

SISCTG - UM SISTEMA INTELIGENTE PARA AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO NA ANÁLISE DE EXAMES CARDIOTOCOGRÁFICOS

JOÃO ALEXANDRE LÓBO MARQUES, PAULO CÉSAR CORTEZ,
GUILHERME DE ALENCAR BARRETO, FRANCISCO EDSON DE LUCENA FEITOSA

*Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 925, 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil*

E-mails: {lobo, cortez, guilherme}@deti.ufc.br, edsonlucena@terra.com.br

Abstract— The accurate analysis of the fetal heart rate (FHR) and its correlation with uterine contractions (UC) allows the diagnostic and the anticipation of many problems related to fetal distress and the preservation of his life. This paper presents the results of an hybrid system based on a set of deterministic rules and a Mamdani fuzzy inference system developed to analyze signals collected by cardiotocography (CTG) exams. The studied variables are basal FHR, short and long term FHR variability, transitory accelerations and decelerations, these lasts classified by their type and number of occurrences. The system output is a first level diagnostics based on those input variables. The system is developed using the Matlab version 7 script language. The project also supports a multi-institutional agreement between Brazil and Germany, among the DETI - Departamento de Engenharia de Teleinformática of the UFC, the MEAC - Maternidade-Escola Assis Chateaubriand, the TUM - Technische Universität München, and the Trium GmbH. The results are very promising, allowing the projection of the refinement of the proposed system, inserting new input variables (such as the approximate entropy of the FHR and its variability). The system validation methodology was based on the knowledge of Brazilian and German obstetricians.

Keywords— Fetal heart rate, cardiotocography, fuzzy logic, diagnostic, computational intelligence.

Resumo— A análise acurada da frequência cardíaca fetal (FCF) correlacionada com as contrações uterinas permite diagnosticar e conseqüentemente antecipar diversos problemas relativos ao bem estar fetal e à preservação de sua vida. O presente trabalho apresenta os resultados de um sistema híbrido, baseado em regras determinísticas e em um módulo de inferência nebuloso do tipo Mamdani, para análise de sinais coletados através de exames denominados cardiocografias (CTG). As variáveis analisadas são o valor basal da FCF, suas variabilidades de curto e de longo prazo, acelerações transitórias e desacelerações, sendo estas classificadas por seu tipo e número de ocorrências. A saída do sistema é um diagnóstico de primeiro nível baseado nestas variáveis de entrada. O sistema SISCTG é desenvolvido na linguagem de scripts do programa Matlab versão 7. O projeto também conta com uma parceria multi-institucional entre o Brasil e a Alemanha, envolvendo o DETI, a Maternidade-Escola Assis Chateaubriand (MEAC), a *Technische Universität München* e a *Trium GmbH*. Os resultados obtidos pelo SISCTG são bastante promissores, permitindo-se projetar o refinamento deste sistema com novas variáveis de entrada (como a entropia aproximada da FHR e da sua variabilidade). A metodologia de validação do sistema conta com especialistas brasileiros e alemães na área obstétrica.

Palavras-chave— Frequência cardíaca fetal, cardiocografia, lógica nebulosa, diagnóstico, inteligência computacional.

1 Introdução

A Medicina Fetal é uma área da Obstetrícia que visa monitorar e determinar ações para proporcionar o bem estar fetal. Até pouco tempo atrás as equipes médicas não possuíam equipamentos que os ajudassem a obter informações úteis e precisas sobre o estado do feto. Hoje em dia, equipamentos de alta tecnologia permitem o acesso a estas informações.

Um dos principais procedimentos utilizados para esse fim consiste na aplicação de exames visuais, através de equipamentos baseados em ultra-som. Em outra vertente, estão os sistemas com sensores sonoros e tocográficos, sendo os primeiros usados para o monitoramento dos batimentos cardíacos fetais e os outros para realizar um mapeamento das contrações uterinas maternas. Esses equipamentos permitem que seja realizado um acompanhamento contínuo dos sinais fetais, tornando-se possível determinar um grande conjunto de patologias ou alterações na saúde do feto examinado [Ingemarsson, 1993].

O acompanhamento contínuo do sinal de frequência cardíaca fetal (FCF) é possibilitado

através do exame denominado cardiocografia (CTG), realizado com o uso de um cardiocógrafa. Este equipamento registra eletronicamente, de forma contínua e simultânea, além dos sinais da frequência cardíaca fetal, a movimentação fetal e as contrações uterinas materna ou *Uterine Contractions* (UC).

A Figura 1 traz uma amostra dos sinais de FCF e UC coletados simultaneamente em uma CTG. A análise destes dois sinais permite gerar um prognóstico com a finalidade de detectar diversos problemas fetais como alterações neurológicas ou baixos níveis de oxigenação. É indicado principalmente para as gestações de risco, que podem levar ao óbito do feto ou mesmo ao aparecimento de seqüelas graves, podendo ser realizado tanto no período gestacional quanto durante o parto [FIGO, 2007].

Com a realização do exame, o bem estar fetal é avaliado baseado em diversos parâmetros. Desta forma, um problema encontrado na análise de exames cardiocográficos convencionais é a diversidade de interpretação e nomenclatura empregada para expressar a vitalidade fetal.

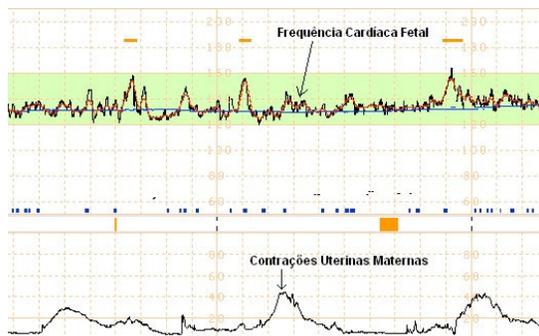


Figura 1: sinais de FCF e UC de uma CTG.

Para minimizar este problema, algumas iniciativas de classificação, realizadas pela comunidade médica internacional, com destaque para a FIGO (Federação Internacional de Ginecologia e Obstetrícia), que determina um conjunto de valores para classificação dos parâmetros medidos pela cardiocardiografia [FIGO, 2007]. Da mesma forma, a equipe médica da Maternidade Escola Assis Chateaubreand (MEAC), pertencente à Faculdade de Medicina da UFC, possui um conjunto próprio de critérios para classificação de cardiocardiografias. Entretanto, mesmo com todas estas iniciativas, são encontradas fortes variações na interpretação dos dados de acordo com os avaliadores dos sinais.

Diante do exposto, há necessidade de se aumentar a precisão e a confiabilidade na análise de CTGs. Assim, sistemas computadorizados estão sendo pesquisados tanto em universidades quanto em fabricantes de equipamentos médicos.

Diversas técnicas de processamento digital de sinais podem ser utilizadas para extrair informações destes sinais, a saber: *wavelets* [Salamalekis, 2006]; redes neurais artificiais (RNA's) [Magenes, 2000], além do uso combinado de técnicas, como por exemplo Multi-Resolution-Principal Component Analysis [Romero, 2001].

Este trabalho apresenta a modelagem e o desenvolvimento de um sistema inteligente híbrido para auxílio ao diagnóstico médico, com um componente determinístico integrado a um sistema de inferência nebuloso.

O sistema beneficiará os pacientes atendidos na MEAC, em geral um público de baixa renda e com pouco acesso à informação. Atualmente, não existe nenhum sistema de registro de exames para análise histórica dos pacientes.

Este projeto utiliza uma base de dados cardiocardiográficos fornecida pela Trium, empresa alemã fabricante do sistema de Cardiocardiografia Computadorizada *CTGOnLine*.

2 Metodologia

2.1 Lógica Nebulosa

A lógica *fuzzy*, também denominada lógica nebulosa ou difusa, é uma ampliação dos conceitos estabelecidos na lógica aristotélica [Sandri, 1999]. Enquanto que na lógica clássica, um elemento de um conjunto possui apenas dois valores-verdade, ou seja, pertence (verdadeiro) ou não pertence (falso) àquele conjunto, na lógica *fuzzy* é criado o conceito de pertinência de um elemento a um dado conjunto, permitindo que ele possa pertencer parcialmente a vários conjuntos ao mesmo tempo. Deste ponto de vista, a lógica *fuzzy* pode ser vista como uma generalização da lógica clássica, permitindo a ocorrência de verdades parciais e não apenas a divisão entre pertencer e não pertencer [Pedrycz, 1998].

Considere, por exemplo, a caracterização de uma população de fumantes e não-fumantes. Pela lógica aristotélica, caso uma pessoa consuma apenas um cigarro por dia, deve ser classificada como fumante. Sob a ótica da lógica *fuzzy*, este problema permite a criação de diversos níveis de risco associados ao conceito de “ser fumante”, como, por exemplo, o grupo de baixíssimo, baixo, médio, alto e altíssimo risco. Estas subdivisões do risco do grupo de fumantes são denominadas de conjuntos *fuzzy*.

É permitido um certo grau de interseção entre conjuntos *fuzzy* adjacentes, indicando que a separação entre eles é uma zona de transição gradual (suave), diferente da mudança brusca (*crisp*) verificada nos conjuntos clássicos. Assim, uma pessoa que fuma dez cigarros por dia, pode ser classificada como pertencente parcialmente ao grupo de fumantes de médio risco, assim como também parcialmente ao grupo de alto risco. Esta é a principal vantagem da lógica *fuzzy*: permitir a inclusão de verdades parciais no processo de modelagem do problema, lidando com incoerências e incertezas de modo intuitivo e matematicamente correto. Os conceitos formais de função de pertinência e conjuntos nebulosos são apresentados a seguir.

Um conjunto nebuloso A do universo de discurso U é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1]$. Esta função associa cada elemento x de U a um valor de $A(x)$, que represente o nível em que x pertence a A . Caso $\mu_A(x) = 1$; x pertence completamente a A . Com $0 < \mu_A(x) < 1$; x pertence parcialmente a A . Finalmente, para $\mu_A(x) = 0$; x não pertence a A .

Segundo Mendel [Mendel, 1995], em geral, um sistema de lógica *fuzzy* é um mapeamento não-linear de um vetor de dados de entrada em uma saída escalar. Pode-se descrever a composição de um sistema de inferência *fuzzy* através de quatro blocos funcionais, conforme ilustrado na Figura 2.

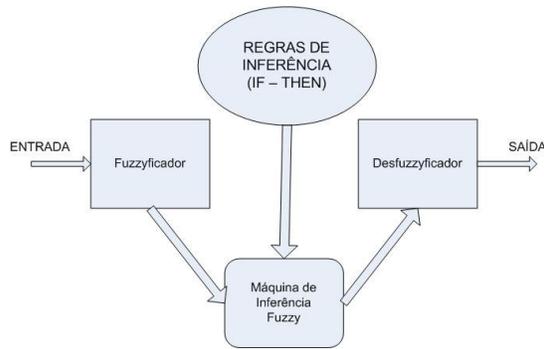


Figura 2: diagrama em blocos de um sistema de inferência nebuloso.

O módulo fuzzificador é o responsável por transformar as variáveis numéricas de entrada, que representam o estado fetal, em valores de pertinência aos conjuntos nebulosos pré-definidos. Neste trabalho, são utilizadas funções de pertinência gaussianas para representar as variáveis nebulosas.

Na Figura 2, a base de regras de inferência é a representação do conhecimento subjetivo humano em formas de regras “SE-ENTÃO”. Estas regras são construídas com a ajuda da equipe médica da MEAC, formada por especialistas no diagnóstico de problemas relacionados ao estado fetal.

A máquina de inferência *fuzzy*, por sua vez, avalia as regras *fuzzy* em paralelo produzindo um conjunto de saída também *fuzzy*. Existem vários modelos de operações para combinações de regras, sendo o modelo de Mamdani a utilizada no presente trabalho.

Por último, o módulo desfuzzificador traduz o conjunto *fuzzy* de saída, gerado pela máquina de inferência, em um número real que representa o diagnóstico do estado fetal corrente. O método de desfuzzificação utilizado neste artigo é o método do centróide (centro de massa).

2.2 Modelagem do SISCTG

As variáveis de entrada avaliadas pelo sistema são as seguintes: (i) FCF basal (FCFB); (ii) variabilidade de curto prazo da FCF (STV); (iii) variabilidade de longo prazo da FCF (LTV); (iv) presença e quantidade de acelerações (ACEL); e (v) a classificação de desacelerações, com seus tipos e número de ocorrências (DCEL).

A partir dos critérios estabelecidos pela MEAC, apresentados na Tabela 1, são determinados os conjuntos de regras determinísticas e de inferência nebulosas.

Nota-se que cada variável possui três possíveis classificações: reativo, que representa o estado aproximado de bem-estar fetal; hiporreativo, que pode indicar um estado de alteração do feto; e não reativo, que indica sofrimento fetal.

Tabela 1: Critérios definidos pela MEAC

Variável	Reativo	Hiporreativo	Não-reativo
FCFB (bpm)	[110,160]	[100,110) ou (160,180]	< 100 ou > 180
LTV (bpm)	≥ 5 e < 20	< 5 e ≥ 20	Lisa ou Sinusoidal
STV (ms)	[2.5,7.5]	[1.5,2.5) ou (7.5,9.5]	< 1.5 ou > 9.5
ACEL	≥ 2	1 acel. ou hipoacel.	Ausência
DCEL	Ausência	DIP I; DIPII favoráveis isoladas; prolongadas ≤ 3 min.	DIP II; variáveis severas; prolongadas > 3 min.

A saída do SISCTG, chamada de DIAG, é um diagnóstico de primeiro nível do estado fetal. A esta variável são associados três níveis de conclusão, a saber, normal, subnormal ou patológico. Em que,

Normal: feto em normais condições. Todas as variáveis de entrada pertencem à categoria reativa.

Subnormal: um ou mais valores, exceto todos, das variáveis de entrada é da categoria hiporreativo e os outros são da categoria reativa.

Patológico: detecção de alterações significativas no feto. As variáveis de entrada são todas da categoria hiporreativa ou um ou mais parâmetros pertencem à categoria não reativa.

A partir dos valores disponíveis na Tabela 1, as variáveis nebulosas tanto de entrada quanto de saída do SISCTG são definidas. A FCF Basal, por exemplo, é mostrada na Tabela 2.

Para o SISCTG, são definidos dois conjuntos distintos de regras, sendo o primeiro somente com as regras determinísticas definidas para classificar os aspectos determinísticos das variáveis de entrada, e o segundo, com as regras utilizadas pela máquina de inferência nebulosa.

A máquina de inferência deve levar em consideração que existem tanto regras de inferência nebulosas quanto regras determinísticas. Estas últimas, por serem estabelecidas para o tratamento de situações em que não existe necessidade de avaliar conjuntos nebulosos, são avaliadas anteriormente ao conjunto de regras de inferência nebulosas.

O conjunto completo de regras determinísticas do sistema está apresentado na Tabela 3.

Após o estudo das variáveis nebulosas, é definido um conjunto de quarenta e duas regras de inferência nebulosas.

Na Tabela 4 é apresentado um subconjunto de cinco regras nebulosas.

Tabela 2: exemplo de variável *fuzzy*.

Entrada 1 – FCFB Basal – FCFB
FCFB = {Bradicardia Acentuada, Bradicardia Leve, Normal, Taquicardia Leve, Taquicardia Acentuada}. Tipo das funções de pertinência: Gaussiana
Bradicardia Acentuada: $0 \leq \text{FCFB} \leq 100$
Bradicardia Leve: $90 \leq \text{FCFB} \leq 120$
Normal: $110 \leq \text{FCFB} \leq 160$
Taquicardia Leve: $150 \leq \text{FCFB} \leq 190$
Taquicardia Acentuada: $\text{FCFB} \geq 180$

Vale ressaltar que o número total de regras seria equivalente a todas as combinações possíveis dos valores das variáveis de entrada. No entanto, para determinados valores de algumas variáveis, a sua combinação com quaisquer outras torna-se desnecessária (por exemplo, a primeira regra da Tabela 4).

De posse das regras, a máquina de inferência *fuzzy* efetua as operações sobre os conjuntos nebulosos para a obtenção de um conjunto de saída também nebuloso. O sistema de Mamdani é um modelo bastante utilizado na área de sistemas de tomada de decisão, pelo baixo custo computacional e simplicidade de implementação.

Este modelo define que para o caso do tratamento de várias variáveis de entrada deve ser utilizado o conectivo “E”, que corresponde à operação matemática interseção ou \cap . Por exemplo, para o presente projeto, com as quatro variáveis de entrada sob determinadas condições e uma conclusão de saída, tem-se:

SE (FCFB = “Taquicardia Leve”) E (LTV = “Normal”) E (STV = “Normal”) E (ACEL = “Normal”) ENTÃO (DIAG = “Normal”)

Tabela 3: conjunto de regras determinísticas.

SISCTG - Regras Determinísticas
Se DCEL é “Ausente” então “avaliar outras variáveis”
Se DCEL é “Presente” então “avaliar TIPODCEL”
Se TIPODCEL é “DIP-I” então DIAG é “Subnormal”
Se TIPODCEL é “DIP-II isoladas” então DIAG é “Subnormal”
Se TIPODCEL é “Prolongada” e DURACAODCEL é “ ≤ 3 minutos” então DIAG é “Subnormal”
Se TIPODCEL é “DIP-II” então DIAG é “Patológico”
Se TIPODCEL é “Variável Severa” então DIAG é “Patológico”
Se TIPODCEL é “Prolongada” e DURACAODCEL é “ > 3 minutos” então DIAG é “Patológico”
Se LTV é “Lisa” então DIAG é “Patológico”
Se LTV é “Sinusoidal” então DIAG é “Patológico”
Se ACEL é “Hipoacelerações” então DIAG é “Subnormal”

Tabela 4: subconjunto de regras de inferência nebulosas.

SISCTG - Regras de inferência <i>fuzzy</i>
Se FCFB é “Bradicardia Acentuada” então DIAG é “Patológico”
Se STV é “Acentuadamente Baixa” então DIAG é “Patológico”
Se ACEL é “Ausente” então DIAG é “Patológico”
Se FCFB é “Normal” E LTV é “Normal” E STV é “Normal” E ACEL é “Normal” então DIAG é “Normal”
Se FCFB é “Taquicardia Leve” E LTV é “Normal” E STV é “Normal” E ACEL é “Normal” então DIAG é “Normal”

A operação de junção do conjunto de regras é feita através do termo conectivo “OU”, que corresponde à operação matemática união ou \cup . Com isso, as regras são avaliadas em paralelo da seguinte forma:

SE (FCFB = “Taquicardia Leve”) E (LTV = “Normal”) E (STV = “Normal”) E (ACEL = “Normal”) ENTÃO (DIAG = “Normal”)
OU

SE (FCFB = “Normal”) E (LTV = “Baixa”) E (STV = “Baixa”) E (ACEL = “Normal”) ENTÃO (DIAG = “Subnormal”)
OU

SE (FCFB = “Normal”) E (LTV = “Normal”) E (STV = “Normal”) E (ACEL = “Baixa”) ENTÃO (DIAG = “Normal”)

Finalmente, como mecanismo de desfuzzificação do SISCTG é utilizado o cálculo do centro de gravidade ou centro de massa, por ser uma das técnicas mais utilizadas e bem-sucedidas para este tipo de aplicação [Silveira, 2005].

3 Resultados

Os resultados foram baseados na avaliação de 100 exames (CTGs) com os devidos parâmetros definidos, mas sem classificação de diagnóstico. Para a validação dos diagnósticos, é utilizado um especialista vinculado à empresa Trium.

A validação desta base trabalha com dois modelos de classificação dos exames. No primeiro, o especialista classifica todas as CTGs como “Normal”, “Subnormal” e “Patológica” resultando em 49 exames classificados como normais, 18 como subnormais e 33 como patológicos.

Em um segundo modelo de classificação, o especialista pode ponderar com percentuais entre as três opções de classificação. Neste caso, em comparação com o critério anterior, foram determinados 9 exames com classificações ponderadas pelo especialista. Deste total, 6 foram definidos com 50% de possibilidade de ser normal e 50% de ser subnormal, sendo 3 antes definidos como normais e 3 como subnormais. Finalmente, mais 3

exames, sendo 2 anteriormente classificados como subnormais e 1 como patológico, foram definidos com 50% de possibilidade de ser subnormal e 50% de ser patológico.

Utilizando-se o SISCTG, no primeiro modelo o sistema tem um bom desempenho e classifica corretamente 88% dos exames. No segundo modelo, assumiu-se que, caso uma classificação possua um percentual superior ao das outras duas, aquela representa a classificação adequada para o exame. Para o caso de divisão de 50% entre duas classificações, escolhe-se a classificação mais grave, como forma de prevenção a problemas na gestação. O desempenho do sistema é ainda superior, classificando corretamente 93% dos exames.

Para cada caso, é montada uma matriz de confusão do SISCTG com o intuito de apresentar os percentuais relativos de acertos e erros do sistema. Na Tabela 5 estão os percentuais obtidos com a classificação determinística do especialista. Calculando-se a média dos elementos da diagonal principal da matriz, encontra-se o percentual de 87,35%, que corresponde a um valor aproximado do total de acertos do sistema.

Na Tabela 6 estão os percentuais obtidos com a classificação ponderada pelo especialista, que é o segundo critério descrito anteriormente. Calculando-se a média dos elementos da diagonal principal da matriz, encontra-se o percentual de 92,68%, que corresponde a um valor aproximado do total de acertos do sistema.

É possível verificar pelas duas matrizes apresentadas, que a utilização de valores ponderados melhora a performance do sistema a partir do momento em que o especialista considera como indeterminados (com margem de 50% para duas classificações distintas), alguns exames que anteriormente estavam classificados erroneamente pelo SISCTG.

Tabela 5: matriz de confusão – modelo de classificação 1.

Diagnóstico	Resultado da classificação		
	Normal (%)	Subnormal (%)	Patológico (%)
Normal	93,87	6,12	0
Subnormal	5,55	83,33	1,11
Patológico	0	15,15	84,84

Tabela 6: matriz de confusão – modelo de classificação 2.

Diagnóstico	Resultado da classificação		
	Normal (%)	Subnormal (%)	Patológico (%)
Normal	100	0	0
Subnormal	0	89,47	10,52
Patológico	0	11,42	88,57

No presente caso, 3 exames classificados anteriormente pelo especialista como normais e erroneamente classificados pelo SISCTG como subnormais foram considerados, no segundo critério, como indeterminados (50% de possibilidade de serem normais e 50% de serem subnormais) pelo especialista. Da mesma forma, 2 anteriormente classificados como subnormais pelo especialista e patológicos pelo SISCTG, passaram a ser considerados indeterminados (50% de possibilidade de serem subnormais e 50% de serem patológicos) pelo especialista.

A ocorrência de falsos negativos, isto é, classificar um exame patológico como normal ou subnormal ou ainda classificar um exame subnormal como normal, é um importante parâmetro para a análise de CTGs. Na Tabela 6, por exemplo, aproximadamente 11% dos casos patológicos foram classificados como subnormais. No entanto, devido à natureza de baixa especificidade de uma CTG, a indicação de estado subnormal já leva a um acompanhamento mais detalhado do feto. Portanto, o mais grave seria classificar alguma possível alteração como normal.

Com isso, ênfase deve ser dada para os resultados bastante significativos e satisfatórios do sistema, de acordo com a equipe da MEAC, que são a detecção de 100% dos exames normais como “Normal”, assim como também a inexistência de exames subnormais ou patológicos classificados como normais.

4 Conclusões

A forte subjetividade existente na análise de CTGs, torna estes exames propícios para o desenvolvimento de sistemas computacionais para auxílio ao diagnóstico médico. Levando-se ainda em conta a natureza linguística das variáveis envolvidas, a lógica nebulosa juntamente com regras determinísticas pode ser usada como alternativa viável.

O SISCTG obteve bons resultados, permitindo ser considerado uma ferramenta eficiente no auxílio ao diagnóstico fetal por meio de CTGs.

O projeto também prevê o refinamento do sistema com a análise de novas variáveis, tais como a entropia aproximada tanto da FCF quanto da variabilidade deste sinal.

Agradecimentos

À FUNCAP - Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

À TRIUM GmbH, em Munique, Alemanha, que é parceira da UFC no Projeto e disponibilizou seu software de CTG Computadorizada, equipamentos

conversores e a base de dados de Cardiotocografias utilizada neste projeto.

Referências Bibliográficas

- Federação Internacional dos Ginecologistas e Obstetras – FIGO. (2007) FIGO Publications, Disponível em: <<http://www.figo.org>>
- Ingemarsson, I., Ingemarsson, E., Spencer, J. A. D. (1993). Fetal Heart Rate Monitoring - A Practical Guide. Oxford University Press.
- Magenes, G., Signorini, M., Arduini, D. (2000). Classification of cardiotocographic records by neural networks. In: *Proc. IEEE-INNS-ENNS, Int. Joint Conf. on Neural Networks*, Vol. 3, pp. 637-641.
- Mendel, J. M. (1995). Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial. In: *Proceedings of the IEEE on Artif. Int.*, vol. 3, pp. 345-377.
- Pedrycz, W., Gomide, F. (1998). A introduction to fuzzy sets: Analysis and Design. MIT Press.
- Romero, O. F., Betanzos, A. A., Berdinas, B. G. (2001). Adaptive pattern recognition in the analysis of cardiotocographic records, In: *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol 12 no. 5, pp 1188-1195.
- Salamalekis, E., Siristatidis, C., Vasios, G., Saloum, J., Giannaris, D., Chreklis, C., Prentza, A., Koutsouris (2006). Fetal pulse oximetry and wavelet analysis of the fetal heart rate in the evaluations of abnormal cardiotocography tracings. *Journal of Obstetrics an Gynaecology Research*.
- Sandri, S., Correa, C. (1999). Manual: Lógica Nebulosa. V *Escola de Redes Neurais*. Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA.
- Silveira, A. M., Furtado, A. B., Oliveira, R. C. L., Costa Jr., C. T. (2005). Identificação de abordagens administrativas. Um ensaio com lógica fuzzy. In: *Infocomp Journal of Computer Science*. Vol 4.1.