

MODELO PARA ANÁLISE DE ARRITMIAS CARDÍACAS USANDO CADEIAS DE MARKOV

Domingos Vanderlei Filho

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Eletrônica e de Sistemas, Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária Recife - PE, 50740-530 Telefones: (0xx81) 2126.8210 / 8211 Ramais 266 / 248, dvanderlei@yahoo.com.br

André Marques Cavalcanti

Faculdade Integrada do Recife, Av. Abdias de Carvalho 1678, Bongi Recife - PE, 50720-635, andrem@fir.br

Hilton de Castro Chaves Jr

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Cardiologia do Hospital das Clínicas da UFPE, Av. Prof. Moraes Rego, s/n - Cidade Universitária, Recife - PE 50670-420, hchavesjr@uol.com.br

Fernando Menezes Campello de Souza

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Eletrônica e de Sistemas, Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária Recife - PE, 50740-530 Telefones: (0xx81) 2126.8210 / 8211 Ramais 266 / 248, fmcs@hotmail.com.br

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar uma modelagem para estudar e analisar arritmias cardíacas em pacientes humanos baseada em Cadeia de Markov. Os resultados experimentais foram obtidos aplicando-se o modelo em uma base de dados obtida a partir da Eletrocardiografia Dinâmica de 24 horas (Holter 24 horas).

Palavras-Chave: Arritmia, Cadeias de Markov, Suporte ao Diagnóstico Médico.

Abstract: This paper shows a model to study and analyze human cardiac arrhythmias based on Markov Chain. The experimental results have been taken applying the model into the database from the Holter 24 hours exam.

Keywords: Arrhythmias, Markov Chain, Medical Diagnosis Support.

1. INTRODUÇÃO

Um dos assuntos mais importantes e abrangentes relacionado à área de saúde é o estudo do Sistema Cardiovascular (SCV), pois ele tem ligação com o funcionamento de todo o organismo humano. Portanto, quadros clínicos onde se observa disfunções no SCV podem conduzir a diversas complicações e em casos mais extremos a própria morte do organismo.

São chamadas doenças cardiovasculares um conjunto de afecções com várias etiologias e manifestações clínicas importantes no perfil de morbimortalidade no mundo. Dentre as doenças relacionadas com alguma disfunção do SCV, pode-se citar: infarto do miocárdio, isquemia e derrame cerebral, insuficiência cardíaca, aterosclerose arterial, aneurismas da aorta, *angina pectoris*, valvulopatias, hipertensão arterial e arritmias cardíacas.

A arritmia cardíaca é o nome dado a um conjunto de alterações que resultam em um funcionamento irregular da atividade elétrica do coração com relação ao ritmo dos seus batimentos. Dependendo do tipo de arritmia, ela pode ocasionar um bombeamento de sangue menos eficaz e então conduzir a várias complicações incluindo-se a morte do indivíduo. Os tratamentos para a arritmia podem envolver desde medicamentos até intervenções cirúrgicas para ablação (retirada da estrutura orgânica) ou introdução de marca-passos (equipamento que, mediante impulsos elétricos, estimula a contração muscular cardíaca).

Existem relatos feitos por Hipócrates, que viveu por volta de 400 a.C., nos quais ele descreveu condições muito provavelmente provocadas por doenças relacionadas ao aparelho circulatório. Hoje elas representam a causa principal de óbito nos países desenvolvidos, mas também em uma parte significativa dos chamados países em desenvolvimento (Mackay & Mensah, 2004).

O Ministério da Saúde (MS), no anuário estatístico de 2001 informa que as doenças do aparelho circulatório representam a principal causa de óbitos no país (32%) e em todas as regiões, seguidas pelas causas externas (15%), neoplasias (15%) e doenças do aparelho respiratório (11%) (Ministério da Saúde, 2003 e 2005). Outros trabalhos publicados também mostram e reforçam as conseqüências das doenças relacionadas ao SCV na sociedade brasileira (Mansur *et. al.*, 2001), (De Souza *et al.*, 2001), (Mansur *et. al.*, 2002) e (Lessa, 2003).

Ao observar os dados apresentados percebe-se as repercussões e alto custo social para a população, bem como o impacto negativo que representam as doenças cardiovasculares na produtividade da economia brasileira. Assim, fica evidente a importância social da área de cardiologia e abre-se a possibilidade de conceber e desenvolver modelos, técnicas e ferramentas de engenharia de sistemas para cooperar na busca de soluções para os problemas de diagnóstico e tratamento de tais doenças.

Dentro desta perspectiva e considerando-se os possíveis estados que um portador de arritmia cardíaca pode-se encontrar, os resultados obtidos com a modelagem através de uma cadeia de Markov, veja Papoulis (1991) e Taylor (1998), permite a previsão probabilística de quando um determinado estado será visitado a partir do seu estado atual. Desta forma, através de um exame Holter 24 horas será possível oferecer ao médico mais informações para a tomada de decisão no diagnóstico de arritmias cardíacas.

Este artigo está organizado em 5 seções. A seção 2 apresenta as Cadeias de Markov. Na seção 3 é mostrada uma das tecnologias utilizadas na área médica para o diagnóstico de arritmias cardíacas. Na seção 4 apresenta-se uma aplicação do modelo proposto. Os resultados obtidos e possibilidades de trabalhos futuros são descritos na seção 5.

2. CADEIAS DE MARKOV

Neste trabalho o interesse é por um tipo particular de Processos Estocásticos, os Processos de Markov, e em especial as Cadeias de Markov, veja Taylor (1998).

Assim, para um dado sistema físico, obedecendo a certas leis de probabilidades pode-se enunciar o seguinte princípio: a probabilidade de que um sistema físico estará num determinado estado no momento t_2 pode ser deduzido a partir do conhecimento do seu estado em um momento anterior t_1 , e não depende da história do sistema antes do momento t_1 .

Um caso especial de Processo de Markov é uma Cadeia de Markov. Em termos matemáticos, um Processo Estocástico de Parâmetro Discreto $\{X_t, t = 0, 1, 2, \dots\}$ ou de Parâmetro Contínuo $\{X_t, t \geq 0\}$ é um Processo de Markov se, para qualquer conjunto de n momentos $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ do conjunto T do processo, a distribuição condicional de X_{t_n} , para dados valores de $X_{t_1}, \dots, X_{t_{n-1}}$, depende apenas de $X_{t_{n-1}}$ (o valor conhecido mais recente); mais precisamente, para quaisquer valores reais x_1, \dots, x_n

$$P(X_{t_n} \leq x_n / X_{t_1} = x_1, \dots, X_{t_{n-1}} = x_{n-1}) = P(X_{t_n} \leq x_n / X_{t_{n-1}} = x_{n-1}) \quad (1)$$

Da expressão (1) pode-se facilmente concluir que, dado o "presente" do processo, o "futuro" é independente do "passado".

Os Processos de Markov podem ser classificados não só pelo seu parâmetro, contínuo ou discreto, mas também pelo espaço dos estados (conjunto dos possíveis valores do Processo Estocástico), que também pode ser contínuo ou discreto. Os Processos de Markov cujo espaço de estados é discreto, dizem-se Cadeias de Markov e usa-se habitualmente para espaço dos estados o conjunto $\{0, 1, 2, \dots\}$.

Um Processo de Markov é descrito pela função de probabilidade de transição. Se o sistema estiver num estado x , no momento t_0 , existe uma probabilidade fixa do estado no momento t ($t > t_0$) pertencer a um conjunto E .

No caso das Cadeias de Markov de parâmetro discreto, as variáveis aleatórias $X_0, X_1, \dots, X_n, \dots$ são discretas, o conjunto T é discreto ($T = \{0, 1, \dots, n, \dots\}$), o número de estados é finito ou infinito numerável e podemos substituir a equação (1) por:

$$P(X_m = x_m / X_0 = x_0, \dots, X_{m-1} = x_{m-1}) = P(X_m = x_m / X_{m-1} = x_{m-1}) \quad (2)$$

A função de probabilidade de transição pode ser descrita da forma:

$$p_{jk}(m, n) = P(X_n = k / X_m = j) \quad (3)$$

isto é, a probabilidade do sistema estar no estado k no momento n dado que no momento m esteve no estado j .

3. TECNOLOGIA PARA O DIAGNÓSTICO

A eletrocardiografia dinâmica de 24 horas, ou simplesmente Holter, em homenagem ao inventor norte-americano Norman Jefferies Holter, é um exame principalmente indicado na investigação de sintomas possivelmente decorrentes de arritmias transitórias, bem como na avaliação de eficácia terapêutica antiarrítmica (Holter, 1961) (Holter & Gengerelli, 1949). O Holter 24 horas é a monitorização eletrocardiográfica, que observa a variabilidade da frequência cardíaca por um longo período através de um método não invasivo. Os monitores Holter atuais são, em geral, equipamentos portáteis que possuem internamente um dispositivo de armazenamento no qual são registrados dados da atividade elétrica do coração do paciente. O eletrocardiograma resultante desta atividade elétrica, captada através de eletrodos conectados à pele do paciente, é

gravado de forma continuada. Em um período de 24 horas são armazenadas cerca de 100.000 medidas referentes aos batimentos cardíacos. Paralelamente ao registro automático feito pelo equipamento, é solicitado ao paciente que anote em um diário as atividades realizadas ao longo das 24 horas bem como os eventuais sintomas, para que sejam posteriormente correlacionados à presença ou não de arritmias armazenadas no Holter. Assim, as anormalidades detectadas do ritmo cardíaco e gravadas no dispositivo de armazenamento de dados são analisadas posteriormente em computador através de um *software* dedicado.

A Figura 1 mostra um paciente monitorado por um modelo de equipamento Holter. Na Figura 2 estão apresentados alguns exemplos de formas de onda da atividade elétrica do coração com presença de arritmias (B) e (C) e sem presença (A).

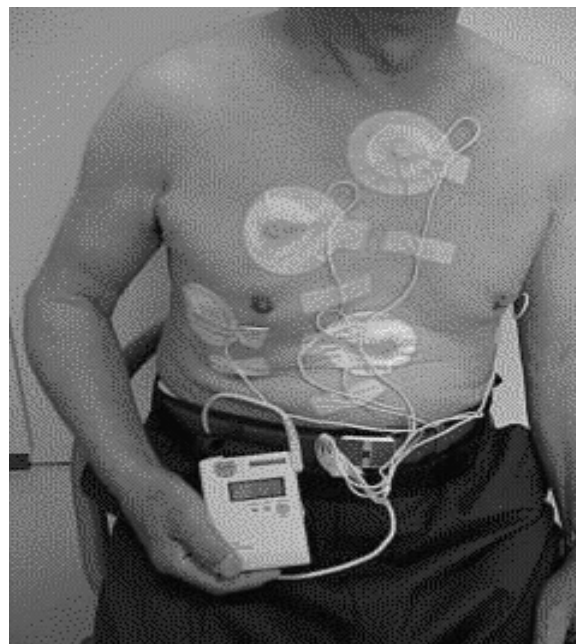


FIGURA 1: Paciente monitorado por equipamento Holter

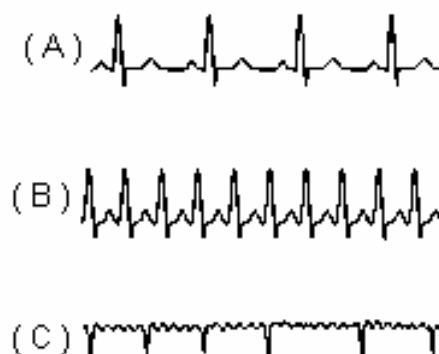


FIGURA 2: Formas de onda da atividade elétrica coronariana

4. APLICAÇÃO DO MODELO

Com o objetivo de mostrar uma aplicação do modelo proposto, utilizou-se 16.000 registros do período cardíaco em milissegundos (ms) obtidos através da monitorização de um dos pacientes da base de dados. A partir destes dados foram estimadas as probabilidades de transição dos estados de uma cadeia de Markov com 6 estados, onde 5 são estados de frequências cardíacas normais e o sexto corresponde a um estado de arritmia. Este sexto estado pode ser identificado nos dados através da presença do valor (-1).

A seqüência de etapas executadas neste trabalho está descrita a seguir. A primeira faz parte do pré-processamento dos dados.

I - IMPORTAÇÃO DOS DADOS / CONVERSÃO DE FORMATO - Inicialmente foi necessário fazer uma conversão dos dados, 16.000 valores, para um formato compatível com a planilha MS Excel (ferramenta usada na análise de dados) .

II - DEFINIÇÃO DAS CLASSES - Para o tratamento do problema utilizando-se cadeia de Markov foi realizada a divisão do conjunto de dados coletados em seis classes. Cada classe corresponde a um estado. As classes de 1 a 5 representam valores de períodos do ciclo cardíaco não considerados como arritmia. Buscou-se compor cada estado com uma quantidade igual de padrões. Para tanto o conjunto total de valores foi dividido em cinco partes utilizando-se os percentis. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos.

TABELA 1: Definição dos intervalos associados aos estados

Estado(Intervalo)	No. Elementos	% Elementos
1 (500-610)	3260	20,5
2 (615-645)	3367	21,2
3 (650-675)	3363	21,2
4 (680-695)	2960	18,6
5 (700-805)	2948	18,5
6 - Arritmia	102	0,64

III - IDENTIFICAÇÃO DE ESTADOS E TRANSIÇÕES – A partir dos valores de cada período medido pelo equipamento foi associado um dos 6 estados. Em seguida foram identificadas as diversas transições entre os estados. Os valores encontrados para os estados e suas respectivas transições estão apresentados na Tabela 2.

IV - CÁLCULO DAS PROBABILIDADES – Nesta etapa foi totalizado o número de transições entre cada par de estados e em seguida calculadas as probabilidades de transição. A Tabela 3 apresenta o resultado encontrado para cada uma das p_{ij} .

V - MATRIZ DE TRANSIÇÃO – Baseando-se nos resultados obtidos mostrados na Tabela 3, foi possível elaborar a matriz de transição para o processo estudado neste trabalho. A matriz de transição pode ser vista na Tabela 4.

TABELA 2: Vista parcial da planilha com dados do Holter

Sequencial	T(ms)	Estado	Transição
300165	-1	6	61
300765	600	1	12
301395	630	2	22
302030	635	2	22
302660	630	2	22
303300	640	2	21
303910	610	1	12
304525	615	2	22
305145	620	2	22
305785	640	2	22
306420	635	2	21
307030	610	1	12
307675	645	2	23
308335	660	3	33
308995	660	3	32

TABELA 3: Cálculo das probabilidades das transições

Transição	No. Trans.	pij
11	2850	0,874233
12	377	0,115644
13	1	0,000307
16	32	0,009816
	3260	1
21	377	0,111969
22	2545	0,755866
23	429	0,127413
24	2	0,000594
26	14	0,004158
	3367	1
32	419	0,124591
33	2222	0,66072
34	668	0,198632
35	45	0,013381
36	9	0,002676
	3363	1
42	7	0,002366
43	628	0,212234
44	1617	0,546468
45	700	0,236566
46	7	0,002366
	2959	1
53	75	0,025441
54	672	0,227951
55	2199	0,745929
56	2	0,000678
	2948	1
61	33	0,323529
62	19	0,186275
63	8	0,078431
64	1	0,009804
65	4	0,039216
66	37	0,362745
	102	1

TABELA 4: Matriz de transição do processo

Estados	1	2	3	4	5	6
1	0,8742	0,1156	0,0003	0	0	0,0098
2	0,1120	0,7559	0,1274	0,0006	0	0,0042
3	0	0,1246	0,6607	0,1986	0,0134	0,0027
4	0	0,0024	0,2122	0,5465	0,2366	0,0024
5	0	0	0,0254	0,2280	0,7459	0,0007
6	0,3235	0,1863	0,0784	0,0098	0,0392	0,3627

VI - DIAGRAMA DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS – A partir dos resultados obtidos na etapa anterior foi elaborado o diagrama de transição de estados mostrado na Figura 3. Cada transição não nula representada pelas setas está associada uma probabilidade p_{ij} , onde i e j são os dois estados entre os quais a transição ocorreu.

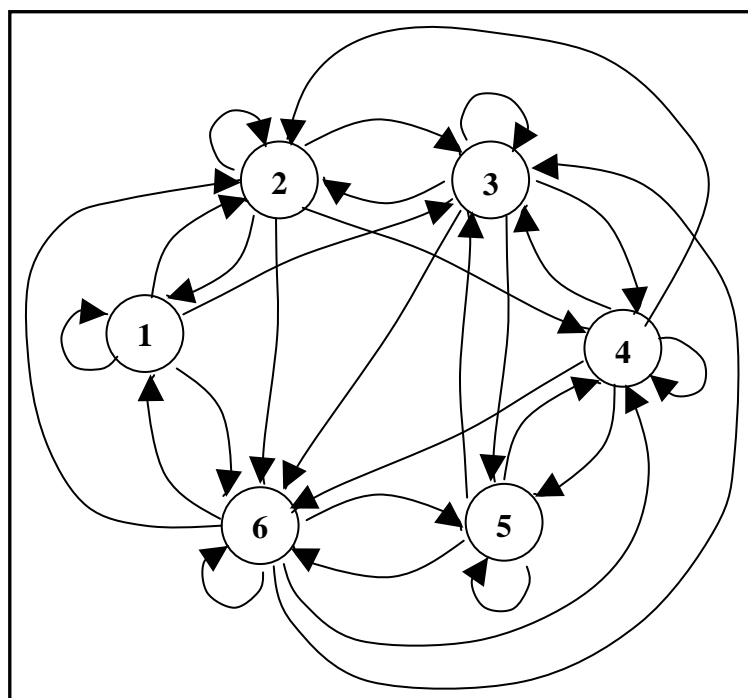


FIGURA 3: Diagrama de transição entre estados para o estudo das arritmias – Cadeia de Markov

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados apresentados na Tabela 4 se referem às probabilidades de transição e foram obtidos através de um exame Holter realizado em um indivíduo portador de arritmia. Portanto, os valores das probabilidades de transição entre os estados do processo refletem o comportamento cardíaco de um indivíduo não normal. Para esta classe de indivíduos, os resultados obtidos até este estágio da pesquisa sugerem existir uma tendência de que o ritmo cardíaco após atingir algum estado tende a permanecer nele. A afirmação da frase anterior tomou por base os valores das probabilidades de transição na diagonal principal da matriz da Tabela 4. O modelo proposto poderá

também fornecer informação para fazer a previsão de quantos períodos de tempo são necessários, a partir do início das observações, para o sistema se encontrar em determinado estado.

A fundamentação teórica e os resultados obtidos indicam a possibilidade de introduzir melhorias na modelagem através de novas configurações e arquiteturas da cadeia de Markov. Uma das possibilidades é modelar o processo também com seis estados, porém da seguinte forma:

Estado 0 (paciente com características normais);

Estado 1 (Paciente só com a frequência fora do normal);

Estado 2 (Paciente com frequência normal porém com 1 extra sístole por ciclo);

Estado 3 (Paciente com frequência normal, porém com duas extras sístoles por ciclo);

Estado 4 (Paciente com frequência normal, porém com três extras sístoles por ciclo);

Estado 5 (Paciente com frequência normal, porém com mais de três extras sístoles por ciclo).

Uma melhoria que poderá ser aplicada no segundo modelo proposto no parágrafo anterior, é desenvolver um terceiro modelo com o dobro de estados, ou seja, seis para o período de vigília e seis para o período de repouso.

Uma nova possibilidade de variação da modelagem inicialmente proposta neste trabalho, consiste em investigar se a chegada da arritmia está associada a algum tipo de distribuição de probabilidade como, por exemplo, a distribuição de Poisson.

REFERÊNCIAS

- De Souza, M. F. et al., 2001. Tendências do Risco de Morte por Doenças Circulatórias nas Cinco Regiões do Brasil de 1979 a 1996. *Arq Bras Cardiol*, vol. 77, No.6, p.562-8.
- Holter, N. J., 1961. A New Method for Heart Studies. *Science*, 134: 1214-20.
- Holter, N. J.; Gengerelli, J. A., 1949. Remote Recording of Physiological Data by Radio. *Rocky Mt. Med. J.*, 46:747.
- Lessa, I., 2003. Assistência Médica e Óbitos por Doença Arterial Coronariana no Brasil, 1980-1999. *Arq Bras Cardiol*, vol. 81, No.4, p.329-35.
- Mackay, J. and Mensah, G. A., 2004. *The Atlas of Heart Disease and Stroke*. World Health Organization/Centers for Disease Control and Prevention, Geneva.
- Mansur, A. P. et al., 2001. Tendência do Risco de Morte por Doenças Circulatórias no Brasil de 1979 a 1996. *Arq Bras Cardiol*, vol. 76, No.6, p.497-503.
- Mansur, A. P., 2002. Tendência do Risco de Morte por Doenças Circulatórias, Cerebrovasculares e Isquêmicas do Coração em 11 Capitais do Brasil de 1980 a 1998. *Arq Bras Cardiol*, vol. 79, No.3, p.269-76.
- Ministério da Saúde, 2001. Anuário estatístico de saúde do Brasil 2001. Disponível em <http://portal.saude.gov.br/saude/aplicacoes/anuario2001/index.cfm>. Capturado em março 2003.
- Ministério da Saúde, 2003. Indicadores e Dados Básicos – Brasil – 2003. Disponível em <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2003/matriz.htm>. Último acesso em 04/04/2005.
- Papoulis, A., 1991. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. McGraw-Hill.
- Taylor, H. M.; Karlin, S., 1998. *An Introduction to Stochastic Modeling*. Academic Press.