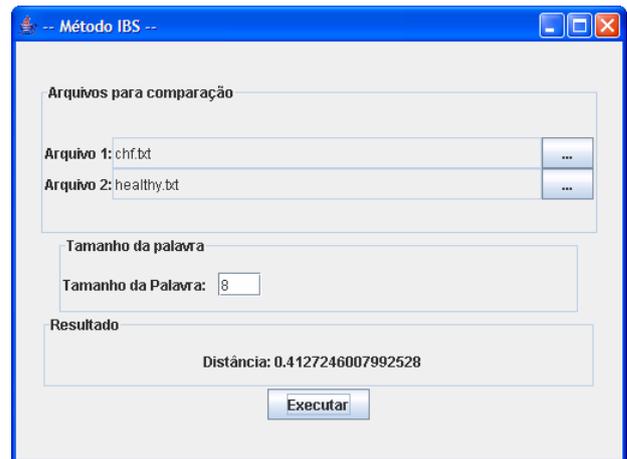


Figura 3 – Tela do Algoritmo IBS.

Algoritmo MSE – Neste algoritmo devem ser usados como entrada os arquivos que serão utilizados na análise, no formato PhysioBank (PhysioBank, 2007), e também os demais parâmetros deste algoritmo, como as escalas, o passo de escala, etc. A saída é a entropia dentro de cada uma das escalas, para cada um dos valores de m e r (tamanho do padrão e critério de similaridade), conforme apresentado na figura 4 abaixo.

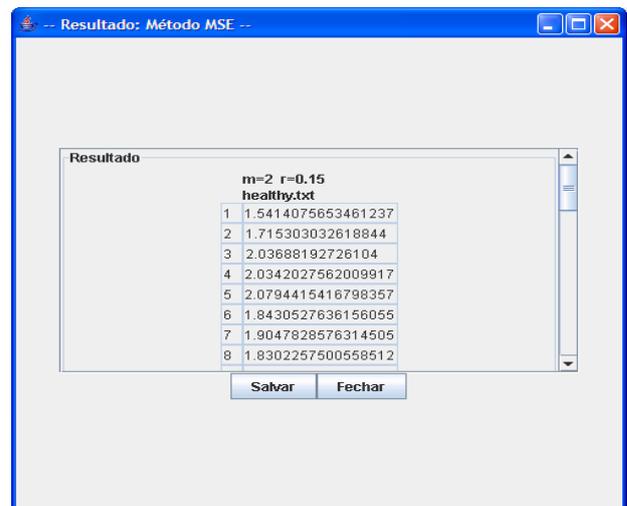


Figura 4 – Tela de Saída do Algoritmo MSE

Algoritmo Multifractal – Neste método, tem-se como entrada o arquivo a ser analisado no formato PhysioBank, e os parâmetros de análise do algoritmo. Como saída, o usuário pode selecionar as funções fractais geradas em formato arquivo texto, as linhas de máxima, também em formato texto, ou a cascata wavelet em formato PPM, que pode ser visualizada através de um software visualizador de figuras neste formato.

Conclusão

O desenvolvimento experimental de um sistema para processamento e análise de biosinais trouxe ao nosso grupo uma visão de como a Computação é uma ferramenta que pode ser aplicada como aliada nas mais diversas áreas de conhecimento, e de maneira particular na área da saúde.

A sua aplicação na área de medicina, principalmente na área de processamento de sinais biológicos, a torna uma importante ferramenta de apoio e auxílio aos médicos e profissionais da área no diagnóstico de doenças. Na cardiologia em particular, o uso de softwares e sistemas para a análise dos biosinais possibilita o diagnóstico e a detecção precoce de patologias, bem como de morte súbita.

Referências

- PhysioNet the research resource for complex physiologic signals. Disponível em www.physionet.org. Acesso em 30 mar.2007.

- PhysioBank physiologic signal archives for biomedical research. Disponível em <http://www.physionet.org/physiobank/>. Acesso em 30 mar.2007.

- YANG A. C., HSEU SS, YIEN HW, GOLDBERGER AL, PENG CK: Linguistic analysis of the human heartbeat using frequency and rank order statistics. Phys Rev Lett 2003, 90 – Disponível em <http://link.aps.org/abstract/PRL/v90/e108103>. Acesso em 24 mai.2007.

- PhysioNet – MultiScale Entropy (MSE) – Disponível em <http://www.physionet.org/physiotools/mse>. Acesso em 24 mai.2007.

- Goldberger A.L., Amaral L., Glass L., Hausdorff J.M., Ivanov P.Ch., Mark R. G., Mietus J.E., Moody G. B., Peng C., Stanley H.E. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation* 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages. Disponível em <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>. Acesso em 24 mai.2007.