

# UM SOFTWARE PARA A ANÁLISE DE ELETROCARDIOGRAMA (ECG)

*Lacordaire Kemel Pimenta Cury<sup>1</sup>*  
*Eurípedes Bastos Siqueira<sup>2</sup>*  
*Thiago Simões Gomes<sup>3</sup>*

## RESUMO

O eletrocardiograma é um exame de importância fundamental para a verificação de eventuais patologias que afetam o coração. Apesar da existência e disseminação dos eletrocardiógrafos digitais, ainda há uma quantidade significativa de aparelhos analógicos, além de inúmeros arquivos com exames em papel que compõem os prontuários dos pacientes. A digitalização dessas informações pode ser uma ferramenta importante para o aproveitamento dos equipamentos, equiparando em praticidade os eletrocardiogramas (ECG) impressos em papel aos armazenados em mídia magnética. Este trabalho propõe uma base para a criação de um software de baixo custo para a digitalização de registros ECG ou eletroencefalográficos (EEG) oriundos de aparelhos analógicos, impressos em papel; ou de ECGs gerados no formato .pdf. a partir de outros aplicativos. O software proposto, denominado “Eletrocheckup”, apresenta também grande flexibilidade para migração entre sistemas operacionais e simplicidade de interface com o usuário. Ele foi desenvolvido a partir de softwares de domínio público, com o emprego de requisitos mínimos em termos de equipamentos. Isto permite sua utilização em hospitais públicos, com objetivo de documentação, análise da evolução clínica do paciente, bem como da aplicação de ferramentas do processamento de sinais para análise automática, possibilitando assim que ECG oriundos de aparelhos analógicos possam ser incorporados a sistemas de telemedicina.

**Palavras-chave:** Eletrocardiograma, ECG, Digitalização de Imagens.

## 1. INTRODUÇÃO

---

<sup>1</sup> Professor e coordenador do curso Sistema para Internet da Faculdade de Tecnologia – FATECA, doutorando em ciências, mestre em ciências, pós-graduado em Gestão Empresarial e Informática em Educação e graduado em Análise e Sistemas, pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU;

<sup>2</sup> Professor e coordenador do curso de Ciências Contábeis da Faculdade CESUC, mestre em economia, pós-graduado em Análise e Auditoria Contábil, e contador pela PUC Goiás;

<sup>3</sup> Professor e Coordenador do Centro de Extensão, Pesquisa e Pós-Graduação (CEPPG) do Centro de Ensino Superior de Catalão, mestre em Administração pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU, pós-graduação em Gestão Financeira pelo CESUC e graduação em Administração pelo CESUC.

Em 1924 foi inventado pelo médico holandês Willem Einthoven um equipamento que mede e analisa cientificamente o funcionamento elétrico do coração. Através da colocação de sensores em locais pré-determinados, o eletrocardiógrafo capta os impulsos elétricos que fazem o coração funcionar, registrando os sinais no formato de um gráfico contínuo que acompanha as variações de tensão, durante as diversas fases de recebimento e bombeamento do sangue.

Inicialmente, o ECG era registrado numa tira de papel, que se movia em velocidade constante, sob um braço móvel que traçava os registros no formato de um gráfico. Com o desenvolvimento da tecnologia, o ECG tornou-se digital, eliminando o uso de papel e permitindo maior flexibilidade no processamento, armazenamento e transmissão dos sinais registrados.

O infarto agudo do miocárdio pode ser considerado um dos problemas cardíacos mais comuns, causado pela obstrução de uma das artérias coronárias que alimentam o coração. Dependendo da gravidade dessa obstrução, a rapidez do diagnóstico e do tratamento são necessárias para se garantir a vida do paciente.

A tecnologia trouxe para os especialistas a vantagem da utilização de softwares que possam auxiliar no diagnóstico. O processamento digital de sinais biomédicos e sua comparação com padrões previamente fornecidos permite, sob certos limites, acelerar o trabalho dos médicos, podendo alertá-los para situações que poderiam passar despercebidas num exame feito em situação de emergência. O computador não substitui o especialista, mas pode ser uma ferramenta importante para seu trabalho.

De acordo com ZYWIETZ et al. (1990), uma avaliação de programas para interpretação de ECG deve considerar estes como partes de um sistema, já que os resultados obtidos dependem também do elemento considerado como hardware. Se os sinais emitidos pelo eletrocardiógrafo ou recebidos pelo computador não forem suficientemente precisos, a análise do programa também pode sofrer distorções. Além disso, a precisão dos resultados desses sistemas não é o único critério que deve ser considerado. Fatores como dimensões físicas, segurança, velocidade de processamento, praticidade da operação, custos, etc, também são importantes e devem ser avaliados pelo usuário potencial.

SALERNO et al. (2003) efetuou uma avaliação dos estudos publicados a respeito dos programas de interpretação de ECG entre os anos de 1996 e 2003. O objetivo foi comparar as diversas propostas de padronização para treinamento, teste e avaliação dessa interpretação, principalmente em relação aos testes comparativos com casos clínicos, já que a maioria dos estudos baseia-se em recomendações consensuais e não em dados obtidos de pacientes..

Como a pesquisa não levou em consideração as metodologias utilizadas e sim os resultados obtidos, a grande variação na precisão das análises realizadas por computador poderia ser atribuída aos algoritmos utilizados ou até a casos clínicos específicos estudados em cada experimento. Como exemplo, podemos citar o estudo de HEDEN et al. (1996, apud SALERNO et al, 2003) com pacientes em emergência hospitalar, onde a precisão do diagnóstico variou entre 57,6% e 83,0% (sensibilidade), um intervalo bastante grande sob o ponto de vista estatístico.

Os índices de especificidade e sensibilidade situados acima de 80%, obtidos na maioria das pesquisas discutidas no Quadro 1, indicam a viabilidade do uso do computador como auxiliar no diagnóstico de anomalias detectáveis através de ECG. O mesmo pode ser dito sobre os critérios de concordância, situados ao redor de 60-70%.

**Quadro I Estudos comparados por (SALERNO et al. 2003)**

Artigo	Resultados
Goodacre et al (2001) - Inglaterra Pacientes do setor de emergência	Especialistas - sem computador = 36,4% de concordância* 22,4% de erros com computador = 41,6% de concordância 18,4% de erros  Software = 4,0% de erros  * com padrões de referência
Massem et al (2000) - Canadá Pacientes internados em tratamento trombolítico	Cardiologistas - $\kappa = 0,78$ para elevação do segmento ST $\kappa = 0,89$ para infarto agudo transmural  Computador - 61,5% de sensibilidade, 100% de especificidade $\kappa = 0,68$ em relação ao padrão de referência
Sekiguchi et al (1999) - Japão Detecção de ECG anormais	Médicos residentes - 96,3% de sensibilidade 99,1% de especificidade  Computador - 87,4% de sensibilidade 83,5% de especificidade
de Bruyne et al (1997) - Holanda Análise de infarto agudo do miocárdio, hipertrofia ventricular	Pesquisadores - 71,8% a 96,9% de sensibilidade 96,3% a 99,6% de especificidade  Computador - 73,8% a 92,9% de sensibilidade 97,5% a 99,8% de especificidade
Brailler et al (1997) - EUA Interpretação de ECGs selecionados	Cardiologistas - com computador: 61% de concordância* 4,5% de interpretação falso-positiva - sem computador: 53% de concordância 7,0% de interpretação falso-positiva  *com padrões de referência
Heden et al (1996) - Suécia e EUA ECGs selecionados - Pacientes saudáveis com histórico de infarto e pacientes cateterizados	Computador - 77% de concordância com padrões de referência

Heden et al (1996) - Suécia e EUA Pacientes em emergência	Computador - 57,6% a 83,0% de sensibilidade 99,8% a 99,9% de especificidade
Widman & Tong (1996) Suécia e EUA Disritmias de exames arquivados e da literatura	Computador - 82,1% de concordância com padrões de referência
Wooley et al (1992) - EUA Pacientes em clínica de medicina familiar	Médicos - 67,0% de concordância com padrões de referência 14,3% de erros em evidências clínicas potenciais  Computador - 88,0% de concordância  Cardiologistas - 91,0% de concordância
Willems et al (1991) - Europa ECGs de infartos e hipertrofia ventricular - População de referência	Cardiologistas - 76,3% de concordância  Computador - 69,7% de concordância
Willems et al (1990) - Europa ECGs de infartos e hipertrofia ventricular - População de referência	Cardiologistas - 77,7% de concordância  Computador - 76,6% de concordância  Concordância entre cardiologistas e computador - $\kappa = 0,61$
Thomson et al (1989) Austrália Interpretação de ECGs de um hospital-escola	Computador - Hipertrofia: 94,0% sensibilidade / 84,3% especificidade - Arritmias: 89,0% sensibilidade / 90,5% especificidade - Infarto: 86,5% sensibilidade / 93,9% especificidade - Alterações ST-T: 83,1% sensibilidade / 83,1% especificidade

Fonte: SALERNO *et al.* 2003

Já existem no mercado alguns softwares de tratamento e interpretação de sinais ECG, como por exemplo o Cardiax (CARDIAX, s. d.) e o CardioPerfect (WELCH ALLYN, 2005). O Cardiax armazena, interpreta os sinais e possui interface para diversos idiomas, sendo que essa interpretação só avalia a mediana do complexo QRS. Já o CardioPerfect armazena os dados do ECG, analisa os intervalos QT, permitindo a visualização em separado e a comparação de ECGs dos pacientes. Deve-se observar que o software Cardiax exige uma configuração RAM 64 Mbytes e ocupa 2 Gbytes de memória em disco rígido, enquanto o software CardioPerfect exige uma configuração RAM 256 Mbytes e ocupa 2 Gbytes de memória em disco rígido. Ambos softwares não são capazes de processar ECGs obtidos através de registros analógicos.

O Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU), ligado à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como diversos outros centros de educação médica que dependem de verbas públicas no Brasil, possui recursos humanos altamente qualificados para o ensino e atendimento dos pacientes. Todavia, a indisponibilidade de verbas impede a utilização de

equipamentos modernos. No caso dos eletrocardiógrafos, por exemplo, muitos equipamentos analógicos estão em utilização, e embora estes sejam tecnicamente ultrapassados, ainda desempenham suas funções com qualidade. Do nosso conhecimento, na literatura inexistem trabalhos discutindo a incorporação de registros ECG oriundos de aparelhos analógicos a sistemas de telemedicina.

MANSUR (2005) propôs um sistema de digitalização de exames impressos, incluindo-os num banco de dados em formato de vetor para posterior avaliação. A vantagem desse trabalho foi a utilização de equipamentos de baixo custo e software livre, o que o torna acessível aos centros médicos da rede pública.

O trabalho de KAO *et al* (2001) também propôs a digitalização de exames impressos e sua conversão em imagem digital. Esse formato, entretanto, utiliza um espaço maior para armazenamento. A principal preocupação dos autores foi a eliminação do fundo da imagem digitalizada, para a manutenção somente do traçado ECG.

Este trabalho busca encontrar alternativas de baixo custo para o processamento de ECG dos pacientes do HCU-UFU, através do desenvolvimento de uma metodologia que permita a transformação dos exames impressos, originados dos ECG analógicos, em arquivos digitais, para posterior armazenamento e processamento.

## 2. MÉTODOS

Para o software Eletrocheckup, as imagens são digitalizadas através de um scanner óptico e transformadas em matrizes de dados, que representam cada ponto da imagem, com informações sobre cor, intensidade, etc. Existem diversos formatos normalmente utilizados, tais como BMP (*Bitmap*), JPG (*Joint Photographic Experts Group*), GIF (*Grafic Interchange Format*), etc. Neste caso foi utilizado o formato BMP, com profundidade de 256 níveis de cinza.

No software Eletrocheckup, após a leitura do documento através do scanner, esse arquivo é processado por um software desenvolvido nas linguagens C e C++. Parte da interface e das bibliotecas utilizadas pelo software foram desenvolvidas tanto para utilização sob o sistema operacional Windows quanto para o Linux. As principais vantagens do uso dessa linguagem é sua portabilidade, velocidade de processamento dos códigos executáveis, programação estruturada, riqueza de recursos e facilidade no desenvolvimento de interfaces gráficas.

O programa EletroCheckup permite o armazenamento de informações dos pacientes, bem como dos dados digitalizados associados aos exames ECG, conforme especificado logo abaixo:

- Informações textuais: cadastro do paciente, contendo informações como nome, endereço, anamnese, etc. São dados apenas documentais para posterior acompanhamento do médico.
- Marcação: exames ECG do paciente, já escaneados, que podem ser fornecidos de três maneiras:
  - Tipo A - Exame impresso em formato A4, contendo as ondas I, II, III, aVR, aVF e aVL, traçadas no sentido horizontal, supondo uma onda impressa embaixo da outra, de forma seqüencial.
  - Tipo B - Exame impresso contendo uma única onda em separado. Pode ser o caso, por exemplo, de uma onda registrada em tira.
  - Tipo C - Contém as mesmas ondas do Tipo A, porém é formado pela sobreposição de papéis tipo tira.

Deve-se notar que a informação do tipo de exame é importante, e caso seja feita incorretamente, pode ocasionar erro, visto que se utiliza de um processamento diferente para cada situação.

Independentemente da escolha, as imagens devem ser preparadas anteriormente e obedecer as seguintes especificações:

- Formato "bmp", em 256 cores
- Resolução 300x300 dpi

Logo a seguir, apresentam-se exemplos de funcionamento do Eletrocheckup, descrevendo-se detalhadamente o processo de digitalização.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Documentação do Quadro Clínico de Pacientes**

A janela principal do Eletrocheckup (figura 1) apresenta cinco seções para utilização do mesmo, como: dados do paciente (inclusão, exclusão, alteração e consulta), inclusão de ECGs, processamento das ondas e relatório clínico do paciente contendo seu suposto diagnóstico.

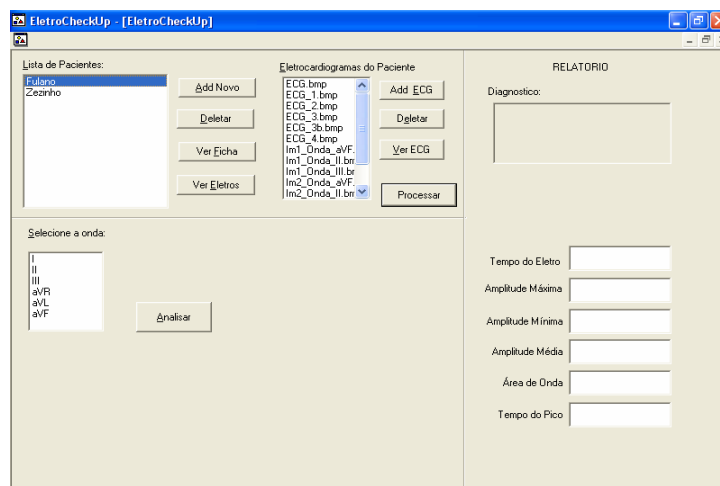


Figura1: Janela Principal do Eletrocheckup

### 3.2 Registros ECG Oriundos de Aparelhos Analógicos

A seguir um resumo das principais etapas efetuadas pelo Eletrocheckup, que serão discutidas a seguir.

I - Conversão manual de formato - a imagem é processada por um scanner óptico e convertida para o formato "bmp" (bitmap), com profundidade de 256 cores. Apesar da perda inevitável de resolução gráfica, as linhas pretas características do traçado ECG são preservadas. Em geral, quanto maior a quantidade de cores da imagem, mais complexo será seu processamento.

II - Leitura - a imagem em bmp é processada, transformada em bits e armazenada na memória de alocação dinâmica, gerando uma imagem com 2000 x 1600 bits (pixels), aproximadamente. A alocação estática de memória não permite atingir essa dimensão.

III - Redução de cores - a imagem colorida, em formato RGB, é convertida para escala de cinza, reduzindo a quantidade de matrizes de cor. Inicialmente, são necessárias três matrizes (dados correspondentes às tonalidades vermelho, verde e azul), e posteriormente, apenas uma (dado correspondente à tonalidade preta). Novamente, neste processo, há perda de informação, sendo que os traçados em preto são preservados.

IV - Estabelecimento de eixos - algumas vezes pode ocorrer distorção no enquadramento da imagem, mesmo quando o escaneamento é feito de maneira cuidadosa. Por esse motivo, é necessário efetuar pequenas correções na rotação, para eliminar inclinações que possam posteriormente interferir na determinação do eixo central da imagem. Uma dificuldade desse processo consiste na localização das bordas externas da grade, que servem

como referência, as quais muitas vezes apresentam qualidade ruim, podendo deteriorar ainda mais durante o processo de digitalização e redução de cores.

V - Separação das derivações - após o enquadramento e a detecção das bordas, espera-se que os gráficos de interesse se iniciem no centro axial, dentro desses limites. Após a localização do início dos gráficos (ou ondas), associados às diversas derivações do ECG, com base na grade, inicia-se o processo de separação dos diversos segmentos do registro ECG. Este processo fornece 6 subimagens para cada registro ECG, onde cada subimagem está associada a uma derivação. O gráfico da primeira derivação inicia-se aproximadamente 90 pixels após a primeira linha e tem largura pré-determinada de 296 pixels, facilitando a divisão dos gráficos das derivações posteriores, os quais apresentam a mesma dimensão. Nesta etapa, o arquivo encontra-se em formato de matriz, ou seja, de números.

VI - Localização do vetor amplitude - a imagem do ECG já segmentada permite que se determine o ponto inicial de um sistema de referência coordenado. Fazendo-se uma varredura na horizontal e encontrando-se o próximo ponto, convencionou-se atribuir a todos os pontos acima dessa linha valores positivos, correspondentes à sua distância em pixels. O mesmo ocorre com o sinal inverso, para os pontos que estiverem abaixo dessa linha. Caso haja uma falha no gráfico, o último ponto é considerado exatamente no local desta falha, buscando-se evitar perda ou mistura de informação.

VII - Determinação da amplitude máxima e mínima - após a geração do vetor amplitude, não há qualquer dificuldade na determinação dos valores máximos e mínimos nele contidos, pós geração do vetor de dados.

### **3.3 Registros ECG em Formato PDF**

As imagens são geradas automaticamente pelo aparelho, e o arquivo é encontrado em formato PDF conforme figura 7, contendo um registro de ECG, o qual é processado pelo Eletrocheckup. As etapas I e II descritas acima não são necessárias, uma vez que o exame já se encontra em formato gráfico. Após o processamento conforme descrito no processo anterior é gerado o vetor de dados figura 8, o qual pode ser reconstruído da mesma forma descrita anteriormente obtendo um excelente resultado.

### **3.4 Registros Eletroencefalográficos (EEG) Oriundos de Aparelhos Analógicos**

O processo de digitalização do EEG é semelhante ao do ECG analógico. A figura 10 apresenta um fragmento de EEG analógico, a ser analisado. Através do Eletrocheckup, este fragmento pode ser convertido em vetor de dados (figura 11), a partir do qual se pode obter o



gráfico reconstituído do vetor (figura 12). Desta forma, os métodos aplicados anteriormente mostraram eficiência na conversão de fragmentos de um EEG analógico.

### **3.5 Cálculo do segmento ST**

O cálculo do segmento ST é realizado por dois métodos. O primeiro realiza a contagem de pontos na área do infarto, e, no segundo, são escolhidos pontos regularmente espaçados no gráfico. Para cada um destes, define-se um retângulo delimitado pelo próprio ponto, pelo ponto anterior e pelo eixo X. Somando todas as áreas desses retângulos, estima-se a área total sob o segmento ST.

## **4. CONCLUSÃO**

A proposta deste trabalho foi criar uma alternativa para a digitalização de exames ECG originalmente analógicos, impressos em papel. A conversão dos dados para o formato digital permite que essas informações possam ser processadas da mesma forma que os exames mais modernos, além de facilitar sua pesquisa e armazenamento.

A conversão de exames impressos para o formato digital, através do escaneamento e tratamento da imagem até sua interpretação, é um procedimento complexo e que deve ser desenvolvido com maiores pesquisas e aprimoramento das técnicas utilizadas. A proposta exposta baseou-se num número limitado de amostras e bases de dados comparativas, oriundas de uma só fonte. Os resultados, entretanto, mostraram-se promissores, mesmo tendo sido uma primeira abordagem para o problema levantado.

O desenvolvimento de um software desse padrão apresenta outras vantagens. Como exemplo, pode ser citada a redução de custos, tanto no aproveitamento de equipamentos analógicos que ainda estão em pleno funcionamento quanto na padronização dos exames, permitindo a comparação de exemplares mais antigos com amostras atuais, realizadas em equipamentos digitais.

Considerando as limitações do estudo inicial proposto, sugerimos que novas pesquisas sejam feitas no aprimoramento das metodologias utilizadas, principalmente no que se refere à parte de análise das informações digitalizadas, procurando acompanhar os trabalhos que vêm sendo desenvolvidos em outros centros internacionais, na busca de uma maior precisão em relação aos resultados que se deseja obter. Um dos obstáculos encontrados foi a pequena amostragem de exames disponíveis para teste, o que reduz a segurança quanto aos resultados

obtidos. Outra limitação é a necessidade de enquadramento e corte manual dos exames, o que aumenta o tempo para a digitalização.

Os resultados obtidos demonstraram a validade da continuidade no desenvolvimento deste software. Para o enquadramento e corte das imagens, como foi citado acima, podem ser criadas rotinas seletivas que detectem e corrijam eventuais distorções causadas pelo escaneamento.

Outra possibilidade levantada durante o desenvolvimento foi o uso da mesma metodologia para a avaliação de outros exames que gerem gráficos semelhantes, como é o caso do eletroencefalograma. Talvez fossem necessárias algumas adaptações de grandezas, já que a amplitude dos sinais, nesse caso, é bem menor.

A conversão da imagem em valores também permite a utilização deste software para aplicações de Telemedicina, reduzindo significativamente o volume de dados e o tempo para a transmissão do exame entre o local de sua realização e a central de recebimento, onde, além da interpretação, o gráfico também poderia ser reconstruído.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDIAX PC-Based Computerized ECG System. *Medusoft Pty Ltd*. Disponível em <[http://www.medusoft.com.au/cardiax/cardiax\\_en.htm](http://www.medusoft.com.au/cardiax/cardiax_en.htm)>. Acesso em 29 jun. 2005

KAO, T.; LEN-JON, H.; YUI-HAN, L.; TZONG-HUEI, L.; CHIA-HUNG, H. Computer analysis of the electrocardiograms from ECG paper recordings. In: *Proceedings of the 23rd annual international conference of the IEEE*, October 2001, Istambul, Turkey, p. 3232-3234, v. 4.

MANSUR, P. H. G. **Análise de registros eletrocardiográficos (ECGs) associados ao infarto agudo do miocárdio**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2005.

SALERNO, S. M.; ALGUIRE, P. C.; WAXMAN, H. S. Competency in Interpretation of 12-Lead Electrocardiograms: A Summary and Appraisal of Published Evidence. *Annals of internal medicine*, v. 138, n. 9, p. 751-761, 2003.

WELCH ALLYN. **Manual do utilizador do módulo de ECG em repouso *cardioperfect workstation***. Skaneateles Falls (EUA): 2005.

ZYWIETZ, C.; VAN BEMMEL, J. H.; DEGANI, R. Evaluation of ECG Interpretation Systems: Signal Analysis. *Methods on information in medicine*, v. 29, n. 4, p. 298-307, 1990.

