

**Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**,  
v. 24, n. 2, p. 91-98, agosto 2008  
© SBEB - Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica  
ISSN 1517-3151  
<http://dx.doi.org/10.4322/rbeb.2012.051>

### Artigo Original

Recebido em 02/01/2008, aceito em 14/08/2008

## Sistema inteligente para auxílio ao diagnóstico no monitoramento fetal eletrônico por análise de cardiocorografias

*A computer aided diagnostic intelligent system for electronic fetal monitoring based on cardiocorographies*

**João Alexandre Lôbo Marques\***  
**Paulo César Cortez**

Laboratório de Engenharia de Sistemas de Computação  
Departamento de Engenharia de Teleinformática / UFC  
Rua das Mangueiras, 280, Cidade dos Funcionários  
60821-540 Fortaleza, CE  
E-mail: lobo@deti.ufc.br

**Francisco Edson de Lucena Feitosa**  
Maternidade-Escola Assis Chateaubriand / UFC

\*Autor para correspondência

### Resumo

A análise acurada da frequência cardíaca fetal (FCF) correlacionada com as contrações uterinas permite diagnosticar, e consequentemente 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 cardiocorografias (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. São utilizados dois modelos de classificação. A saída do sistema, em qualquer dos modelos, é um diagnóstico de primeiro nível baseado nestas variáveis de entrada. O sistema inteligente para auxílio ao diagnóstico no monitoramento fetal eletrônico por análise de cardiocorografias (SISCTG) foi desenvolvido na linguagem de *scripts* do programa MATLAB® v.7. O projeto conta também com uma parceria multi-institucional entre o Brasil e a Alemanha, envolvendo o Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI) da Universidade Federal do Ceará (UFC), a Maternidade-Escola Assis Chateaubriand (MEAC), a *Technische Universität München* e a empresa alemã *Trium GmbH*, que fornece a base de dados utilizada neste trabalho. Os resultados apresentados pelo SISCTG mostram-se promissores, com um índice de acertos (comparando-se os dois modelos utilizados) variando de 83% a 100%, de acordo com o tipo de diagnóstico. Isto permite projetar o aprimoramento deste sistema com novas variáveis de entrada (como a entropia aproximada da FCF e da sua variabilidade). A validação do sistema contou com especialistas brasileiros e alemães na área obstétrica.

**Palavras-chave:** Frequência cardíaca fetal, Cardiocorografia, Lógica nebulosa, Diagnóstico, Inteligência computacional.

### Abstract

*The accurate analysis of the fetal heart rate (FHR) and its correlation with uterine contractions (UC) allow the diagnostic and the anticipation of many problems related to fetal distress and the preservation of its life. This paper presents the results of a hybrid system based on a set of deterministic rules and fuzzy inference system developed to analyze FHR and UC signals collected by cardiocorography (CTG) exams. The studied variables are basal FHR, short and long-term FHR variability, transitory accelerations and decelerations, these last classified by their type and number of occurrences. Two classification models are used. For both models, the system output is a first level diagnostic based on those input variables. The system is developed using the MATLAB® v.7 script language. The project is also supported by a multi-institutional agreement between Brazil and Germany, among the DETI (Departamento de Engenharia de Teleinformática of the Universidade Federal do Ceará), the MEAC (Maternidade-Escola Assis Chateaubriand), the TUM (Technische Universität München), and the Trium GmbH, a German company who supplied the database used in this project. The results are very promising with a diagnostic accuracy (considering the two models used) varying from 83% to 100%, according to the type of diagnostic. These results allow the projection of refinements 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, Cardiocorography, Fuzzy logic, Diagnostic, Computational intelligence.

## Extended Abstract

### Introduction

Electronic Fetal Monitoring (EFM) based on Cardiotocographies (CTG) is a useful, non-invasive technique to analyze fetal distress and neurological development problems. The computerized CTG exams acquire fetal heart rate (FHR) and uterine tonus, to detect uterine contractions. The analysis of these two signals, their combination and some subsequent parameters allow the detection of a significant set of pathologies and fetal health problems (Ingemarsson et al., 1993).

In fact, as CTG conventional analysis is based on many parameters, there is usually a high level of physician's subjective influences. Therefore, some initiatives were created to determine sets of rules for this analysis, like those from FIGO (International Federation of Gynecology and Obstetrics) and the one created by the MEAC medical staff, at UFC. Even though, strong diagnostic differences are still found in visual CTG analysis.

In this context, computerized systems are very important to create a first level tool for CTG diagnostics. The proposed system (SISCTG) is a hybrid system based on a set of deterministic rules and a fuzzy inference system (Mamdani) which analyses CTG parameters as input variables and generates one output, classifying the fetal status as normal, suspicious and pathological.

### Materials and Methods

The fuzzy logic can be considered a generalization of conventional Aristotelic logic, creating the concept of intersection areas between classification sets of some variables known as linguistic variables.

Medical variables, particularly those having intrinsic subjective aspects on their analysis, are very suitable for this kind of implementation. The considered CTG input variables presented in this paper were divided into two classes. In the first class, there are the fuzzy input variables: (i) basal Fetal Heart Rate (FHR); (ii) Short-term variability; (iii) long-term variability. For the second class, the deterministic input variables: (i) existence of FHR accelerations; (ii) decelerations classification, considering their types and number of occurrences.

To analyze the two deterministic variables, the system uses a set of deterministic rules, listed in Table 2. There is also a Mamdani fuzzy logic system based on a three-component model: a fuzzyfier block for the fuzzy input variables, an inference machine with a set

of inference rules defined by the system specialists (a subset of these rules is listed in Table 3) and finally a defuzzification block using the centroid technique to get the output. For a better comprehension, Figure 3 shows the SISCTG block diagram.

In this study it was considered a set of 100 CTG exams available from Trium and also validated from one physician from Munich, Germany. The specialist used the MEAC classification model.

There were two models of classification. The first one classified all the exams between three classes: Normal, Suspicious and Pathological. The second model considered a probabilistic classification, allowing the physician to define a percentage between two classes, in case of doubt.

### Results and Discussion

Using the first model of classification, the SISCTG could classify correctly 83.33% of suspicious exams, 84.84% of pathological exams and 93.87% of normal exams. With the second model, the system had a better performance, classifying correctly 88.57% of pathological exams, 89.47% of suspicious exams and 100% of normal exams. Specifically in this second model, the SISCTG rules considered the most severe classification specified by the physicians as the correct classification.

Implementation aspects like the kind of fuzzy inference function used for the input variables and the intersection area between the fuzzy output sets were also discussed, but without significant impact on the system performance or results.

A very important parameter for CTG analysis is the occurrence of false negative results. Tables 4 and 5 show the contingency matrixes of each model. Using the second approach, as shown in Table 5, 11% of pathological exams were classified as suspicious. This means that suspicious results must not be considered as conclusive. A significant result is that 100% of normal pre-classified exams were correctly classified by the SISCTG system.

### Conclusion

Obtaining a reliable diagnostic for electronic fetal monitoring using CTG is a complex task because of its intrinsic subjective analysis characteristics. The use of SISCTG, a hybrid system based on a set of deterministic rules and a Mamdani fuzzy inference system, have shown to be a good approach to help on that task.

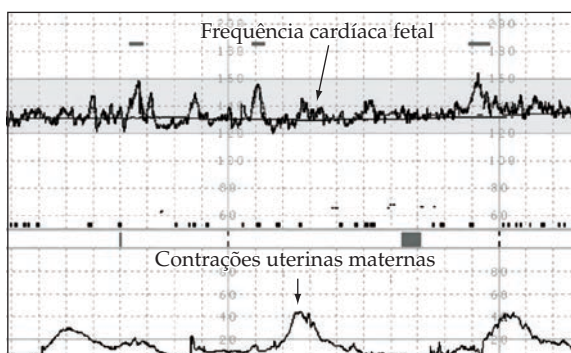
## Introdução

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 as ajudassem a obter informações úteis e precisas sobre o estado do feto. Atualmente, equipamentos de alta tecnologia permitem o acesso a estas informações.

Um tipo de monitoramento eletrônico de sinais fetais e maternos pode ser conseguido através do exame denominado cardiogramia (CTG), realizado com o uso de um cardiocógrafa. Este equipamento registra eletronicamente, de forma contínua e simultânea, a frequência cardíaca fetal (FCF), a movimentação fetal e as contrações uterinas maternas, ou *uterine contractions* (UC), tornando possível determinar um grande conjunto de doenças ou alterações na saúde do feto examinado (Ingemarsson *et al.*, 1993).

Os sinais de FCF e UC coletados em uma CTG são mostrados na Figura 1, que apresenta uma tela do sistema de cardiogramia computadorizada *CTGOnline* da empresa alemã *Trium*. Esta representação gráfica segue os padrões de escala já convenicionados para exames cardiogramáticos. Na parte superior da figura são mostrados os traçados relativos à FCF, sendo: a FCF detectada pelo sensor, e o traçado do valor basal da FCF, definida mais adiante neste trabalho. Na parte inferior está o traçado do tônus uterino, que permite identificar a ocorrência de contrações.

A análise destes sinais permite gerar um prognóstico com a finalidade de detectar precocemente problemas fetais, principalmente para as gestações de risco que podem levar o feto ao óbito, ou mesmo indicar a possibilidade do aparecimento de seqüelas neurológicas graves, tanto no período gestacional quanto durante o parto.



**Figura 1.** Sinais FCF e UC em um exame de CTG. **Figure 1.** FHR and UC signals in a CTG exam.

Com a realização do exame, o bem estar fetal é avaliado baseado em vários parâmetros. No entanto, um problema encontrado na análise de exames cardiogramáticos convencionais é a diversidade de interpretação e nomenclatura empregada para expressar a vitalidade fetal.

Para minimizar este problema, algumas iniciativas de classificação foram realizadas pela comunidade médica internacional, com destaque para a Federação Internacional de Ginecologia e Obstetrícia – FIGO que determina um conjunto de valores para classificação dos parâmetros medidos pela cardiogramia (Noack, 2007). Da mesma forma, a equipe médica da Maternidade-Escola Assis Chateaubriand (MEAC), pertencente à Faculdade de Medicina da UFC, estabelece um conjunto próprio de critérios para a classificação de cardiogramas. Entretanto, mesmo com estas iniciativas, são encontradas fortes variações na interpretação dos dados de acordo com os avaliadores destes sinais (Marques *et al.*, 2006).

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

Diversas técnicas de processamento digital de sinais podem ser utilizadas para extrair informações dos sinais oriundos dos cardiocógrafos, tais como: *wavelets* (Salamalekis *et al.*, 2006); redes neurais artificiais (RNAs) (Magenes *et al.*, 2000), além do uso combinado de técnicas, como por exemplo *Multi-Resolution* e *Principal Component Analysis* (Fontenla-Romero *et al.*, 2001).

O presente trabalho apresenta a modelagem, o desenvolvimento e os resultados de um sistema inteligente híbrido para auxílio ao diagnóstico médico (SISCTG), com um componente determinístico integrado a um sistema de inferência nebuloso (Marques, 2007). Os resultados são obtidos com uma base de dados cardiogramáticos fornecida pela *Trium*.

## Materiais e Métodos

### Lógica nebulosa

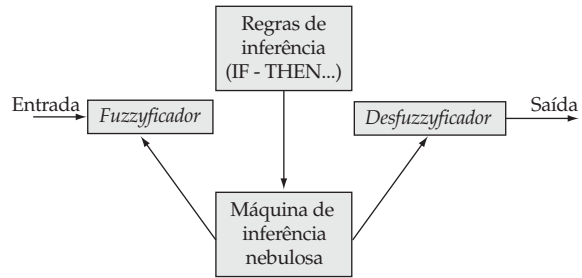
A lógica *fuzzy*, também denominada lógica nebulosa ou difusa, é uma ampliação dos conceitos estabelecidos na lógica aristotélica. Enquanto que na lógica clássica, um elemento de um conjunto possui apenas dois valores-verdade, ou seja, pertence (verdadeiro) ou não pertence (falso) àquele conjunto, na 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 (Zadeh, 1988).

É permitido 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, 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 nebulosa sobre a lógica clássica: 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  $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$ . Esta função associa cada elemento  $x$  de  $U$  a um valor de  $\mu_A(x)$ , que represente o nível em que  $x$  pertence a  $A$ . É uma expressão do nível de compatibilidade entre  $x$  e o conjunto  $A$ . Caso  $\mu_A(x) = 1$ , então  $x$  pertence completamente a  $A$ . Se  $0 < \mu_A(x) < 1$ , então  $x$  pertence parcialmente a  $A$ . Por fim, caso  $\mu_A(x) = 0$ ;  $x$  não pertence a  $A$  (Kasabov, 1998).

Segundo Mendel (1995), um sistema de lógica nebulosa é um mapeamento não-linear de um vetor de dados de entrada em uma saída escalar. Neste sentido, pode-se descrever a composição de um sistema de inferência *fuzzy* através de quatro blocos funcionais, conforme ilustrado na Figura 2.



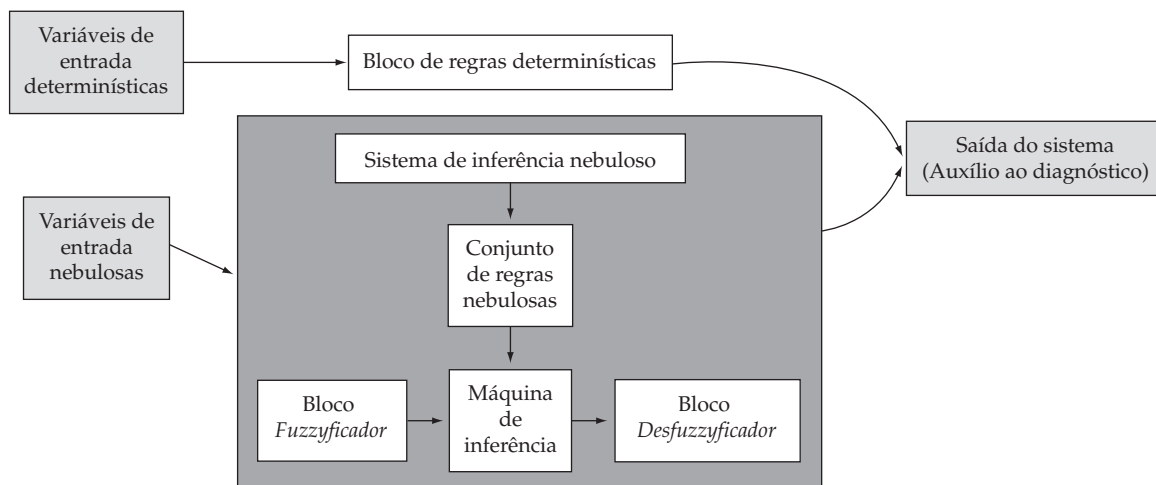
**Figura 2.** Sistema nebuloso típico. **Figure 2.** Typical fuzzy system.

### Descrição do SISCTG

O SISCTG, em virtude da natureza das variáveis envolvidas no exame analisado, é um sistema híbrido composto de um módulo nebuloso e outro determinístico (Marques, 2007). Para melhor compreensão, um diagrama de blocos do sistema é apresentado a seguir na Figura 3.

O bloco *fuzzyficador*, parte integrante do bloco do sistema de inferência nebuloso, 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 utilizados três diferentes tipos de funções de pertinência: triangulares, trapezoidais e gaussianas.

O conjunto de regras nebulosas, um dos blocos mostrado na Figura 3, 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, com base em CTGs. O modelo seguido é da Federação Brasileira das Associações de Ginecologia e Obstetrícia – FEBRASGO, que por sua vez se baseia nas definições da FIGO (FEBRASGO, 2008).



**Figura 3.** Diagrama de blocos do SISCTG. **Figure 3.** SISCTG block diagram.



Inicialmente foram consideradas todas as combinações possíveis entre as diversas variáveis de entrada, eliminando-se, ao final, as regras identificadas pela equipe médica como incoerentes.

A máquina de inferência *fuzzy*, por sua vez, avalia as regras nebulosas em paralelo, produzindo um conjunto de saída também *fuzzy*, conforme mostrado na Figura 3. Existem vários modelos de operações para combinações de regras, sendo utilizado no presente trabalho o modelo de Mamdani (Kasabov, 1998).

Por último, o bloco *desfuzzyficador*, também mostrado na Figura 3, traduz o conjunto nebuloso de saída gerado pela máquina de inferência, em um número real que representa o diagnóstico do estado fetal corrente. O método de *desfuzzyficação* utilizado neste artigo é o método do centróide (centro de massa).

Paralelamente é feita a análise das regras determinísticas do sistema, através de um bloco de regras específico, apresentado na Figura 3.

Finalmente, o bloco de saída do sistema é representado na Figura 3 recebendo as informações processadas pelos dois sistemas paralelos citados acima, tendo como saída o resultado final da classificação.

### Variáveis de entrada e saída e critérios de classificação

As variáveis de entrada avaliadas pelo sistema são as seguintes:

1. FCF basal ou linha de base da FCF (FCFB): é um valor médio calculado em um intervalo pré-estabelecido de tempo. De acordo com o *National Institute of Child Health and Human Development – NIHCD* (NIHCD, 2008) e a FIGO (FIGO, 2008), este intervalo está entre 110 e 150 bpm (batimentos por minuto). Já Freeman *et al.* (1991) estabelecem o intervalo de 120 a 160 bpm. O valor da linha de base da FCF é estabelecido após 10 minutos de duração do exame. Da mesma forma, alterações nesta linha de base só são consideradas se maiores que 10 minutos. Alterações de menor duração são classificadas como alterações periódicas.
2. Variabilidade de curto prazo da FCF (*Short-Term Variability – STV*): caracteriza a irregularidade

encontrada no intervalo entre os batimentos cardíacos, um a um (*beat-to-beat*). É representada em milissegundos e é causada pela variação normal existente no ciclo cardíaco, como consequência do processo constante de “puxa e empurra” dos sistemas nervosos simpático e parassimpático.

3. Variabilidade de longo prazo da FCF (*Long-Term Variability – LTV*): medida em bpm, representa a forma com que a onda da FCF está variando na CTG, geralmente medida a uma frequência de três a cinco ciclos por minuto.
4. Presença e quantidade de acelerações da FCF (ACEL): normalmente ocorrem no período denominado *antepartum*, no início do trabalho de parto, ou ainda associadas a alguns tipos de desacelerações. Existem dois mecanismos fisiológicos responsáveis pelas acelerações da FCF: as acelerações resultantes da movimentação fetal ou das contrações uterinas, e as causadas pela oclusão do cordão umbilical.
5. Desacelerações da FCF, com seus tipos e número de ocorrências (DCEL): são alterações periódicas da FCF, muito importantes para a determinação de sofrimento fetal ou mesmo de doenças congênitas. São classificadas em quatro diferentes tipos, de acordo com a forma e a relação temporal com as contrações uterinas: Desacelerações precoces - DIP I (*early decelerations*); Desacelerações tardias - DIP II (*late decelerations*); Desacelerações variáveis (*variable decelerations*), e Desacelerações prolongadas (*prolonged decelerations*).

Partindo do conjunto de variáveis descritas acima, as regras determinísticas e nebulosas foram estabelecidas com base nas definições apresentadas na Tabela 1, que são utilizadas como referência pela equipe médica da MEAC para análise de cardiotocografias.

A saída do sistema SISCTG é um diagnóstico de primeiro nível do estado fetal, identificado pela variável DIAG. A esta variável são associados três níveis de conclusão: normal, subnormal e patológico, descritos a seguir:

- Normal: feto em condições normais, situação em que todas as variáveis de entrada pertencem à categoria reativa;

**Tabela 1.** Critérios definidos pela MEAC. **Table 1.** Criteria defined by MEAC.

Variável	Reativo	Hiporreativo	Não reativo
FCFB (bpm)	[110, 160]	[100, 110] ou [160, 180]	< 100 ou > 180
LTV (bpm)	≥ 5 e < 20	≥ 20	Lisa ou Senoidal
STV (ms)	[2,5, 7,5]	[1,5, 2,5] ou [7,5, 9,5]	< 1,5 ou > 9,5
ACEL	≥ 2	1 aceleração ou hipoacelerações	Ausência
DCEL	Ausência	DIP I; DIP II favoráveis isoladas; Prolongadas ≤ 3 min.	DIP II; Variáveis severas; Prolongada > 3 min.

- Subnormal: estado de atenção, quando um ou mais valores das variáveis de entrada são da categoria hiporreativo e os outros são da categoria reativa;
- Patológico: detecção de alterações significativas no feto, sendo determinado quando todas variáveis de entrada são da categoria hiporreativa ou um ou mais parâmetros pertencem à categoria não-reativa.

Conforme já citado, no SISCTG são definidos dois conjuntos distintos de regras, sendo o primeiro contendo somente as regras determinísticas empregadas 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 considera 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 previamente ao conjunto de regras de inferência nebulosas. O conjunto total de regras, tanto determinísticas quanto nebulosas, pode ser encontrado em Marques (Marques, 2007). Um subconjunto de cinco regras determinísticas do sistema é apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Conjunto de regras determinísticas. **Table 2.** Set of deterministic rules.

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"

Após o estudo das variáveis nebulosas, é definido para a máquina de inferência um conjunto de quarenta e duas regras de inferência nebulosas. Na Tabela 3 é apresentado, como exemplo, um subconjunto de cinco regras nebulosas.

Vale ressaltar que o número total de regras é 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 3) (Marques *et al.*, 2007).

Estabelecidas todas as regras, nebulosas e determinísticas, podem ser obtidos os resultados do emprego do SISCTG.

**Tabela 3.** Subconjunto de regras de inferência nebulosas.

**Table 3.** Subset of fuzzy inference rules.

SISCTG - Regras de Inferência Nebulosas
Se FCFB é "Bradycardia Acentuada" então DIAG é "Patológico"
Se FCFB é "Taquicardia Acentuada" então DIAG é "Patológico"
Se STV é "Acentuadamente Alta" 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 se TV é "Normal" e ACEL é "Normal" então DIAG é "Normal"

### Dados analisados

É usada uma base de dados, cedida pela empresa *Trium*, contendo 100 exames (CTGs) com todos os parâmetros definidos, mas sem classificação de diagnóstico. Para a validação dos diagnósticos, o médico especialista da empresa *Trium*, Dr. Shiemeier da Clínica Universitária *Rechts der Isar*, pertencente à *Technische Universität München* na Alemanha, segue os padrões de classificação estabelecidos pela MEAC/UFC. Apesar de ser um padrão de classificação diferente do utilizado normalmente pelo médico especialista, as diferenças são mínimas e o intuito é o de validar o sistema com o padrão com que será utilizado na MEAC/UFC.

A validação da referida base é realizada através de dois modelos de classificação dos exames. No primeiro, denominado "modelo não-ponderado de classificação", o especialista (Dr. Shiemeier) classifica todas as CTGs da seguinte maneira: 49 exames classificados como "Normal", 18 classificados como "Subnormal" e 33 como "Patológicos".

Em um segundo modelo de classificação, denominado "modelo ponderado de classificação", o médico especialista pondera com percentuais entre as três opções de classificação. Neste caso, em comparação com o modelo anterior, são determinados 9 exames com classificações ponderadas pelo especialista, conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Conjunto de dados para os dois modelos considerados. **Table 4.** Set of data for the two considered models.

Diagnóstico	Modelo não-ponderado de classificação	Modelo ponderado de classificação
Normal	49	46
Subnormal	18	13
Patológico	33	32
50% Normal e 50% Subnormal	-	6
50% Subnormal e 50% Patológico	-	3

De acordo com a Tabela 4, tem-se 6 dos 9 exames definidos com 50% de possibilidade de serem normais e 50% de serem subnormais, sendo 3 anteriormente definidos como normais e 3 como subnormais. Finalmente, mais 3 exames, sendo 2 anteriormente classificados como subnormais e 1 como patológico, são definidos com 50% de possibilidade de serem subnormais e 50% de serem patológicos.

## Resultados e Discussão

O SISCTG, usado no “modelo não-ponderado de classificação”, apresenta bom desempenho e classifica corretamente 93,87% dos exames normais, 84,84% dos exames patológicos e ainda 83,33% dos exames subnormais. Nenhum exame normal foi classificado como patológico e nenhum exame patológico foi classificado como normal. Estes resultados estão apresentados na Tabela 5 com os percentuais de classificações certas e incorretas.

**Tabela 5.** Tabela de contingência para o primeiro modelo.

**Table 5.** Contingency table for the first model.

Diagnóstico	Classificado como:		
	Normal (%)	Subnormal (%)	Patológico (%)
Normal	93,87	6,12	0,00
Subnormal	5,55	83,33	11,11
Patológico	0,00	15,15	84,84

No “modelo ponderado de classificação”, assume-se que caso uma classificação dada pelo médico possua um percentual superior ao das outras duas, o sistema deverá identificar como correta a de maior percentual. Para o caso de identificação, por parte do médico, da possibilidade de 50% entre duas classificações, ou seja, uma dúvida, o sistema deverá optar pela classificação mais grave, como forma de prevenir problemas na gestação. Esta classificação segue o padrão praticado pelos médicos.

Após esta reclassificação, o desempenho do sistema se mostrou superior, classificando corretamente 100% dos exames normais, isto é, nenhum exame normal foi classificado erroneamente como subnormal ou patológico. Classificou corretamente 89,47% dos exames subnormais e 88,5% dos exames patológicos. A Tabela 6 apresenta estes resultados com os percentuais de classificações certas e incorretas.

Nestas tabelas de contingência, o somatório de cada linha corresponde ao total (100%) para cada tipo de classificação.

**Tabela 6.** Tabela de contingência para o segundo modelo.

**Table 6.** Contingency table for the second model.

Diagnóstico	Classificado como:		
	Normal (%)	Subnormal (%)	Patológico (%)
Normal	100	0,00	0,00
Subnormal	0	89,47	10,52
Patológico	0	11,42	88,57

É importante salientar que os conjuntos de saída nebulosos possuem áreas de interseção, o que pode levar a casos em que o centro de massa encontrado fique em uma zona de fronteira entre os dois conjuntos. Neste caso, é considerada uma faixa equivalente ao valor de fronteira  $\pm 5\%$ . Nos resultados avaliados, mesmo nos casos em que os médicos optaram por um diagnóstico ponderado com 50% para duas classificações, o conjunto nebuloso de saída não tem seu centro de massa resultante nas zonas de fronteira delimitadas.

Outro resultado a ser considerado diz respeito às diferentes funções de pertinência utilizadas. Para esta análise, com as variáveis nebulosas definidas seguindo os parâmetros da MEAC, não são encontradas diferenças de classificação para as funções de pertinência utilizadas: triangulares, trapezoidais ou gaussianas.

Quanto à análise dos resultados encontrados, 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 são classificados como subnormais. No entanto, devido à natureza de baixa especificidade de uma CTG, a indicação de estado subnormal conduz o especialista a um acompanhamento mais atento do feto. Portanto, o mais grave é classificar alguma possível alteração como normal.

Ênfase deve ser dada para os resultados do sistema no modelo ponderado, 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, conforme pode ser visto também na Tabela 6.

## 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 em conta a natureza lingüística

das variáveis envolvidas, a lógica nebulosa, juntamente com regras determinísticas, pode ser usada como alternativa viável.

O SISCTG apresentou bons resultados, segundo avaliação da equipe médica, podendo ser considerado uma ferramenta eficiente no auxílio ao diagnóstico fetal por meio de CTGs. Isto é evidenciado quando se considera o acerto em 100% de detecção de casos normais.

A partir da comprovação de sua eficiência e importância, pode-se prever, como perspectivas futuras, o aprimoramento do SISCTG com a introdução de novas variáveis para análise, tais como a entropia aproximada da FCF ou de sua variabilidade, que consiste em uma estatística de regularidade para quantificar a imprevisibilidade de flutuações em uma série temporal. Ela reflete componentes não-lineares no sinal temporal da frequência cardíaca fetal (Cysarz *et al.*, 2000), além de possuir correlação, por exemplo, com a acidose fetal (Li *et al.*, 2005).

Além disso, é importante ressaltar que os resultados apresentados são validados por apenas um especialista em uma base de exames coletados na Alemanha. A pesquisa deverá prosseguir com a implantação deste sistema na MEAC/UFC para análise com dados de pacientes no Brasil, com um maior número de especialistas. Isto abre a possibilidade de uma ampliação no processo de validação, além de oferecer uma análise automática de CTGs para auxílio ao diagnóstico médico no atendimento cotidiano da MEAC, bem como na melhoria deste atendimento.

### Agradecimentos

À FUNCAP – Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico. À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. À *Trium Analysis Online GmbH*, em Munique, que é parceira da UFC no projeto e patrocinou parcialmente o projeto disponibilizando seu *software* de CTG computadorizada, equipamentos conversores e a base de dados de cardiotocografias utilizada neste projeto.

### Referências

CYSARZ, D.; VAN LEEUWEN, P.; BETTERMANN, H. Irregularities and nonlinearities in fetal heart period time series in the course of pregnancy. *Herzschrittmachertherapie und Elektrophysiologie*, v. 11, n. 3, p. 179-183, 2000.

FEBRASGO - Federação Brasileira das Associações de Ginecologia e Obstetrícia. Disponível em: <www.febasgo.org.br>. Acesso em: 10/04/2008.

FIGO - International Federation of Gynecology and Obstetrics. Disponível em: <www.figo.org>. Acesso em: 22/07/2008.

FONTENLA-ROMERO, O.; ALONSO-BETANZOS, A.; GUIJARRO-BERDIÑAS, B. Adaptive pattern

recognition in the analysis of cardiotocographic records. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 12, n. 5, p. 1188-1195, 2001.

FREEMAN, R. K.; GARITE, T. J.; NAGEOTTE, M. P. *Fetal Heart Rate Monitoring*. 2ed. Baltimore: William Wilkins, 1991. 203 p.

INGEMARSSON, I.; INGEMARSSON, E.; SPENCER, J. A. D. *Fetal Heart Rate Monitoring: A Practical Guide*. New York: Oxford University Press, 1993.

KASABOV, N. K. *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*. Massachusetts: MIT Press, 1998.

MAGENES, G.; SIGNORINI, M. G.; ARDUINI, D. Classification of cardiotocographic records by neural networks. In: IEEE-INNS-ENNS INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN), 2000. *Proceedings...* Washington DC: IEEE Computer Society, 2000, v. 3, p. 637-641.

MARQUES, J. A. L.; BARRETO, G. A.; CORTEZ, P. C.; FEITOSA, F. E. L. Sistema de inferência fuzzy para interpretação da frequência cardíaca fetal em exames cardiotocográficos. CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA EM SAÚDE, 10, 2006. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Informática em Saúde, 2006, 14-18 out., v. 1, p. 1584-1589.

MARQUES, J. A. L. *SISCTG – Um sistema inteligente para classificação de sinais cardiotocográficos para auxílio ao diagnóstico médico*. Fortaleza, 2007. 113 p. Dissertação - (Mestrado), Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará.

MARQUES, J. A. L.; CORTEZ, P. C.; BARRETO, G. A.; FEITOSA, F. E. L. Monitoração fetal eletrônica por meio de cardiotocografias utilizando um sistema baseado em inteligência computacional. In: LATIN AMERICAN CONGRESS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, 4, 2007, Isla Margarita. *Proceedings...* Isla Marguerita: International Federation for Medical and Biological Engineering – IFMBR, 2007, 24-28 sep., p. 259-262.

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. In: PROCEEDINGS OF THE IEEE, v. 83, n. 3, p. 345-377, 1995.

NIHCD - National Institute of Child Health and Human Development. Disponível em: <www.nihcd.nih.gov>. Acesso em: 22 jul. 2008.

NOACK, K. *Development of a model for the approximation of decelerations in the fetal heart rate and derivation of a classification rule*. Munique, May 2007. 142 p. Dissertação - (Mestrado), Fakultät für Mathematik, Technische Universität München.

SALAMALEKIS, E.; SIRISTATIDIS, C.; VASIOS, G.; SALOUM, J.; GIANNARIS, D.; CHRELIAS, C.; PRENTZA, A.; KOUTSOURIS, D. Fetal pulse oximetry and wavelet analysis of the fetal heart rate in the evaluation of abnormal cardiotocography tracings. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, v. 32, n. 2, p. 135-139, 2006.

LI, X.; ZHENG, D.; ZHOU, S.; TANG, D.; WANG, C.; WU, G. Approximate entropy of fetal heart rate variability as a predictor of fetal distress in women at term pregnancy. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, v. 84, n. 9, p. 837-843, 2005.

ZADEH, L. A. Fuzzy Logic. *IEEE Computer*, v. 21, n. 4, p. 83-93, 1988.