UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

GIOVANI BULIAN SIMIONI

ESTIMAÇÃO DO RISCO DE MORTE DE RECÉM-NASCIDOS UTILIZANDO LÓGICA *FUZZY* TIPO-2 INTERVALAR

Guaratinguetá

2013

GIOVANI BULIAN SIMIONI

ESTIMAÇÃO DO RISCO DE MORTE DE RECÉM-NASCIDOS UTILIZANDO LÓGICA *FUZZY* TIPO-2 INTERVALAR

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Profa. Dra. Paloma Maria Silva Rocha Rizol

Guaratinguetá

2013

Simioni, Giovani Bulian
S589e Estimação do risco de morte de recém-nascidos utilizando logica *fuzzy* tipo-2 intervalar / Giovani Bulian Simioni. – Guaratinguetá : [s.n], 2013
69 f. : il.
Bibliografia : f. 61-69

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013
Orientadora: Profa. Dra. Paloma Maria Silva Rocha Rizol

1. Lógica *fuzzy* 2. Mortalidade neonatal I .Título.

CDU 510.6

unesp **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

GIOVANI BULIAN SIMIONI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO COMO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. Leonardo Mesquita
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL
Orientadora / DEE - UNESP-FEG

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
DEE – UNESP-FEG

Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
Departamento de Medicina - UNITAU

De modo especial, à minha mãe, sem o apoio da qual, nada disso seria possível.

SIMIONI, G. B. **Estimação do risco de morte de recém-nascidos utilizando lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar.** 2013. 69 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como principal objetivo desenvolver um modelo computacional *fuzzy* tipo-2 intervalar preditivo para avaliar o risco de óbito de um recém-nascido (RN) a fim de auxiliar na tomada de decisão em ambientes onde há precariedade ou não há profissionais prontamente disponíveis para tal ação. Posteriormente, o desempenho deste modelo será comparado com o desempenho de um modelo que utiliza sistema de inferência *fuzzy* tipo-1. As variáveis de entrada foram escolhidas devido à sua simplicidade, para obtê-los não há a necessidade de exames invasivos ou complexos. Os dados podem ser obtidos primeiros minutos de vida do RN: peso as nascer, idade gestacional, escore Apgar no quinto minuto de vida e histórico materno de natimortos. Para a validação do modelo, foi utilizada bases de dados do DATASUS. O estudo considerou 1351 casos registrados no município de São José dos Campos, uma cidade de porte médio no interior do estado de São Paulo, obtidos do banco de dados da Secretaria de Saúde. Por fim, a acurácia do modelo foi estimado por meio da curva ROC.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar. Mortalidade neonatal. Modelo preditivo *fuzzy*.

SIMIONI, G. B. **Estimating mortality risk for newborns using interval type-2 fuzzy logic.** 2013. 69 f. Degree Dissertation (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

The main objective of the presented study is the development of a predictive interval type-2 *fuzzy* inference system in order to estimate the mortality risk for a newborn, to be used as an auxiliary tool for decision making in medical centers where there is a lack of professionals for this purpose and, afterwards, to compare its performance to a type-1 *fuzzy* system. The input variables were chosen due to their acquisition 'simplicity, not involving any invasive tests, such as blood tests or other specific tests. The variables are easily obtained in the first few minutes of life: birth weight, gestational age at delivery, 5-minute Apgar score and previous report of stillbirth. Databases from the DATASUS were used to validate the model. 1351 records from the city of São José dos Campos, a mid-sized city in the São Paulo state's countryside, were considered in this study. Finally, an analysis using the ROC curve was performed to estimate the model's accuracy

KEYWORDS: Interval type-2 *fuzzy* logic. Neonatal mortality. *Fuzzy* predictive model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Taxa de mortalidade entre crianças até cinco anos de idade no Brasil e no mundo 13
Figura 2 - Distribuição global de mortes neonatais, por causa, no ano de 2012 14
Figura 3 - Desenvolvimento história da lógica *fuzzy* tipo-2 19
Figura 4 - Avanço do número de publicações relacionados à lógica *fuzzy* tipo-2 19
Figura 5 - (a) função de pertinência *fuzzy* tipo-1; (b) representação da FOU em volta da função de pertinência tipo-1 20
Figura 6 - Exemplos de função de pertinência tipo-2 21
Figura 7 - Pertinência secundária 22
Figura 8 - Representação da FOU e diversos conjuntos *fuzzy* tipo-1 intrínsecos 23
Figura 9 - Principais elementos de um conjunto *fuzzy* tipo-2 24
Figura 10 - Exemplo: conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares 25
Figura 11 - Operações: (a) união e (b) intersecção 25
Figura 12 - Sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 26
Figura 13 - Exemplo de um processo de inferência pelo operador *mínimo* 27
Figura 14 - Tela do editor de SIF 29
Figura 15 - Tela do editor de funções de pertinência 30
Figura 16 - Tela principal do programa TabWin 31
Figura 17 - Estrutura geral do sistema – Modelo 1 33
Figura 18 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável *BW* – Modelo 1 35
Figura 19 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Peso* – Modelo 1 35
Figura 20- Funções de pertinência tipo-1 para a variável *GA* – Modelo 1 36
Figura 21 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *IG* – Modelo 1 37
Figura 22- Funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *APG* – Modelo 1 38
Figura 23- Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 1 38
Figura 24- Funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *SB* – Modelo 1 39
Figura 25- Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Natimortos* – Modelo 1 40
Figura 26 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável de saída *Risco* - Modelo 1 40
Figura 27 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de saída *Risco* 41
Figura 28 - Estrutura geral do sistema de inferência – Modelo 2 44
Figura 29 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável *Peso* – Modelo 2 45
Figura 30 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada "Peso" – Modelo 2 45
Figura 31- Funções de pertinência tipo-1 para a variável *IG* – Modelo 2 46

Figura 32 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *IG* – Modelo 2 47
Figura 33- Funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 2 48
Figura 34 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 2 48
Figura 35 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável de saída *Risco* – Modelo 2 49
Figura 36 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de saída *Risco* – Modelo 2 49
Figura 37 - Quantificação dos casos de óbito e sobrevivência 53
Figura 38 - Superfície para *IG* e *Peso* - Modelo 1 55
Figura 39 - Superfície para *Apgar* e *Peso* - Modelo 1 55
Figura 40 - Superfície para *Natimortos* e *Peso* - Modelo 1 56
Figura 41 - Superfície para *IG* e *Peso* - Modelo 2 57
Figura 42 - Superfície para *Apgar* e *Peso* - Modelo 2 57
Figura 43 - Superfície para *Apgar* e *IG* - Modelo 2 57
Figura 44 - Curva ROC para os SIFs do modelo 1 58
Figura 45 - Curva ROC para os SIFs do modelo 2 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Método de pontuação do Apgar 16
Tabela 2 - Classificação da variável de entrada *Peso* 34
Tabela 3 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Peso* – Modelo 1 35
Tabela 4 Classificação do tempo de gestação segundo a Secretaria de Vigilância em Saúde / MS 36
Tabela 5 - Classificação da variável de entrada *idade gestacional* (*IG*) 36
Tabela 6 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *IG* – Modelo 1 . 37
Tabela 7 - Classificação da variável de entrada *Apgar* – Modelo 1 37
Tabela 8 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 1 38
Tabela 9 - Classificação da variável de entrada *Natimortos* – Modelo 1 39
Tabela 10 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Natimortos* – Modelo 1 39
Tabela 11 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de saída *Risco* – Modelo 1 41
Tabela 12 - Base de regras do sistema de inferência – Modelo 1 42
Tabela 13 - Classificação da variável de entrada *Peso* – Modelo 2 45
Tabela 14 - Parâmetros para a variável de entrada *Peso* – Modelo 2 46
Tabela 15 - Classificação da variável de entrada *idade gestacional* (*IG*) 46
Tabela 16 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *IG* – Modelo 2 47
Tabela 17 - Classificação da variável de entrada "Apgar" – Modelo 2 47
Tabela 18 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 2 48
Tabela 19 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de saída *Risco* – Modelo 2 50
Tabela 20 - Base de regras do sistema de inferência 50
Tabela 21 - Média e desvio padrão das entradas para cada caso 53
Tabela 22 - Resultados obtidos da curva ROC 59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais definições para um conjunto *fuzzy* tipo-2 intervalar..... 23
Quadro 2 - Operações básicas entre conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares..... 24

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

CRIB – *Clinical Risk Index for Babies*

CSV – *Comma-separated values*

DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

FOU – *Footprint of Uncertainty*

IG – Idade gestacional

IT2FLS – *Interval Type-2 Fuzzy Logic System Toolbox*

LMF – *Lower Membership Function*

NTISS – *Neonatal Therapeutic Intervention Scoring System*

ODM – Objetivo de Desenvolvimento do Milênio

ONU – Organização das Nações Unidas

PRISM – *Pediatric Risk of Mortality*

RN – Recém-nascido

ROC – *Receiver Operator Characteristic*

SIF – Sistema de inferência *fuzzy*

SIF1 – Sistema de inferência *fuzzy* tipo-1

SIF2 – Sistema de inferência *fuzzy* tipo-2

SIM – Sistema de Informação sobre Mortalidade

SINASC – Sistema de Informação sobre Nascidos Vivos

SNAP – *Score for Neonatal Acute Physiology*

SNAPPE – *Score for Neonatal Acute Physiology – Perinatal Extension*

TabWin – TAB para Windows

UMF – *Upper Membership Function*

UTIN – Unidade de Terapia Intensiva Neonatal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 13
1.2 OBJETIVO 16
1.3 PLANO DE TRABALHO 16
2 LÓGICA *FUZZY* TIPO-2 18
2.1 INTRODUÇÃO 18
2.2 LÓGICA *FUZZY* TIPO-2 INTERVALAR 20
2.2.1 Conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalar 20
2.2.2 Sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 com entrada *singleton* 25
2.2.3 Lógica *fuzzy* tipo-2 aplicado à medicina 27
3 METODOLOGIA 29
3.1 *INTERVAL TYPE-2 FUZZY LOGIC SYSTEM TOOLBOX* (IT2FLS) 29
3.2 BASE DE DADOS DO DATASUS 30
3.2.1 Datasus e TabWin 30
3.2.2 SINASC E SIM 31
3.2.3 Critérios para seleção dos dados 32
3.3 ROTINA PARA INFERÊNCIA NO BANCO DADOS 32
3.4 MODELO 1 33
3.4.1 Estrutura geral 33
3.4.2 Fuzificação das variáveis 34
3.4.3 Peso ao nascer – Modelo 1 34
3.4.4 Idade Gestacional – Modelo 1 35
3.4.5 Escore Apgar no 5º minuto – Modelo 1 37
3.4.6 Histórico materno de natimortos – Modelo 1 39
3.4.7 Risco de óbito – Modelo 1 40
3.4.8 Base de regras – Modelo 1 41
3.4.9 Exemplo no *Rule Viewer* – Modelo 1 42
3.5 MODELO 2 44
3.5.1 Estrutura geral 44
3.5.2 Peso ao nascer – Modelo 2 44
3.5.3 Idade Gestacional – Modelo 2 46
3.5.4 Escore Apgar no 5º minuto – Modelo 2 47

3.5.5 Variável de saída *Risco* – Modelo 2 49
3.5.6 Base de regras – Modelo 2 50
3.5.7 Exemplo no *Rule Viewer* – Modelo 2 51
4 ÁNALISE DE RESULTADOS 53
4.1 INFORMAÇÕES SOBRE A BASE DE DADOS 53
4.2 *FUZZY* TIPO-2 INTERVALAR X *FUZZY* TIPO-1 54
4.2.1 Modelo 1 - Superfícies 54
4.2.2 Modelo 2 – Superfícies 56
4.2.3 Análise pela curva ROC 58
5 CONCLUSÃO 60

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

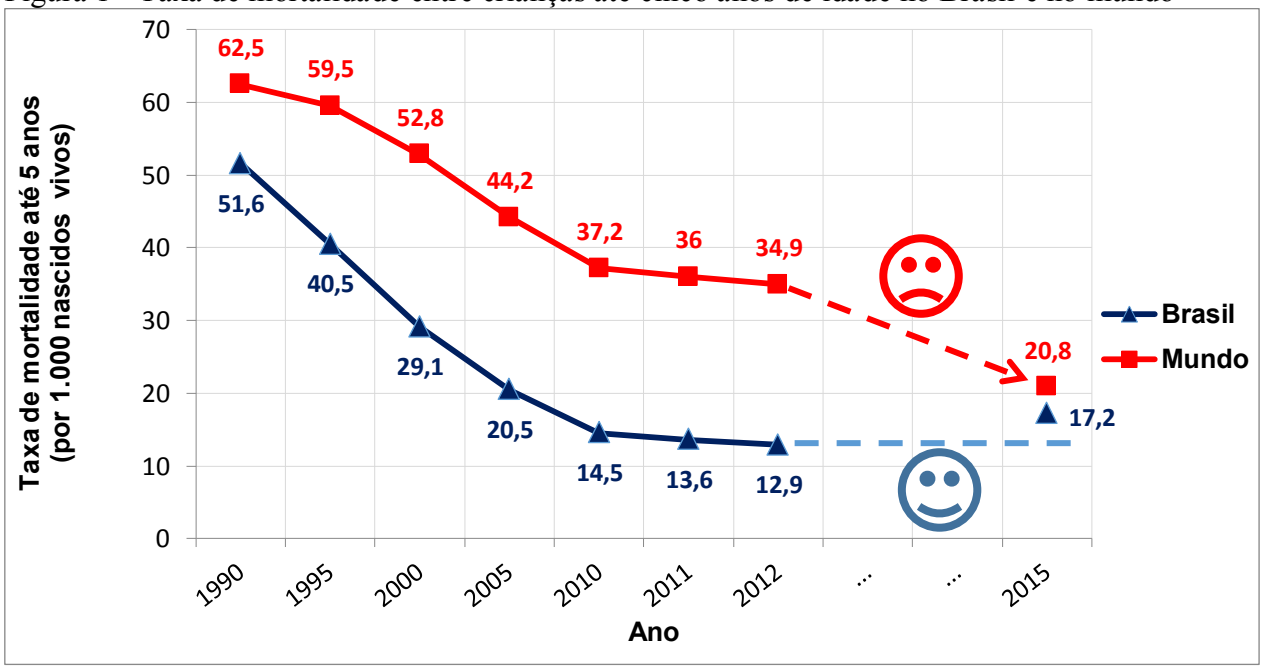
O quarto Objetivo de Desenvolvimento do Milênio (ODM), um entre os oito objetivos estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2000 para combater a pobreza no mundo, implica uma redução da taxa de mortalidade de crianças abaixo dos cinco anos de idade em 2/3 para o ano de 2015, tomando como base o ano de 1990 (PNUD, 2012).

Segundo dados obtido no (THE WORLD BANK GROUP, 2013), no ano de 2012 em todo o mundo, o número de mortes neonatais, morte do recém-nascido (RN) nas primeiras quatro semanas de vida, contribuiu com aproximadamente 44% da mortalidade de crianças até os cinco anos de idade. No Brasil, essa relação sobe para aproximadamente 64%.

Apesar da taxa de mortalidade de crianças abaixo dos cinco anos de idade ter caído 47% desde 1990 no mundo, cerca de 6,6 milhões de crianças morreram no ano de 2012. (UN DEPARTMENT OF PUBLIC INFORMATION, 2013). Desse total, a maioria é de causas evitáveis como diarreia, pneumonia ou malária.

A Figura 1 mostra a queda da taxa de mortalidade entre crianças até os 5 anos de idade entre os anos de 1990 e 2012 para o Brasil e para o mundo (THE WORLD BANK GROUP, 2013).

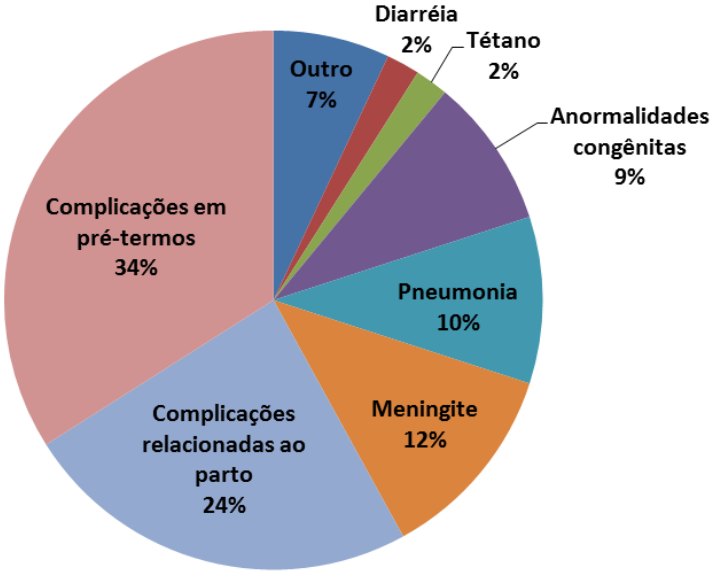
Figura 1 - Taxa de mortalidade entre crianças até cinco anos de idade no Brasil e no mundo



Fonte: Próprio autor

A Figura 2 mostra as principais causas de morte entre crianças abaixo dos 28 primeiros dias de vida, o período neonatal, um período de alta vulnerabilidade para crianças. Os números mostram que a maior parte das causas de morte são evitáveis: doenças infecciosas, desnutrição e complicações neonatais (UNICEF et al., 2013).

Figura 2 - Distribuição global de mortes neonatais, por causa, no ano de 2012



Fonte: (UNICEF et al., 2013)

Em 2004, estimativas mundiais apontaram que aproximadamente 18 milhões de bebês nasceram com baixo peso. E embora esse valor contribua apenas com 14% do número total de natalidade, este representa de 60% a 80% das mortes neonatais (LAWN; COUSENS; ZUPAN, 2005).

Desde a década de 1930, o baixo peso do recém-nascido foi apontado como principal indicador de mortalidade e morbidez neonatais (ABDOLLAHIAN, 2013; ROOTH, 1980) e é alvo de estudo de diversos especialistas da área da saúde (ABDOLLAHIAN, 2013; BACAK et al., 2005; DRAPER et al., 1999; ERHARDT et al., 1964; FANAROFF et al., 2007; DE JESUS et al., 2012; LUBCHENCO; SEARLS; BRAZIE,1972; RICHARDSON et al., 1993).

Entretanto, peso no nascimento sozinho não é capaz de explicar as grandes variações em mortalidade neonatal (RICHARDSON et al., 1993). Para tanto, diversos índices de avaliação neonatal foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas para auxiliar na avaliação da saúde do recém-nascido e na predição do risco de mortalidade para recém-nascidos.

Há mais de duas décadas, alguns sistemas de pontuação foram desenvolvidos para avaliar o estado de um recém-nascido e são de suma importância para avaliar o risco de mortalidade neonatal (BASKARAN et al., 2011).

Entre eles, podem ser citados o *Clinical Risk Index for Babies* (CRIB) (COCKBURN. et al, 1993), CRIB-II (PARRY; TUCKER; TARNOW-MORDI, 2003), *Score for Neonatal Acute Physiology* (SNAP) (RICHARDSON; TARNOW-MORDI; ESCOBAR, 1998, *Score for Neonatal Acute Physiology – Perinatal Extension* (SNAP-PE), *Neonatal Therapeutic Intervention Scoring System* (NTISS) (GRAY et al.,1992) e o *Pediatric Risk of Mortality* (PRISM) (POLLACK; RUTTIMANN; GETSON, 1988).

Diversos artigos realizam um estudo comparativo sobre a eficácia desses métodos (BARD, 1993; PROCIANOY. et al., 2001; RAUTONEN et al, 1994; RICHARDSON; TARNOW-MORDI; ESCOBAR, 1998; BASTOS et al., 1997; GAGLIARDI et al., 2004; FORTES FILHO et al., 2009; DORLING; FIELD; MANKTELOW, 2005).

Esses sistemas de pontuação servem, também, para avaliar o desempenho de uma Unidade de Terapia Intensiva Neonatal (UTIN) ou para comparar os diferentes serviços oferecidos no cuidado neonatal (KAARESEN et al. 1998; SCOTTISH, 1995).

Nos anos 50, especialistas da saúde sentiram a necessidade de avaliar a saúde de um recém-nascido de forma rápida e precisa a fim de predizer a chance de sobrevivência do mesmo. Foi então que, em 1952, Virginia Apgar propôs um sistema de score com fatores que poderiam ser verificados sem a necessidade de equipamentos especiais e poderiam ser ensinados facilmente: o escore Apgar (APGAR, 1953; APGAR et al., 1959).

Para gerar o escore Apgar, cinco características (frequência cardíaca, respiração, tônus muscular, irritabilidade reflexa e cor da pele) são analisadas e, a cada uma delas, é atribuído um valor de 0 a 2 segundo a Tabela 1. O escore é, então, obtido pela soma total das cinco características.

A análise é feita exatamente ao primeiro e quinto minutos de vida do recém-nascido, tendo o último uma correlação maior com a mortalidade neonatal que o primeiro (APGAR, 1966).

Apesar de o sistema de pontuação Apgar ter sido introduzido no meio médico há mais de 60 anos, o estudo de (CASEY; MCINTIRE; LEVENO, 2001) conclui que, ainda hoje, o Apgar escore continua sendo um meio relevante de predizer a chance de sobrevivência de recém-nascidos.

Tabela 1 Método de pontuação do Apgar

Pontos	0	1	2
Freqüência cardíaca	Ausente	<100/minuto	>100/minuto
Respiração	Ausente	Fraca, irregular/ choro fraco	Boa/Choro forte
Tônus muscular	Flácido	Flexão de pernas e braços	Movimento ativo/Boa flexão
Cor	Cianótico/Pálido	Cianose de extremidades	Rosado
Irritabilidade Reflexa	Ausente	Algum movimento	Espirros/Choro

1.2 OBJETIVO

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho de graduação é desenvolver um modelo computacional *fuzzy* tipo-2 intervalar preditivo para avaliar o risco de óbito de um recém-nascido (RN) e auxiliar na tomada de decisão em ambientes onde há precariedade ou não há profissionais prontamente disponíveis para tal ação. Para tanto, o trabalho de (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009) será tomado como base a fim de realizar-se uma comparação entre o desempenho de um Sistema de Inferência *Fuzzy* tipo-1 (SIF1) e um Sistema de Inferência *Fuzzy* tipo-2 (SIF2) intervalar.

1.3 PLANO DE TRABALHO

Nesta seção, será apresentado sucintamente o conteúdo dos próximos capítulos deste trabalho.

No capítulo 2 deste trabalho, a lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar será apresentada. Primeiramente, uma breve introdução à história da lógica *fuzzy* tipo-2 será apresentada. Posteriormente, serão apresentadas a definição de conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalar e a descrição dos seus principais elementos. Em seguida, uma visão de geral da função de cada bloco que compõe um SIF2 com entrada *singleton* será apresentada. Finalmente, serão apresentados exemplos de aplicação da lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar na área médica.

No capítulo 3, os meios para a realização do trabalho serão apresentados. Primeiramente, apresenta-se uma visão geral sobre a ferramenta computacional utilizada para a elaboração do modelo, o *Interval Type-2 Fuzzy Logic System Toolbox* (IT2FLS).

Posteriormente, as fontes dos dados para a validação do modelo serão apresentadas: o Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (SINASC) e o Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM), ambos provenientes do banco de dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS).

O próximo passo é a apresentação dos dois modelos propostos neste trabalho. Para cada um, há o modelo utilizando a lógica *fuzzy* tipo-1 e a lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar, obtendo-se no total quatro Sistemas de Inferência Fuzzy (SIF). O SIF1 do primeiro modelo é de autoria de (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009). O SIF2 do primeiro modelo foi baseado inteiramente no SIF1 citado acima para fins de comparação de desempenho entre os sistemas de inferência usados. Ademais, será apresentado um novo modelo proposto pelo autor deste trabalho. Para ambos os modelos, a estrutura geral do SIF1 e SIF2 desenvolvidos é ilustrada e, em seguida, a fuzificação das variáveis de entrada e de saída é apresentada. Por último, a base de regras para inferência para cada modelo é resumida em uma tabela e um exemplo tomado da base de dados é apresentado.

No capítulo 4, apresenta-se os principais resultados obtidos ao fim deste trabalho. Primeiramente, informações gerais sobre os dados obtidos para validação dos modelos serão resumidas em tabelas a fim de facilitar a visualização das suas principais características.

Em seguida, uma representação gráfica em forma de superfície será apresentada para ilustrar a relação que existe entre a saída dos sistemas propostos e as variáveis de entrada destes.

Finalmente, a fim de comparar o desempenho dos modelos apresentados neste trabalho, uma análise realizada pela curva *Receiver Operator Characteristic* (ROC) será apresentada, a qual indicará a acurácia de cada um.

Por fim, no capítulo 5, apresenta-se a conclusão deste trabalho.

2 LÓGICA *FUZZY* TIPO-2

2.1 INTRODUÇÃO

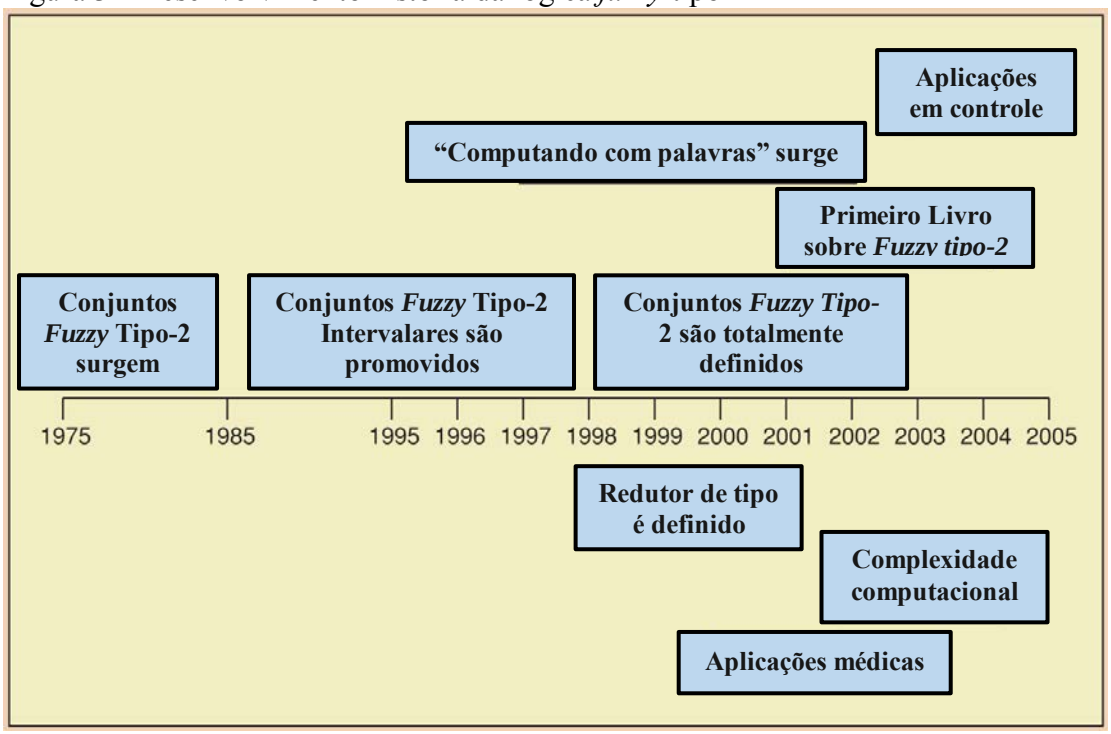
A Lógica *Fuzzy* (tipo-1) teve sua origem em 1965, quando Lotfi Zadeh publicou seu primeiro artigo sobre conjuntos *fuzzy* (ZADEH, 1965). "Fuzzy" - do inglês: difuso, nebuloso – foi a palavra escolhida por Zadeh para denominar os conjuntos que não têm suas fronteiras muito bem definidas, diferente dos conjuntos convencionais (*crisp*). A partir daí, então, cada elemento possui um grau de pertinência a um dado conjunto, denotado por um valor no intervalo [0 1] (CASTILLO; MELIN, 2008).

Os conjuntos *fuzzy* tipo-1 são capazes de lidar com a incerteza por trás das palavras. Porém, uma vez que as funções de pertinências são definidas, essa incerteza desaparece. Assim, conjuntos *fuzzy* tipo-1 não são capazes de lidar diretamente com incertezas por serem totalmente precisos (LIANG; MENDEL, 2000). Os conjuntos *fuzzy* tipo-2, por outro lado, também denominados de conjuntos "*fuzzy fuzzy*" (MENDEL, 2003), são capazes de lidar com essas incertezas já que sua função de pertinência é, por si só, *fuzzy* (MENDEL; JOHN, 2002).

Os conjuntos *fuzzy* tipo-2 foram introduzidos por Zadeh em 1975 (ZADEH, 1975), mas não se tornaram muito populares no início. As pessoas focaram suas energias, primeiramente, no aprendizado e aplicação da lógica *fuzzy* tipo-1. Depois de conhecer o universo de aplicação da lógica *fuzzy* tipo-1, as pessoas partiram, naturalmente, para maneiras mais desafiadoras de se resolver os problemas: a lógica *fuzzy* tipo-2 (JOHN; COUPLAND, 2007).

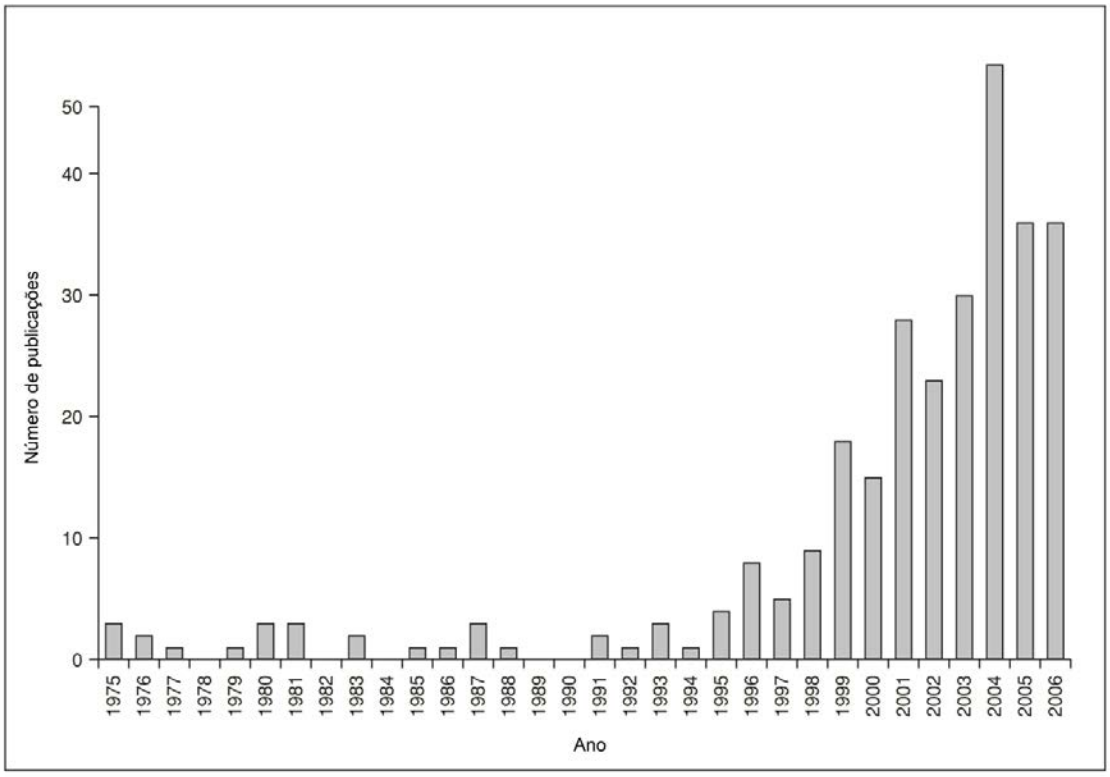
A Figura 3 mostra o desenvolvimento histórico da lógica *fuzzy* tipo-2 ao longo do tempo, destacando os principais métodos e áreas de aplicação. Na Figura 4, o avanço da lógica *fuzzy* tipo-2, mensurado em número de publicações relacionadas a este assunto, é retratado ao longo dos anos.

Figura 3 - Desenvolvimento história da lógica *fuzzy* tipo-2



Fonte: Adaptado de (JOHN; COUPLAND, 2007)

Figura 4 - Avanço do número de publicações relacionados à lógica *fuzzy* tipo-2



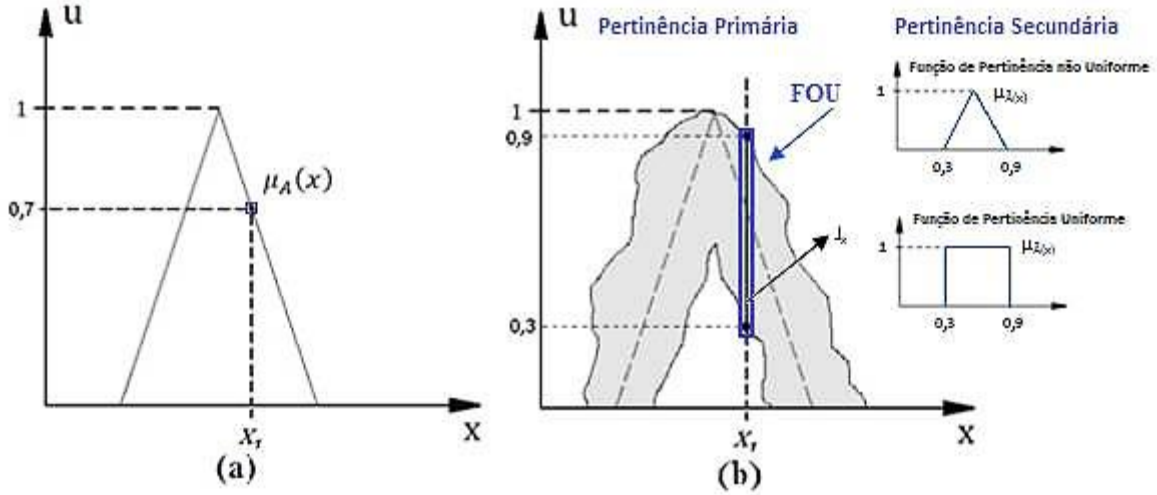
Fonte: Adaptado de (JOHN; COUPLAND, 2007)

2.2 LÓGICA *FUZZY* TIPO-2 INTERVALAR

2.2.1 Conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalar

Tomando-se uma função pertinência *fuzzy* tipo-1, como a função pertinência triangular na Figura 5(a), e movendo-se todos os seus pontos, aleatoriamente, tanto para a esquerda quanto para a direita, obtém-se um borrão em volta da função de pertinência original (MENDEL; JOHN, 2002), como pode ser observado na Figura 5(b). Esse borrão é comumente referido como "mancha de incerteza" (FOU – *footprint of uncertainty*).

Figura 5 - (a) função de pertinência *fuzzy* tipo-1; (b) representação da FOU em volta da função de pertinência tipo-1

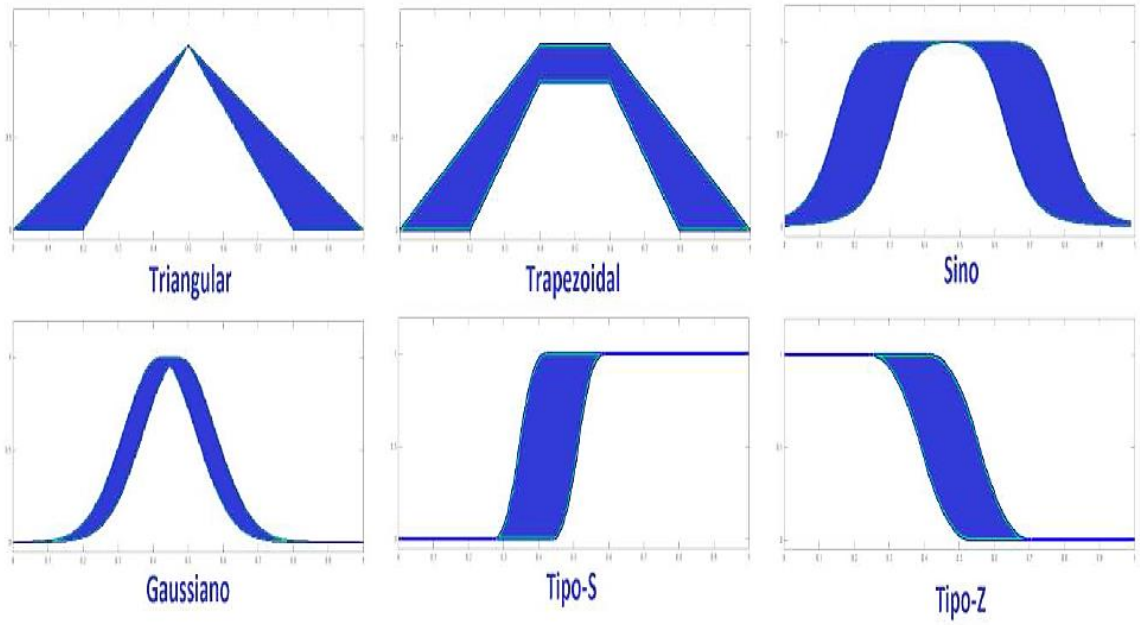


Fonte: (RIZOL, 2011)

Alguns exemplos de função pertinência tipo-2 podem ser vistas na Figura 6. A área azul representa a FOU para cada função.

Ao traçar-se uma linha vertical a partir de um determinado valor de x, neste caso x_1, a *variável primária*, ter-se-á vários pontos da FOU interceptados. Ao conjunto desses pontos, dá-se o nome função de pertinência primária da FOU para o valor x_1, representado por J_{x1}. Pode-se dizer, portanto, que a FOU é a união de todas as pertinências primárias obtidas para o domínio de x (RIZOL, 2011).

Figura 6 - Exemplos de função de pertinência tipo-2



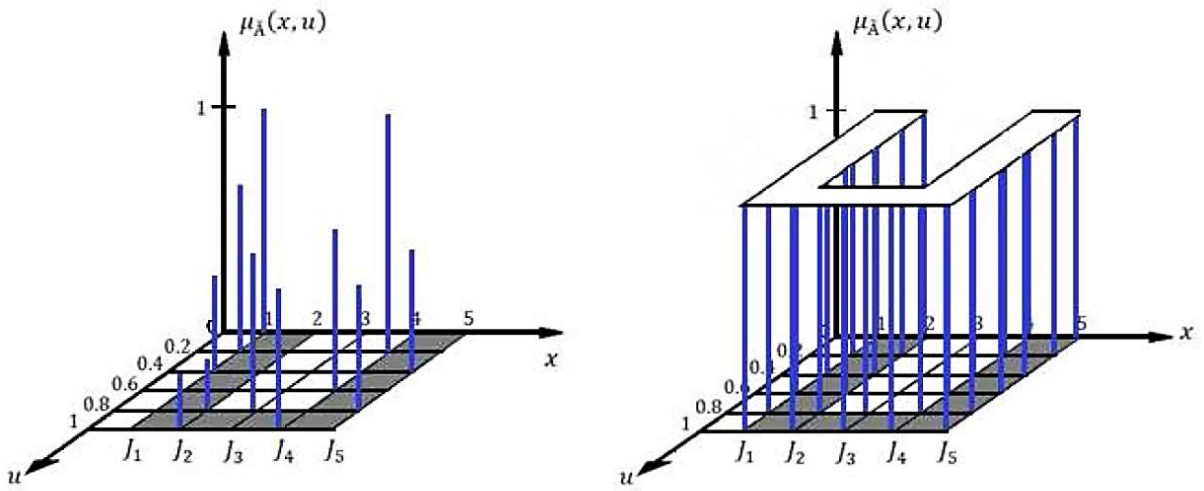
Fonte: (RIZOL, 2011)

Para cada um dos pontos da pertinência primária, pode-se atribuir um peso no intervalo [0 a 1] e, assim, obtém-se a função pertinência secundária ($\mu_{\tilde{A}}(x)$), também chamada de corte vertical, a qual pode ser representada na 3ª dimensão (Figura 7 (a) e (b)). À amplitude da função pertinência secundária dá-se o nome de *grau secundário*. Caso a função de pertinência secundária seja não uniforme (Figura 7(a)), obtém-se um conjunto *fuzzy* tipo-2 geral (MENDEL; JOHN; LIU, 2006).

Mas, neste trabalho, utiliza-se funções de pertinência *fuzzy* tipo-2 intervalares, cuja pertinência secundária é uniforme, ou seja, todos os pontos da mancha de incerteza possuem um peso de magnitude 1 (Figura 7(b)). Em outras palavras, pode-se dizer que o grau secundário de uma função de pertinência tipo-2 intervalar é unitário (RIZOL, 2011).

Devido à complexidade computacional dos conjuntos *fuzzy* tipo-2 com função pertinência secundária não uniforme, os conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares são adotados na maioria das aplicações. Sua aplicação é mais prática devido à facilidade de se lidar computacionalmente com esse tipo de conjunto em relação a um conjunto *fuzzy* tipo-2 geral (MENDEL; JOHN; LIU, 2006).

Figura 7 - Pertinência secundária



(a) (b)

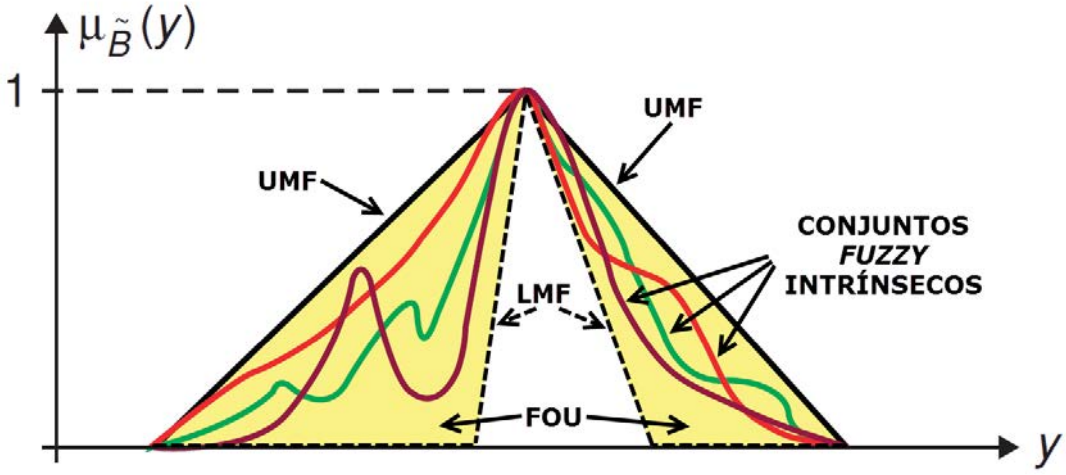
Fonte: (RIZOL, 2011)

A FOU ilustra a incerteza associada à pertinência primária de um conjunto *fuzzy* tipo-2 (KARNIK; MENDEL; LIANG, 1999). Para um conjunto *fuzzy* tipo-2 intervalar, o sombreamento da FOU é uniforme, demonstrando que a pertinência secundária é uniforme (MENDEL; JOHN; LIU, 2006).

Na Figura 8, pode-se identificar uma função de pertinência inferior (LMF – *lower membership function*) e uma função de pertinência superior (UMF – *upper membership function*), que podem ser definidas como funções de pertinência do tipo-1 que definem, respectivamente, os limites superior e inferior da FOU de um conjunto *fuzzy* tipo-2 (CASTILLO; MELIN, 2008).

Além da forma de representação da FOU por pertinências primárias, que é muito útil para computações, pode-se também representá-la como um conjunto de cortes curvilíneos (Figura 8) que são, na verdade, conjuntos *fuzzy* tipo-1 intrínsecos. Na Figura 8, pode-se ver um conjunto *fuzzy* tipo-1 intrínseco. Caso seja atribuído um grau secundário aos elementos de um conjunto *fuzzy* tipo-1 intrínseco, obtém-se um conjunto *fuzzy* tipo-2 intrínseco. Essa representação, também conhecida como o Teorema da Representação Mendel-John, é muito útil na realização de derivações teóricas (MENDEL, 2007).

Figura 8 - Representação da FOU e diversos conjuntos *fuzzy* tipo-1 intrínsecos



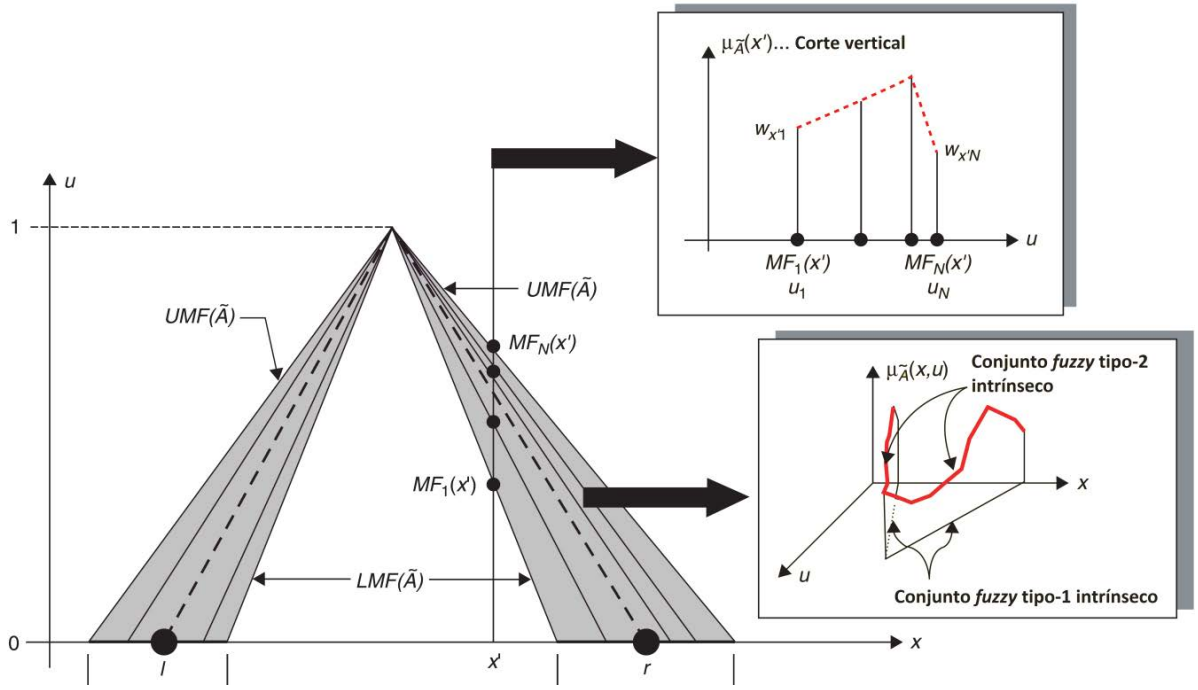
Fonte: Adaptado de (MENDEL, 2007)

No Quadro 1, encontra-se a definição básica dos principais termos apresentados até agora (MENDEL, 2007; RIZOL, 2011), os quais podem ser identificados na Figura 9.

Quadro 1 - Principais definições para um conjunto *fuzzy* tipo-2 intervalar

Termo	Representação	Definição
Variável primária	$x \in X$	A variável principal de interesse.
Pertinência primária	J_x	Para cada valor de x, há uma banda de pertinências primárias. Por exemplo: J_x= [MF_1(x'), MF_N(x')]
Função pertinência secundária/corte vertical	$\mu_{\tilde{A}}(x)$	Um conjunto *fuzzy* tipo-1 em x
Variável secundária	$u \in J_x$	Um elemento da pertinência primária J_x.
Grau secundário	$f_x(u)$	Peso associado a cada elemento da pertinência primária. A Figura 9 ilustra graus secundários diferentes para cada ponto ($W_{x'1}$...$W_{x'N}$). Porém, para um conjunto *fuzzy* tipo-2 intervalar, o grau secundário é unitário para todos os elementos da pertinência primária.
Mancha de incerteza (FOU)	$\tilde{A}$	A união de todas as pertinências primárias, representada pela área sombreada das Figura 8 e Figura 9.
Função de pertinência superior - UMF($\tilde{A}$)	$\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$	Limite superior da FOU.
Função de pertinência inferior - LMF($\tilde{A}$)	$\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$	Limite inferior da FOU.
Conjunto *fuzzy* tipo-1 intrínseco	-	Conjunto *fuzzy* tipo-1 contido na FOU e domínio de um conjunto *fuzzy* tipo-2 intrínseco. A UMF e LMF são exemplos de um conjunto *fuzzy* tipo-1 intrínseco.
Conjunto *fuzzy* tipo-2 intrínseco	-	Obtido ao atribuir-se um grau secundário aos elementos de um conjunto *fuzzy* tipo-1 intrínseco.

Figura 9 - Principais elementos de um conjunto *fuzzy* tipo-2



Fonte: (MENDEL, 2007)

Assim como para os conjuntos *fuzzy* tipo-1, pode-se aplicar operadores aos conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares ou realizar algumas operações entre os conjuntos. De um jeito ou do outro, obter-se-á sempre um novo conjunto *fuzzy*. Há três operações básicas: complemento, união e intersecção (CASTRO; CASTILLO; MARTÍNEZ, 2007).

O Quadro 2 apresenta as equações das funções básicas para conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares.

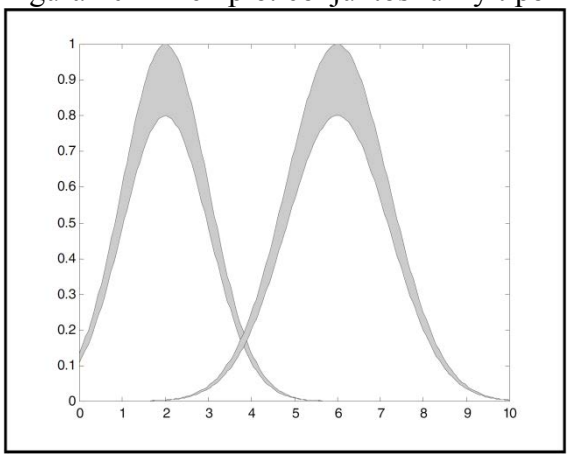
Quadro 2 - Operações básicas entre conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares

Operação	Equação
União	$\tilde{A} \cup \tilde{B} = 1/[(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) \vee \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x)), \quad (\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x) \vee \overline{\mu}_{\tilde{B}}(x))]$
Intersecção	$\tilde{A} \cap \tilde{B} = 1/[(\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) \wedge \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x)), \quad (\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x) \wedge \overline{\mu}_{\tilde{B}}(x))]$
Complemento	$\overline{\tilde{A}} = 1/[1 - \overline{\mu}_{\tilde{A}}(x), 1 - \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)]$

Obs.: $\vee$ é o operador t-conorma (máximo); $\vee$ é o operador t-norma (mínimo ou produto).

Para ilustrar as operações básicas de união e intersecção, parte-se dos dois conjuntos *fuzzy* tipo-2 da Figura 10:

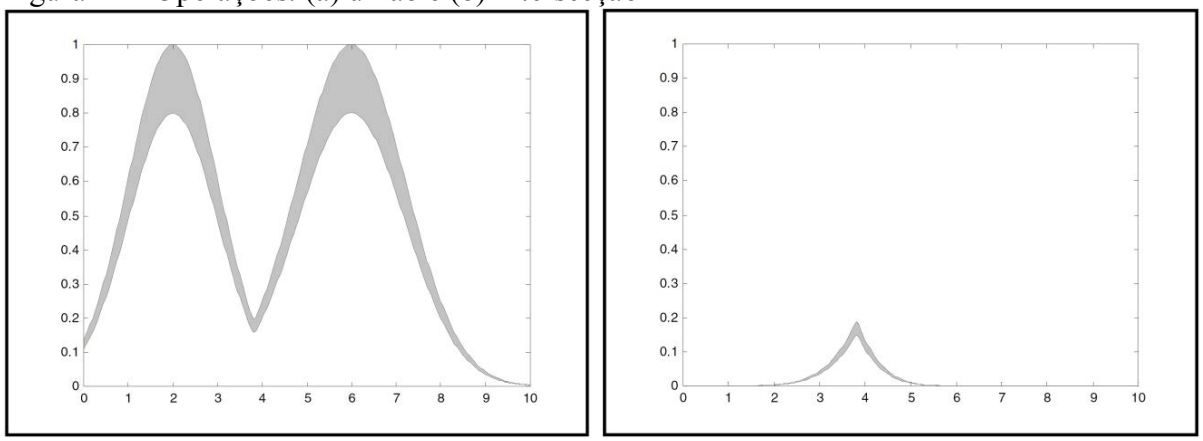
Figura 10 - Exemplo: conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares



Fonte: (CASTILLO; MELIN, 2008)

A Figura 11 ilustra o resultado das operações de união e intersecção para os conjuntos da Figura 11.

Figura 11 - Operações: (a) união e (b) intersecção



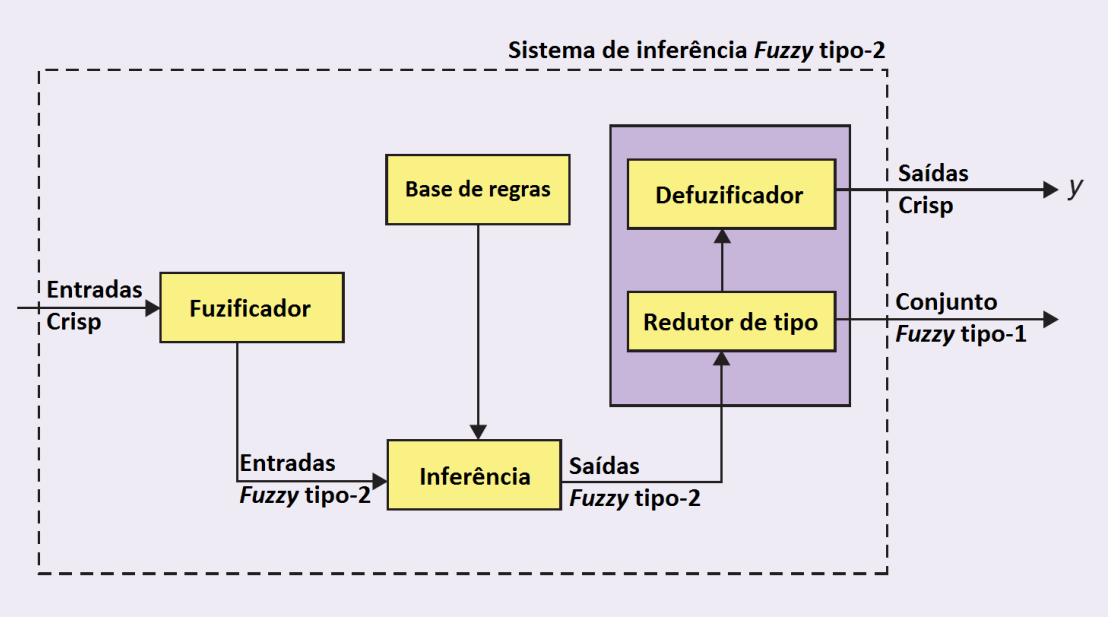
(a) (b)

Fonte: (CASTILLO; MELIN, 2008)

2.2.2 Sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 com entrada *singleton*

O Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF) tipo-2 para entrada *singleton*, representado pelo diagrama de blocos da Figura 12, possui cinco blocos: fuzificador, inferência, base de regras, redutor de tipo e defuzificador (RIZOL, 2011). O seu funcionamento básico não muda em relação a um SIF tipo-1. A única diferença é a operação de redução de tipo realizada antes do bloco defuzificador (CASTILLO; MELIN, 2008).

Figura 12 - Sistema de inferência *fuzzy* tipo-2



Fonte: (MENDEL, 2007)

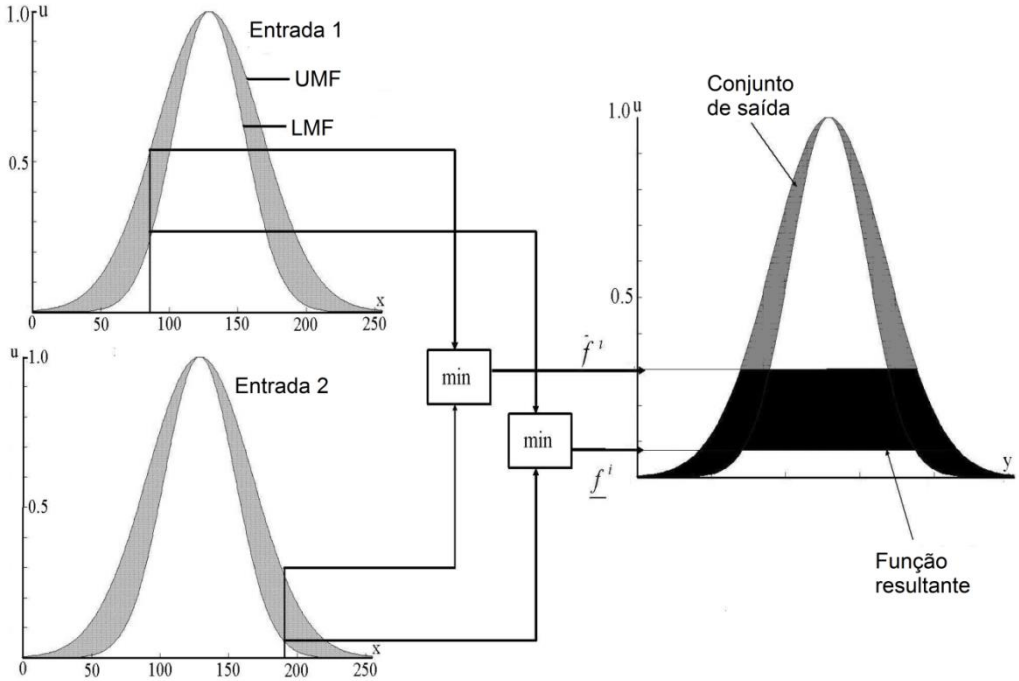
O bloco fuzificador transforma as entradas *crisp* em conjuntos *fuzzy* tipo-2. Esse procedimento é necessário para que as regras sejam ativadas em termos de variáveis linguísticas (MENDEL, 2007).

A base de regras de um SIF tipo-2 intervalar é o mesmo para um SIF tipo-1, pois a diferença essencial entre esses tipos de sistemas está associada à natureza das suas funções pertinência (CASTILLO; MELIN, 2008).

Na máquina de inferência, cálculos computacionais envolvendo relações entre os conjuntos *fuzzy* tipo-2, como união e intersecção, são realizados a fim de se obter saídas *fuzzy* tipo-2. (CASTILLO; MELIN, 2008). Os procedimentos de inferência mais usados são os operadores *mínimo* e *produto*, que dão origem aos sistemas *fuzzy* tipo-2 *Mamdani* (MENDEL, 2007).

O próximo passo do sistema é realizado pelo redutor de tipo. Nesta etapa, o conjunto *fuzzy* tipo-2 é mapeado em um conjunto *fuzzy* tipo-1, e isso pode ser feito através de diversos métodos como, por exemplo, cálculo do centroide, centro dos conjuntos, centro das somas, alturas (WU; MENDEL, 2001; HAGRAS, 2007).

Figura 13 - Exemplo de um processo de inferência pelo operador *mínimo*



Fonte: Adaptado de (MELGAREJO; GARCÍA; PEÑA-REYES, 2004)

Finalmente, o bloco defuzificador transforma o conjunto *fuzzy* tipo-1 em uma saída *crisp* por meio do cálculo do seu centroide, que é equivalente a achar a média ponderada das saídas de todos os conjuntos *fuzzy* tipo-1 que compõem o conjunto *fuzzy* tipo-2 (CASTILLO; MELIN, 2008).

2.2.3 Lógica *fuzzy* tipo-2 aplicado à medicina

Na medicina, a lógica *fuzzy* tipo-2 geral é aplicada com preferência em relação à lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar. Isso ocorre, principalmente, porque as aplicações não requerem execuções rápidas e dinâmicas e, também, pois é uma área extremamente marcada pela incerteza (JOHN; COUPLAND, 2007), a qual é mais bem trabalhada quando a função de pertinência do conjunto *fuzzy* é também um conjunto *fuzzy*.

Abaixo, encontram-se exemplos de aplicação de lógica *fuzzy* tipo-2 geral e intervalar na medicina:

- Pré-processamento de dados de radiografias da tíbia em lesões esportivas (JOHN; INNOCENT; BARNES, 2000);
- Desenvolvimento de um sistema de cuidado pré-natal usando fonocardiografia (CHOURASIA; TIWARI; GANGOPADHYAY, 2013);

- Sistemas de diagnóstico para classificação de arritmias em um eletrocardiograma (CEYLAN; ÖZBAY; KARLIK, 2009; TAN; FOO; CHUA, 2007);
- Detecção de microcalcificação em mamografias (THOVUTIKUL; AUEPHANWIRIYAKUL; THEERA-UMPON, 2007; CHUMKLIN; AUEPHANWIRIYAKU; THEERA-UMPON, 2010);
- Avaliação da saúde de um RN pela análise da acidez no cordão umbilical (OZEN; GARIBALDI, 2003);
- Diagnóstico diferencial de doenças confundíveis (DI LASCIO; GISOLFI; NAPPI, 2005; INNOCENT; JOHN, 2002).

3 METODOLOGIA

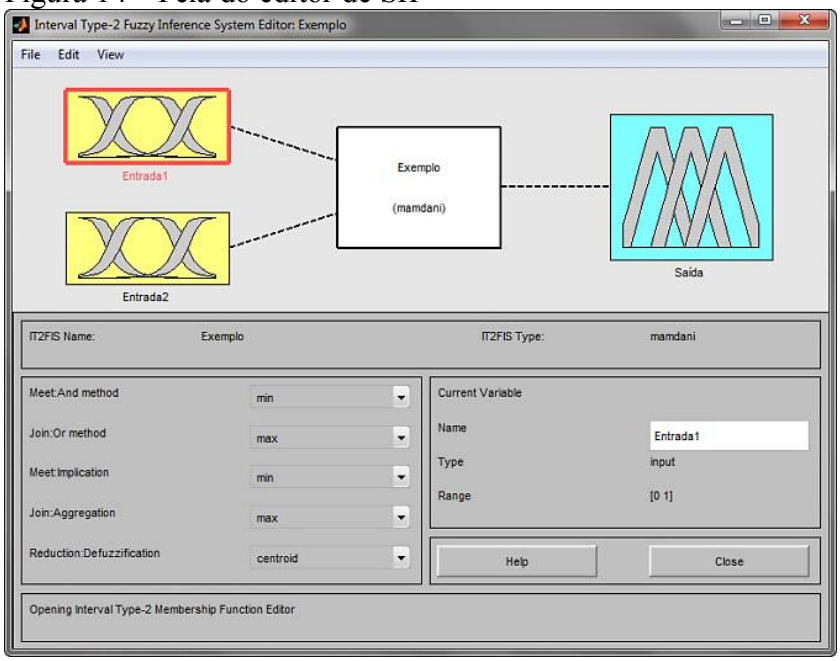
3.1 *INTERVAL TYPE-2 FUZZY LOGIC SYSTEM TOOLBOX* (IT2FLS)

O *Interval Type-2 Fuzzy Logic System Toolbox* (IT2FLS) é um ambiente criado no MATLAB® que permite o desenvolvimento de um SIF2 intervalar. (CASTRO; CASTILLO; MARTÍNEZ, 2007). A interface de usuário do IT2FLS é análogo ao do Toolbox *Fuzzy* do próprio MATLAB®, o que permite que usuários experientes com o segundo possa se adaptar facilmente ao primeiro (CASTILLO, 2010). Apesar de ter sido desenvolvido com uma interface gráfica para a criação e edição de um SIF2 intervalar, o usuário pode trabalhar diretamente da linha de comando do MATLAB.

No IT2FLS, o usuário dispõe de até 22 tipos de função de pertinência tipo-2 intervalar, derivadas de funções básicas como, por exemplo, a triangular, a trapezoidal e a distribuição Gaussiana. O *toolbox* permite, também, que o usuário crie suas próprias funções de pertinência tipo-2 intervalares.

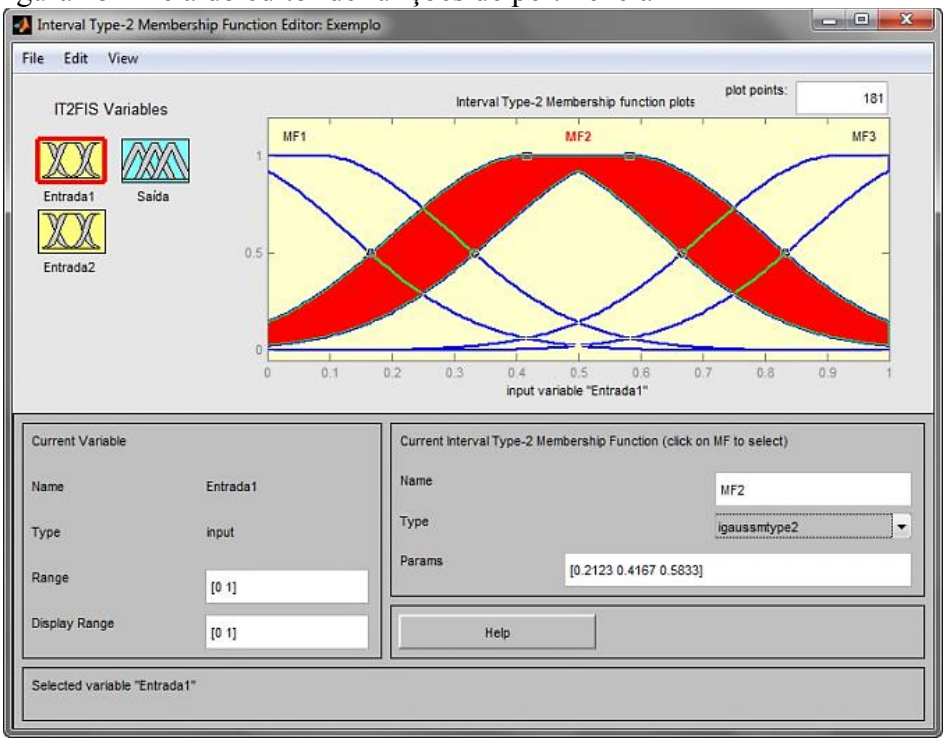
A interface gráfica do editor do sistema de inferência e do editor de função de pertinência contém todas as informações de um dado SIF, como o nome das variáveis, as definições das funções de pertinência, tipo de inferência utilizado entre outras. (CASTILLO, 2010). As Figura 14 e Figura 15 mostram, respectivamente, as telas principais do editor do sistema de inferência e do editor de função de pertinência.

Figura 14 - Tela do editor de SIF



Fonte: Próprio autor

Figura 15 - Tela do editor de funções de pertinência



Fonte: Próprio autor

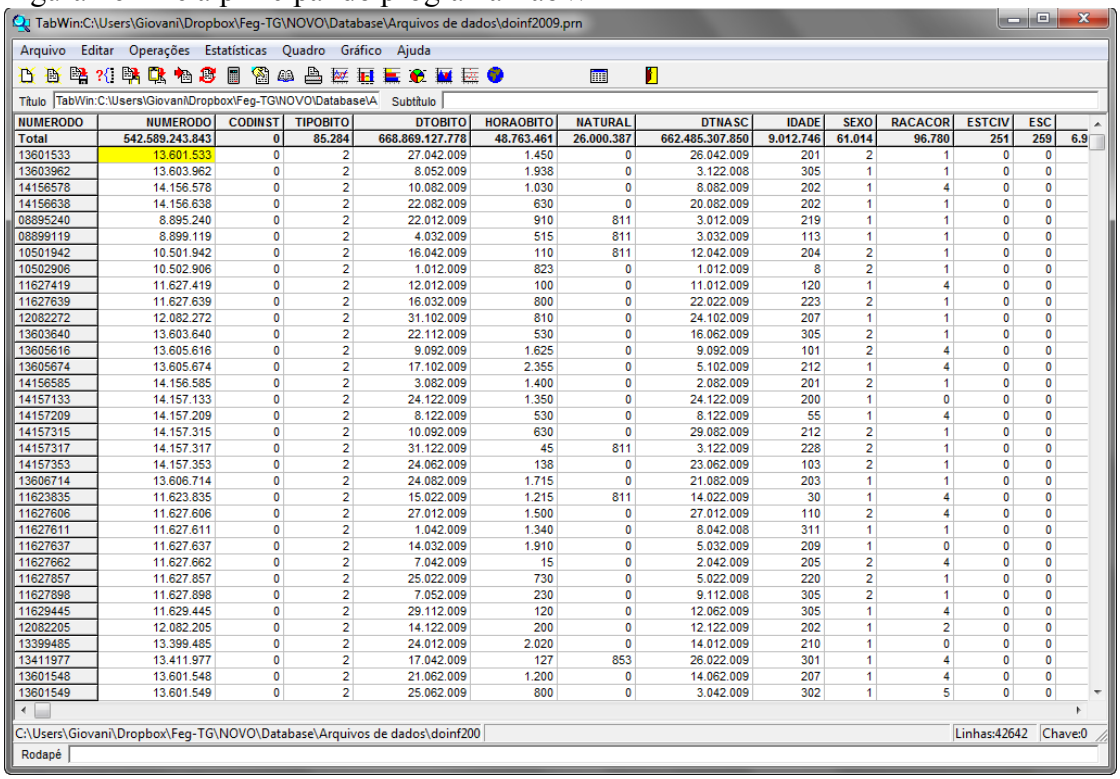
3.2 BASE DE DADOS DO DATASUS

3.2.1 Datasus e TabWin

Para validação do modelo, foram utilizados dados reais obtidos no Portal do Ministério da Saúde / Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), o qual disponibiliza dados sobre a saúde como mortalidade, sobrevivência, morbidade, incapacidade entre outros diversos fatores que podem ser usados na construção de indicadores de saúde, e também disponibiliza informações financeiras a respeito do SUS.

Os arquivos contendo as informações sobre saúde podem ser baixados do site do DATASUS em formato DBC, o qual é um arquivo *Data Base File* (DBF) compactado. Para expandir o arquivo e ter acesso às tabelas de dados, o usuário pode usar programa TAB para Windows (TabWin), o qual foi desenvolvido pelo próprio DATASUS e é disponibilizado gratuitamente. Com o TabWin, os profissionais da saúde podem trabalhar com as bases de dados das mais diversas formas: criar, editar, realizar diversas operações aritméticas e estatísticas e até gerar gráficos e mapas. Com o TabWin, o usuário pode também exportar a base de dados para outros formatos de arquivos, como *Comma-Separated Values* (CSV) e Excel. A Figura 16 ilustra a tela principal do programa TabWin com uma tabela aberta.

Figura 16 - Tela principal do programa TabWin



NUMERODO	NUMERODO	CODINST	TIPOBITO	DTOBITO	HORAOBITO	NATURAL	DTNASC	IDADE	SEXO	RACACOR	ESTCIV	ESC	
Total	542.589.243.843	0	85.284	668.869.127.778	48.763.461	26.000.387	662.485.307.850	9.012.746	61.014	96.780	251	259	6.9
13601533	13.601.533	0	2	27.042.009	1.450	0	26.042.009	201	2	1	0	0	
13603962	13.603.962	0	2	8.052.009	1.938	0	3.122.008	305	1	1	0	0	
14156578	14.156.578	0	2	10.082.009	1.030	0	8.082.009	202	1	4	0	0	
14156638	14.156.638	0	2	22.082.009	630	0	20.082.009	202	1	1	0	0	
08895240	8.895.240	0	2	22.012.009	910	811	3.012.009	219	1	1	0	0	
08899119	8.899.119	0	2	4.032.009	515	811	3.032.009	113	1	1	0	0	
10501942	10.501.942	0	2	16.042.009	110	811	12.042.009	204	2	1	0	0	
10502906	10.502.906	0	2	1.012.009	823	0	1.012.009	8	2	1	0	0	
11627419	11.627.419	0	2	12.012.009	100	0	11.012.009	120	1	4	0	0	
11627639	11.627.639	0	2	16.032.009	800	0	22.022.009	223	2	1	0	0	
12082272	12.082.272	0	2	31.102.009	810	0	24.102.009	207	1	1	0	0	
13603640	13.603.640	0	2	22.112.009	530	0	16.062.009	305	2	1	0	0	
13605616	13.605.616	0	2	9.092.009	1.625	0	9.092.009	101	2	4	0	0	
13605674	13.605.674	0	2	17.102.009	2.355	0	5.102.009	212	1	4	0	0	
14156585	14.156.585	0	2	3.082.009	1.400	0	2.082.009	201	2	1	0	0	
14157133	14.157.133	0	2	24.122.009	1.350	0	24.122.009	200	1	0	0	0	
14157209	14.157.209	0	2	8.122.009	530	0	8.122.009	55	1	4	0	0	
14157315	14.157.315	0	2	10.092.009	630	0	29.082.009	212	2	1	0	0	
14157317	14.157.317	0	2	31.122.009	45	811	3.122.009	228	2	1	0	0	
14157353	14.157.353	0	2	24.062.009	138	0	23.062.009	103	2	1	0	0	
13606714	13.606.714	0	2	24.082.009	1.715	0	21.082.009	203	1	1	0	0	
11623835	11.623.835	0	2	15.022.009	1.215	811	14.022.009	30	1	4	0	0	
11627606	11.627.606	0	2	27.012.009	1.500	0	27.012.009	110	2	4	0	0	
11627611	11.627.611	0	2	1.042.009	1.340	0	8.042.008	311	1	1	0	0	
11627637	11.627.637	0	2	14.032.009	1.910	0	5.032.009	209	1	0	0	0	
11627662	11.627.662	0	2	7.042.009	15	0	2.042.009	205	2	4	0	0	
11627857	11.627.857	0	2	25.022.009	730	0	5.022.009	220	2	1	0	0	
11627898	11.627.898	0	2	7.052.009	230	0	9.112.008	305	2	1	0	0	
11629445	11.629.445	0	2	29.112.009	120	0	12.062.009	305	1	4	0	0	
12082205	12.082.205	0	2	14.122.009	200	0	12.122.009	202	1	2	0	0	
13399485	13.399.485	0	2	24.012.009	2.020	0	14.012.009	210	1	0	0	0	
13411977	13.411.977	0	2	17.042.009	127	853	26.022.009	301	1	4	0	0	
13601548	13.601.548	0	2	21.062.009	1.200	0	14.062.009	207	1	4	0	0	
13601549	13.601.549	0	2	25.062.009	800	0	3.042.009	302	1	5	0	0	

Fonte: Próprio autor

Maiores informações sobre o TabWin, incluindo o seu manual, podem ser encontradas no site do DATASUS.

Para este trabalho, duas bases de dados foram consultadas a fim de se obter todas as informações necessárias para a validação do modelo: a primeira é o Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (SINASC) e a segunda é o Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM).

3.2.2 SINASC E SIM

O SINASC foi implantado em 1990 pelo Ministério da saúde e reúne informações epidemiológicas de todos os nascimentos, em território nacional, informados através da Declaração de Nascido Vivo (DN). O DN é um documento que reúne informações importantes acerca no RN e também da sua mãe, tais como: data de nascimento do RN, local de nascimento, escore Apgar ao 1º e 5º minutos, peso do RN, local de residência e escolaridade da mãe da mãe e número de consultas pré-natal (PORTAL DA SAÚDE(b), 2013).

O SIM foi implementado há cerca de 4 décadas com a finalidade de registrar dados qualitativos e quantitativos a respeito da mortalidade no território brasileiro. Para cada

registro, há o número da Declaração de Óbito, informações básicas sobre o falecido e sobre a sua mãe, assim como o número da DN (PORTAL DA SAÚDE(b), 2013).

Ambos os sistemas são de suma importância para uma gestão eficiente em saúde, já que, a partir deles, muitos indicadores podem ser criados e análises epidemiológicas podem ser processadas em todo território nacional.

3.2.3 Critérios para seleção dos dados

A base de dados para validação do modelo foi criada de acordo com os seguintes critérios:

1. Período de nascimento: entre Dezembro de 2003 e janeiro 2005
2. Local de residência da mãe do RN: cidade de São José dos Campos-SP
3. Data de óbito do RN: até o 7º dia de vida
4. Sem anomalias congênitas?
5. Apenas RN com todas as informações usadas como critério de seleção e usadas como entrada no modelo.

3.3 ROTINA PARA INFERÊNCIA NO BANCO DADOS

Para avaliar o risco de morte de cada RN da base de dados, uma simulação dos sistemas de inferência *fuzzy* tipo-1 e tipo-2 deve ser realizada.

O primeiro passo é importar o banco de dados para o MATLAB. Para tanto, pode-se usar as seguintes linhas na janela de comando do MATLAB:

```
planilha=ddeinit('excel','C:\Dados.xls:Dados')
dados=ddereq(planilha, 'l1c1:l20c2')
```

A primeira linha de comando (função *ddeinit*) é utilizada para iniciar um diálogo entre o MATLAB® e o arquivo de Excel contendo os dados, cujo caminho é dado como parâmetro da função assim como o nome da planilha da qual os dados serão obtidos. A segunda linha (função *ddereq*) obtém os dados desejados, representados pelo intervalo dado como parâmetro na função, através da "conversa" estabelecida pelo comando *ddeinit* e os salva na matriz *dados*

O próximo passo é carregar o arquivo do SIF a ser usado. Isso é feito através do comando *readfis*, que independe do tipo do SIF (tipo-1 ou tipo-2) que o usuário quer carregar,

como ilustrado abaixo, onde *fuzzy1* e *fuzzy2* são as variáveis que vão armazenar os SIFs carregados, e *f1* e *f2* são os nomes dos arquivos FIS a serem carregados:

*fuzzy1=**readfis**('f1')*
*fuzzy2=**readfis**('f2')*

Para, finalmente, realizar os cálculos de inferência *fuzzy* no banco de dados, usa-se as linhas de comando abaixo:

*outputf1=**evalfis**(dados,fuzzy1)*
*outputf2=**evalifistype2**(dados,fuzzy2)*

O primeiro comando (função *evalfis*) simula um SIF1, representado pela variável *fuzzy1*, para os dados de entrada *dados* e retorna uma matriz de resultados *outputf1*. O segundo comando (função *evalifistype2*) desempenha o mesmo papel do primeiro, porém para um SIF2 (variável *fuzzy2*).

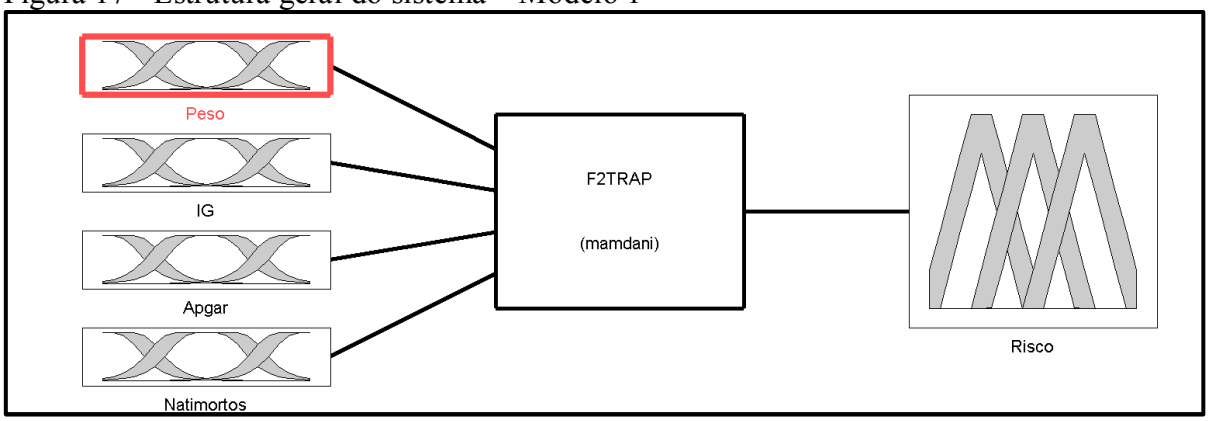
3.4 MODELO 1

Nesta seção, serão apresentados o SIF1 do trabalho (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009), e o SIF2 desenvolvido neste trabalho tomando o primeiro como base.

3.4.1 Estrutura geral

A estrutura geral para o primeiro modelo está ilustrada na Figura 17.

Figura 17 - Estrutura geral do sistema – Modelo 1



Fonte: Próprio autor

As variáveis de entrada utilizadas são: peso ao nascer (*Peso*), escore Apgar (*Apgar*), idade gestacional (*IG*) e histórico materno de natimortos (*Natimortos*); a variável de saída é o risco de óbito (*Risco*) para o RN em questão.

O tipo de inferência utilizado tanto no SIF1 quanto no SIF2 é o *Mamdani*.

3.4.2 Fuzificação das variáveis

Como mencionado anteriormente, a fuzificação das variáveis linguísticas para o modelo *fuzzy* tipo-2 intervalar foi realizado com base no SIF1. Para isso, foram adicionadas incertezas aos pontos da função de pertinência tipo-1. As variáveis de entrada (*Peso*, *Apgar*, *IG* e *Natimortos*) foram modeladas usando-se funções de pertinência com forma trapezoidal e a variável de saída (*Risco*), usando-se funções de pertinência do tipo triangular.

3.4.3 Peso ao nascer – Modelo 1

A variável de entrada peso ao nascer, designada por *Peso*, foi classificada em três intervalos conforme a Tabela 2: muito baixo, baixo e normal. O universo de discurso considerado foi de 200 a 4750 gramas.

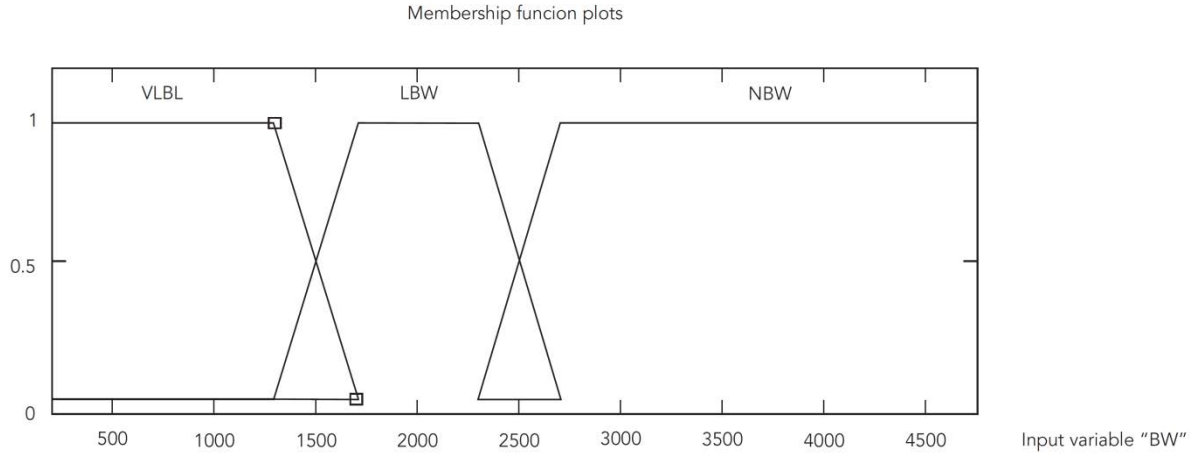
Tabela 2 - Classificação da variável de entrada *Peso*

Função	Intervalo (em gramas)
Muito Baixo	<1500
Baixo	1500 a 2500
Normal	>2500

A Figura 18 ilustra as funções de pertinência tipo-1 para a variável *Peso*.

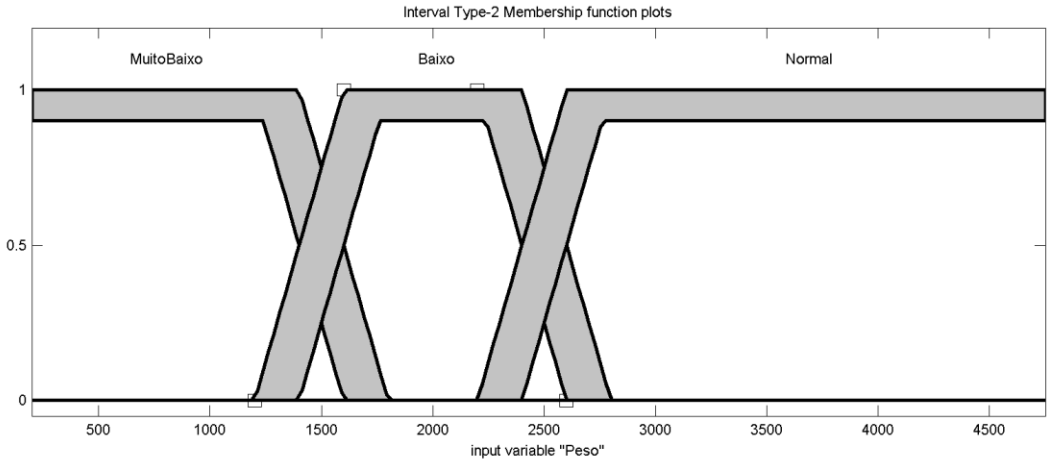
Para cada uma das funções de pertinência tipo-1 da Figura 18, uma incerteza de ±100 gramas foi associada aos pontos da base e aos pontos onde o grau de pertinência passa a ser 1, assim como uma incerteza de 0,1 foi associada à altura da função de pertinência onde o grau de pertinência era unitário. As funções de pertinência tipo-2 resultantes estão ilustradas na Figura 19 e a Tabela 3 mostra os parâmetros das funções de pertinência.

Figura 18 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável *BW* – Modelo 1



Fonte: (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009). Obs.: VLBW = muito baixo; LBW = baixo; e NBW = normal.

Figura 19 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Peso* – Modelo 1



Fonte: Próprio autor

Tabela 3 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Peso* – Modelo 1

Cassificação	Parâmetros da função "itrapatype2"
MuitoBaixo	[-1400 -1000 1200 1600 -1200 -800 1400 1800 0.9]
Baixo	[1200 1600 2200 2600 1400 1800 2400 2800 0.9]
Normal	[2200 2600 6700 7100 2400 2800 6900 7300 0.9]

3.4.4 Idade Gestacional – Modelo 1

Apesar de a idade gestacional ser, normalmente, contada em semanas pelos profissionais da saúde, o valor que se obtém da base de dados do DATASUS é um número natural de 1 a 6, e a correspondência desse valor com o número de semanas é dado pela Tabela 4.

Tabela 4 Classificação do tempo de gestação segundo a Secretaria de Vigilância em Saúde / MS

Classe	Intervalo (em semanas)
1	< 22
2	22 a 27
3	28 a 31
4	32 a 36
5	37 a 41
6	>= 42

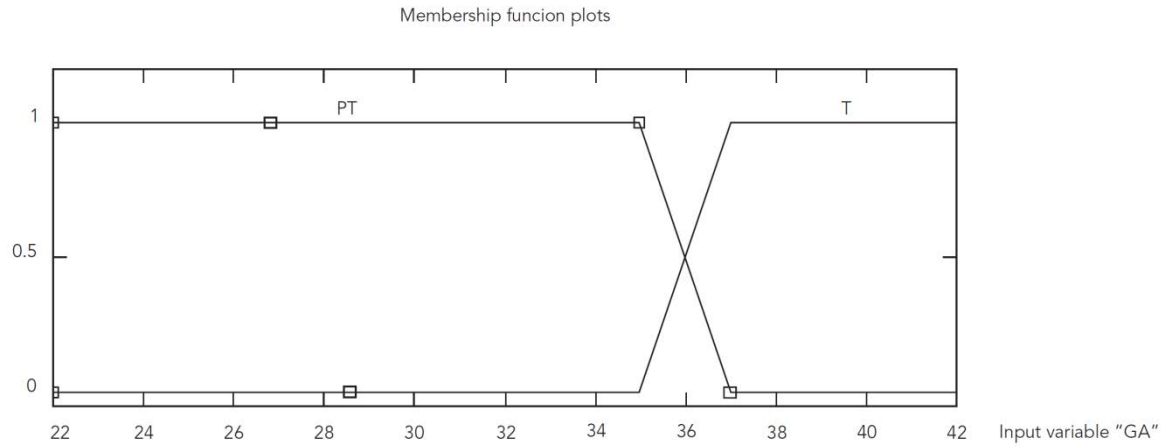
A classificação do RN de acordo com a idade gestacional é dada por 2 termos linguísticos: *termo* e *pré-termo*. Os intervalos para a sua classificação, em número de semanas, é dada na Tabela 5, assim como os intervalos convertidos para o seu correspondente de acordo com a Tabela 4.

Tabela 5 - Classificação da variável de entrada *idade gestacional* (*IG*)

Função de pertinência	Intervalo (semanas)	Intervalo (segundo a Tabela 4)
PreTermo	<37	<5
Termo	>=37	>=5

As funções de pertinência tipo-1 para a variável idade gestacional, designada por "GA" no trabalho de (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009), estão ilustradas na Figura 20.

Figura 20- Funções de pertinência tipo-1 para a variável *GA* – Modelo 1



Fonte: (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009). Obs.: PT = pré-termo; T = termo.

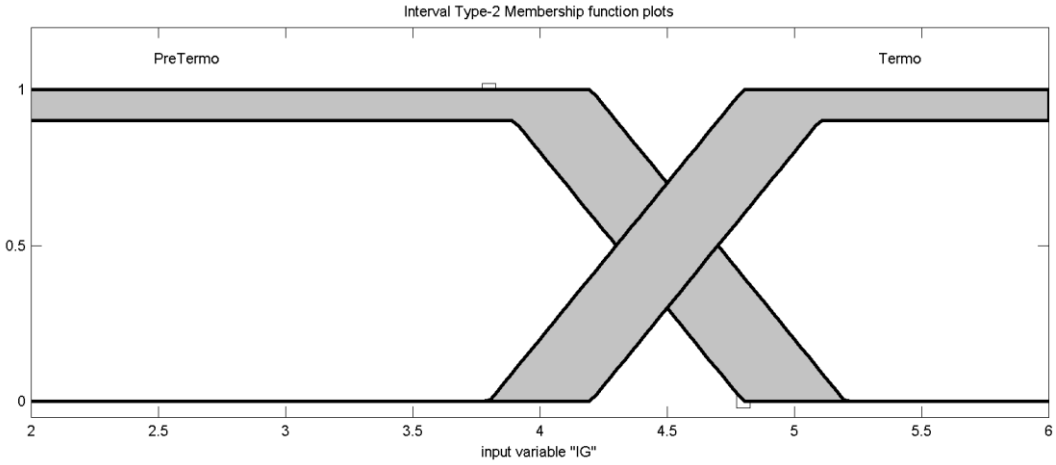
As funções de pertinência tipo-2 foram obtidas das funções de pertinência tipo-1 adicionando-se uma incerteza de ± 0,3 aos pontos da base e aos pontos onde o grau de pertinência destas passa a ser 1, assim como uma incerteza de 0,1 foi associada à altura da função de pertinência tipo-1 onde o grau de pertinência era unitário. A Tabela 6 mostra os

parâmetros das funções de pertinência tipo-2 resultantes para a variável de entrada *IG*, e a Figura 21 ilustra graficamente as funções de pertinência obtidas.

Tabela 6 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *IG* – Modelo 1

Classificação	Parâmetros da função "itrapatype2"
PreTermo	[-3.2 -2.2 3.8 4.8 -2.8 -1.8 4.2 5.2 0.9]
Termo	[3.8 4.8 6.8 7.8 4.2 5.2 7.2 8.2 0.9]

Figura 21 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *IG* – Modelo 1



Fonte: Próprio autor

3.4.5 Escore Apgar no 5º minuto – Modelo 1

A variável escore Apgar (*Apgar*) foi modelada usando-se 2 funções de pertinência: baixo ("B") e alto ("A"). O universo de discurso considerado foi de 0 a 10 e sua classificação é dada na Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação da variável de entrada *Apgar* – Modelo 1

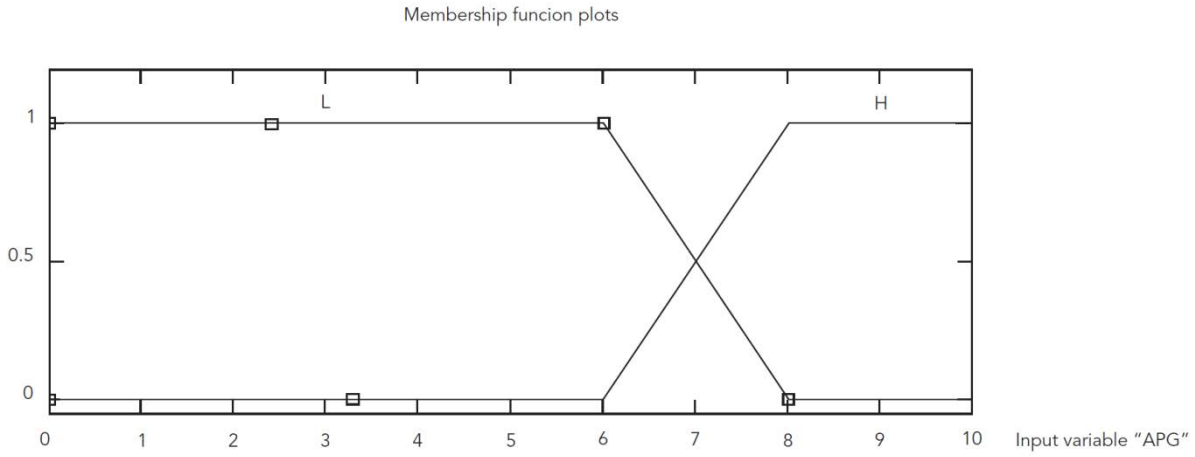
Função de pertinência	Intervalo
Baixo	<=7
Alto	>8

As funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *Apgar* estão ilustradas na Figura 22.

Para cada uma das funções de pertinência tipo-1 da Figura 22, uma incerteza de ±0,4 foi associada aos pontos base e aos pontos onde o grau de pertinência passa a ser 1, assim como uma incerteza de 0,1 foi associada à altura da função de pertinência onde o grau de pertinência era unitário. As funções de pertinência tipo-2 resultantes estão ilustradas na Figura

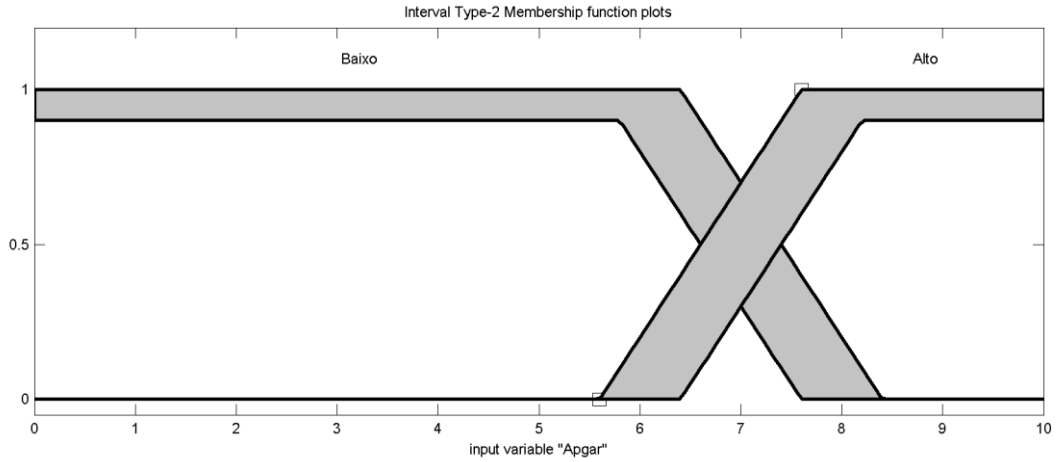
23. A Tabela 8 mostra os parâmetros das funções de pertinência utilizadas para modelagem da variável *Apgar*.

Figura 22- Funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *APG* – Modelo 1



Fonte: (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009)

Figura 23- Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 1



Fonte: Próprio autor

Tabela 8 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 1

Classificação	Parâmetros da função "itrapatype2"
Baixo	[-8.4 -6.4 5.6 7.6 -7.6 -5.6 6.4 8.4 0.9]
Alto	[5.6 7.6 11.6 13.6 6.4 8.4 12.4 14.4 0.9]

3.4.6 Histórico materno de natimortos – Modelo 1

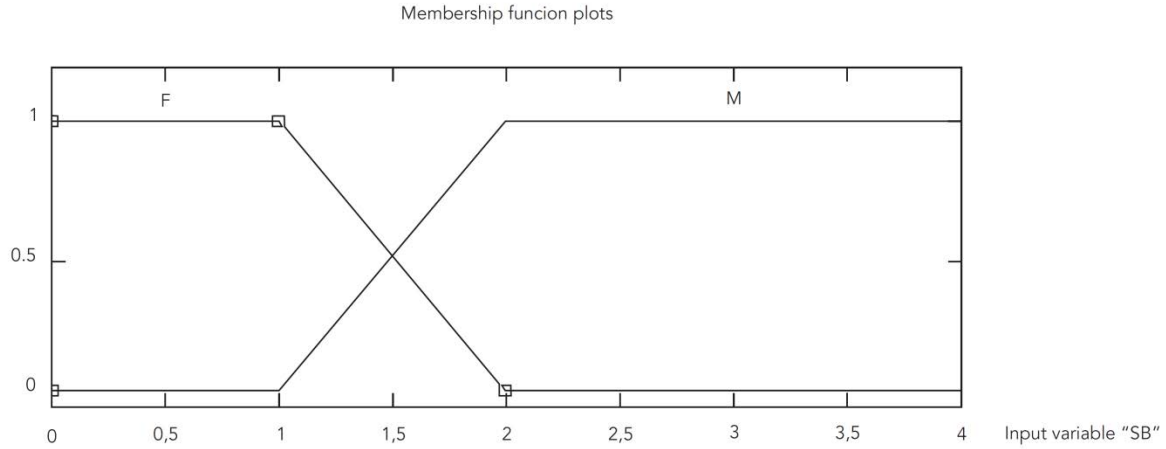
A variável número de natimortos (*Natimortos*) foi dividida em duas funções de pertinência: poucos (*P* ou *F*) e muitos (*M*). Sua classificação é dada na Tabela 9. O universo de discurso considerado foi de 0 a 4.

Tabela 9 - Classificação da variável de entrada *Natimortos* – Modelo 1

Função de pertinência	Intervalo
Poucos	<=1
Muitos	>1

A Figura 24 ilustra as funções de pertinência tipo-1.

Figura 24- Funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *SB* – Modelo 1



Fonte: (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009). Obs.: *F* = poucos; *M* = muitos.

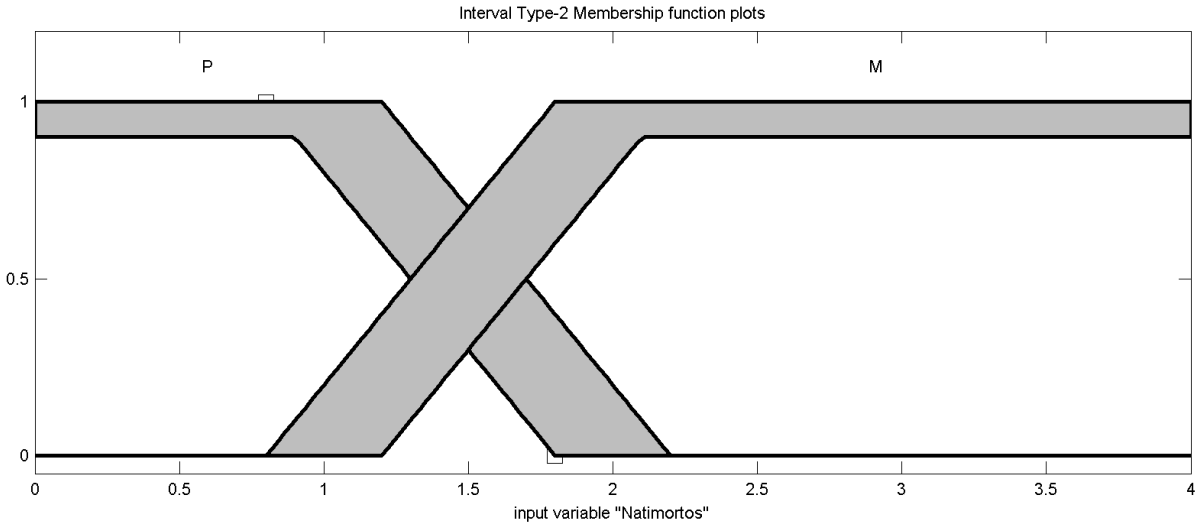
Uma incerteza de ± 0,2 foi associada aos pontos da base e aos pontos onde o grau de pertinência passa a ser 1 das funções de pertinência tipo-1, assim como uma incerteza de 0,1 foi associada à altura onde o grau de pertinência era unitário. Os conjuntos *fuzzy* tipo-2 resultantes estão ilustrados na

Figura 25 e a Tabela 10 mostra os parâmetros das funções de pertinência utilizadas para modelagem da variável de entrada *Natimortos*.

Tabela 10 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Natimortos* – Modelo 1

Classificação	Parâmetros da função "itrapatype2"
Poucos	[-2.2 -1.2 0.8 1.8 -1.8 -0.8 1.2 2.2 0.9]
Muitos	[0.8 1.8 5.8 6.8 1.2 2.2 6.2 7.2 0.9]

Figura 25- Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Natimortos* – Modelo 1



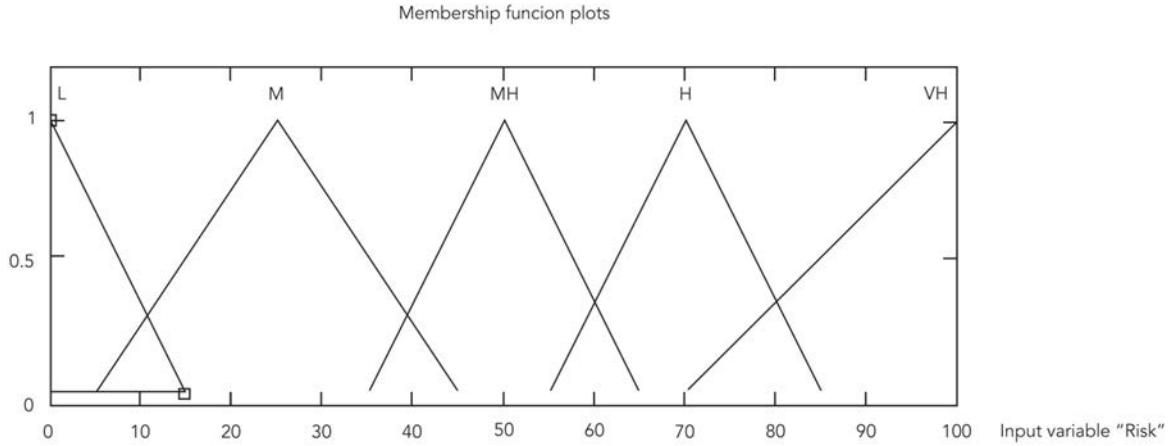
Fonte: Próprio autor. Obs.: *P* = poucos; *M* = muitos.

3.4.7 Risco de óbito – Modelo 1

A variável de saída *Risco*, que dá o risco de óbito para um RN em porcentagem, foi dividida em cinco conjuntos: baixo (*Baixo*), médio (*Medio*), médio alto (*MedioAlto*), alto (*Alto*) e muito alto (*MuitoAlto*). O universo de discurso considerado foi de 0 a 100%.

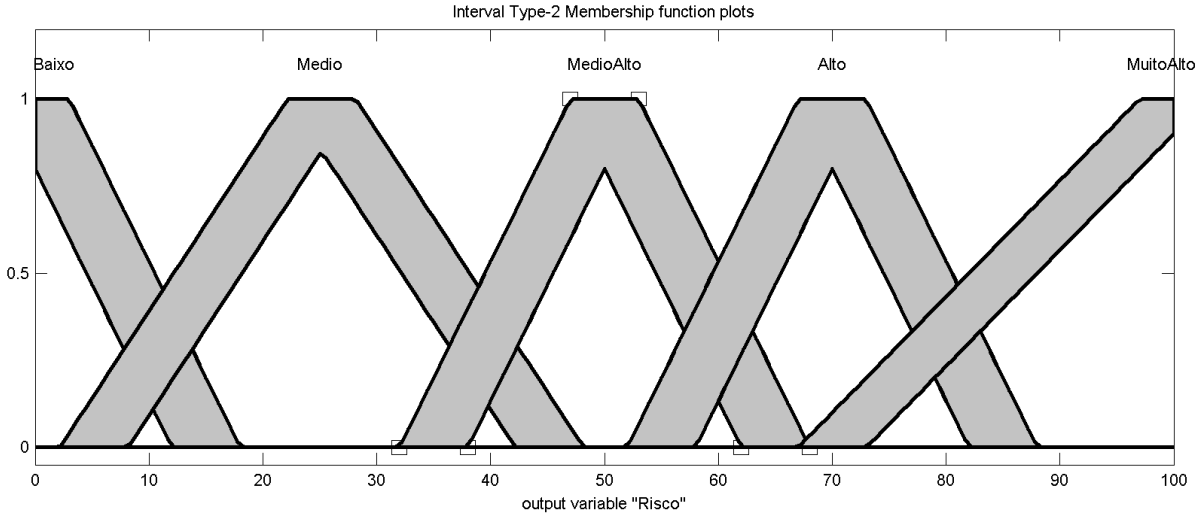
Uma incerteza de ± 3% foi associada aos pontos da base e vértice das funções de pertinência tipo-1. As funções de pertinência resultantes estão ilustradas na Figura. A Tabela 11 mostra os parâmetros das funções de pertinência utilizadas para modelagem da saída *Risco*.

Figura 26 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável de saída *Risco* - Modelo 1



Fonte: (NASCIMENTO; RIZOL; ABIUZI, 2009). Obs.: *L* = baixo; *M* = médio; *MH* = médio alto; *H* = alto; *VH* = muito alto.

Figura 27 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de saída *Risco*



Fonte: Próprio autor

Tabela 11 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de saída *Risco* – Modelo 1

Classificação	Parâmetros da função "itritype2"
Baixo	[-18 -3 12 -12 3 18]
Medio	[2 22 42 8 28 48]
MedioAlto	[32 47 62 38 53 68]
Alto	[52 67 82 58 73 88]
MuitoAlto	[67 97 127 73 103 133]

3.4.8 Base de regras – Modelo 1

Como mencionado anteriormente no capítulo 2, a base de regras de um SIF tipo-2 não difere daquela de um SIF tipo-1. A diferença básica entre esses dois sistemas é a forma da função de pertinência e a adição de um bloco redutor de tipo na SIF tipo-2.

Como o objetivo do trabalho é comparar o desempenho de um SIF2 em relação a um SIF1, a base de regras utilizada será a mesma para os dois SIFs. A Tabela 12 resume as 24 regras utilizadas.

Tabela 12 - Base de regras do sistema de inferência – Modelo 1

1. SE (Peso é MB) E (IG é PT) E (Apgar é B) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é MtoAlto) (1)
2. SE (Peso é MB) E (IG é PT) E (Apgar é B) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é MtoAlto) (1)
3. SE (Peso é MB) E (IG é PT) E (Apgar é A) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
4. SE (Peso é MB) E (IG é PT) E (Apgar é A) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é Alto) (1)
5. SE (Peso é MB) E (IG é T) E (Apgar é B) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Alto) (1)
6. SE (Peso é MB) E (IG é T) E (Apgar é B) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é Alto) (1)
7. SE (Peso é MB) E (IG é T) E (Apgar é A) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
8. SE (Peso é MB) E (IG é T) E (Apgar é A) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
9. SE (Peso é B) E (IG é PT) E (Apgar é B) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
10. SE (Peso é B) E (IG é PT) E (Apgar é B) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é Alto) (1)
11. SE (Peso é B) E (IG é PT) E (Apgar é A) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
12. SE (Peso é B) E (IG é PT) E (Apgar é A) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
13. SE (Peso é B) E (IG é T) E (Apgar é B) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
14. SE (Peso é B) E (IG é T) E (Apgar é B) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
15. SE (Peso é B) E (IG é T) E (Apgar é A) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
16. SE (Peso é B) E (IG é T) E (Apgar é A) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
17. SE (Peso é N) E (IG é PT) E (Apgar é B) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
18. SE (Peso é N) E (IG é PT) E (Apgar é B) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é MedAlto) (1)
19. SE (Peso é N) E (IG é PT) E (Apgar é A) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
20. SE (Peso é N) E (IG é PT) E (Apgar é A) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
21. SE (Peso é N) E (IG é T) E (Apgar é B) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
22. SE (Peso é N) E (IG é T) E (Apgar é B) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é Medio) (1)
23. SE (Peso é N) E (IG é T) E (Apgar é A) E (Natimortos é P) ENTÃO (Risco é Baixo) (1)
24. SE (Peso é N) E (IG é T) E (Apgar é A) E (Natimortos é Mt) ENTÃO (Risco é Baixo) (1)

* Onde o número entre parênteses no final de cada regra indica o peso da regra, que pode variar de 0 a 1.

MB = muito baixo; B = baixo; N = normal; A = alto; ; MedAlto = médio alto; MtAlto = muito alto; P = poucos; Mt = muitos.

3.4.9 Exemplo no *Rule Viewer* – Modelo 1

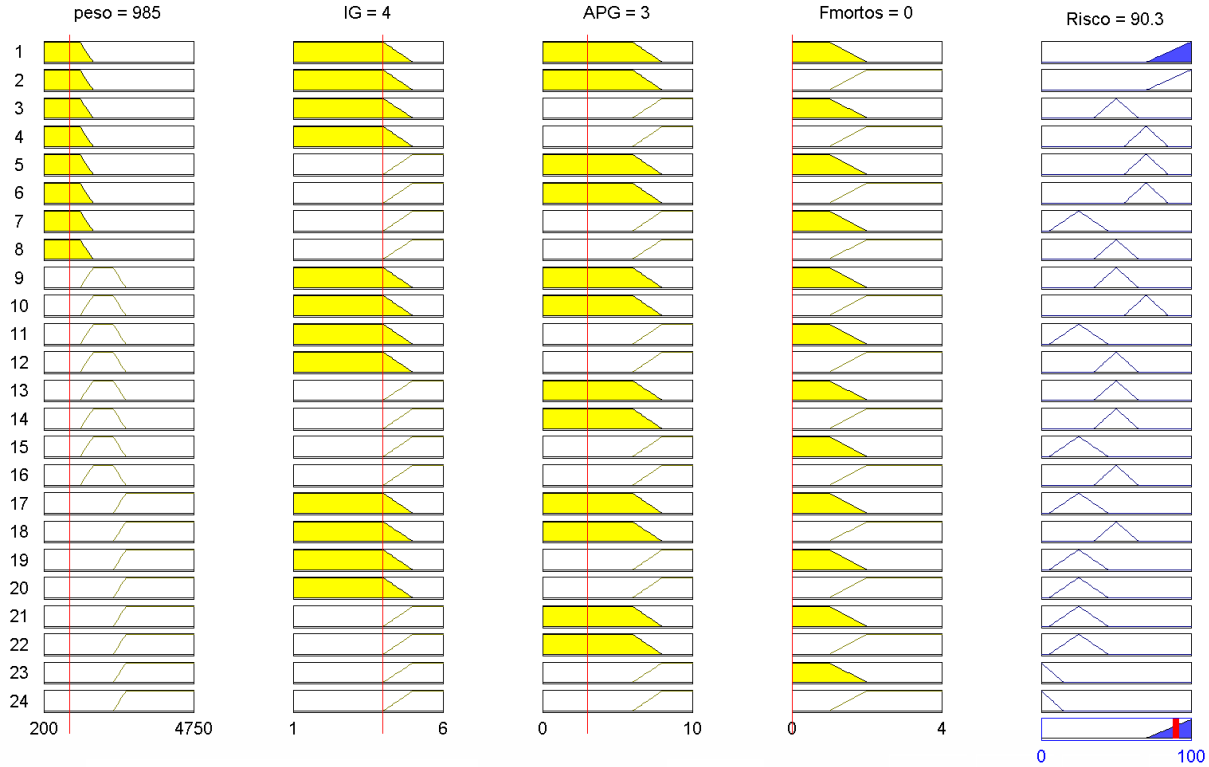
Na Figura 28 e na Figura 29, encontra-se a simulação de um caso da base de dados, apresentado no *Rule Viewer*. Este apresenta em uma única tela, todas as partes do processo de inferência, desde as variáveis de entrada até a variável de saída.

O exemplo utilizado aqui é de um caso em que o RN foi a óbito. Os valores das variáveis de entrada e do risco de óbito podem ser vistos na Tabela 13.

Tabela 13 - Exemplo - Modelo 1

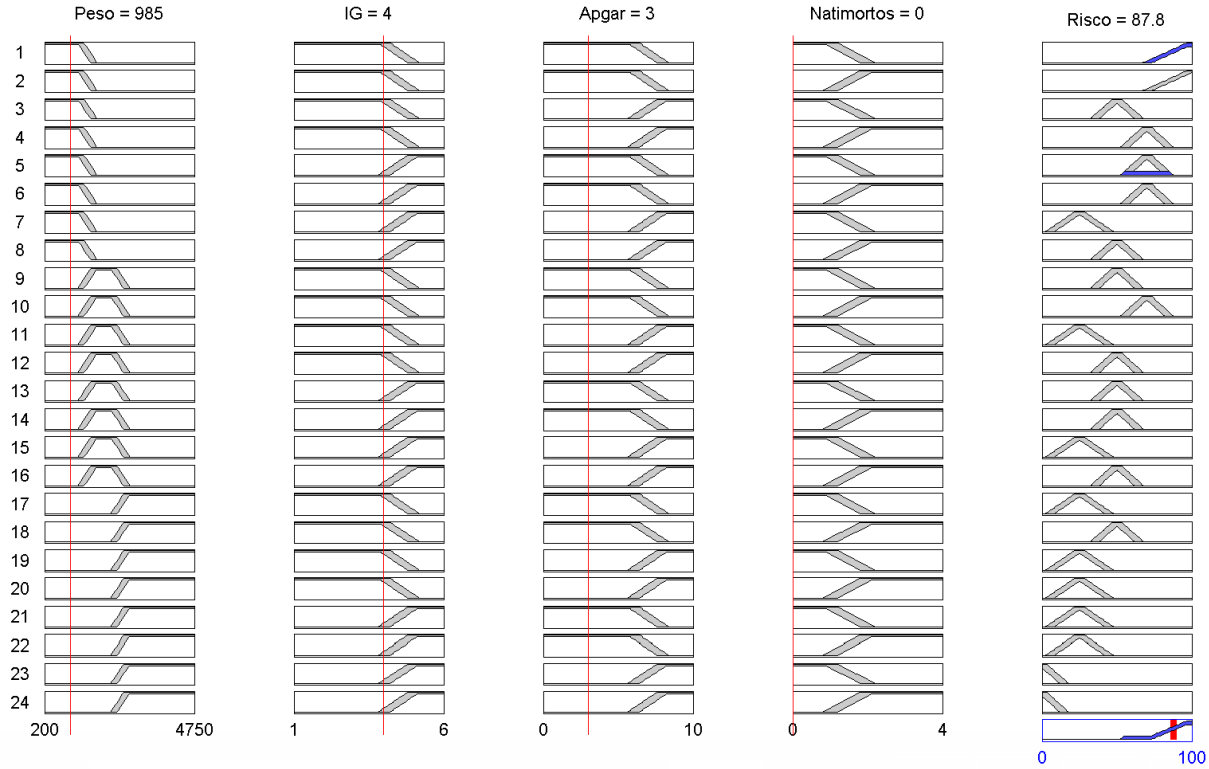
Sistema de inferência	Peso	Idade gestacional	Escore Apgar	Natimortos	Risco
SIF1	985g	4	3	0	90,3%
SIF2					87,8%

Figura 28 - *Rule Viewer* - Exemplo – Modelo 1, SIF1



Fonte: Próprio autor

Figura 29 - *Rule Viewer* - Exemplo – Modelo 1, SIF2



Fonte: Próprio autor

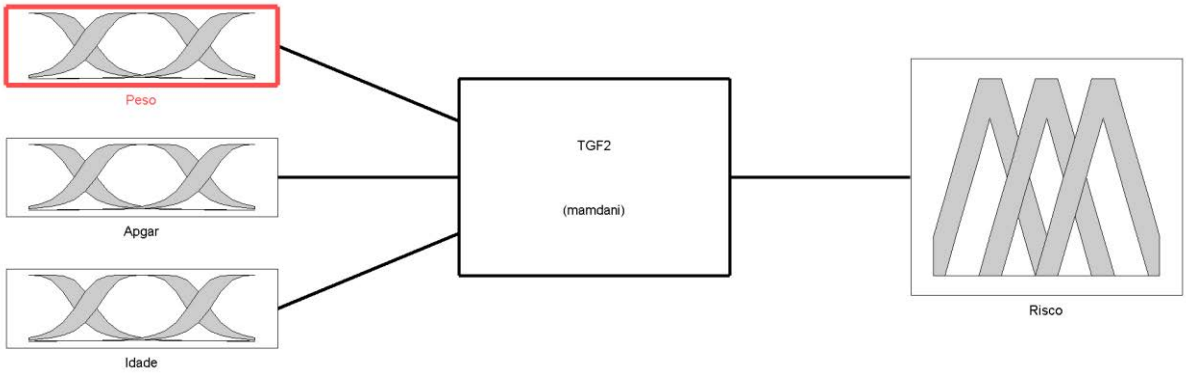
3.5 MODELO 2

A seguir, será apresentado um novo modelo preditivo proposto nesse trabalho. Assim como no modelo anterior, dois sistemas de inferência *fuzzy*, um tipo-1 e um tipo-2, serão desenvolvidos com a finalidade de compará-los.

3.5.1 Estrutura geral

A estrutura gráfica do novo modelo obtida no IT2FLS é ilustrada na Figura 30.

Figura 30 - Estrutura geral do sistema de inferência – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

Como ilustrado na Figura 30, as variáveis de entrada utilizadas neste modelo foram: *Peso*, *Apgar*, *IG*; e a variável de saída é o risco de óbito (*Risco*) para o RN em questão.

A variável *Natimortos,* utilizada no modelo 1, foi desconsiderada para o modelo 2. Essa decisão foi tomada pois observou-se que, para a base de dados em questão, o histórico materno de natimortos não exercia influência no risco de óbito.

O tipo de inferência utilizado neste modelo é o Mamdani.

3.5.2 Peso ao nascer – Modelo 2

A variável de entrada "peso ao nascer", designada neste modelo como *Peso*, foi classificada em três intervalos, de acordo com a Tabela 14: muito baixo, baixo e normal. O universo de discurso considerado foi de 200 a 4750 gramas.

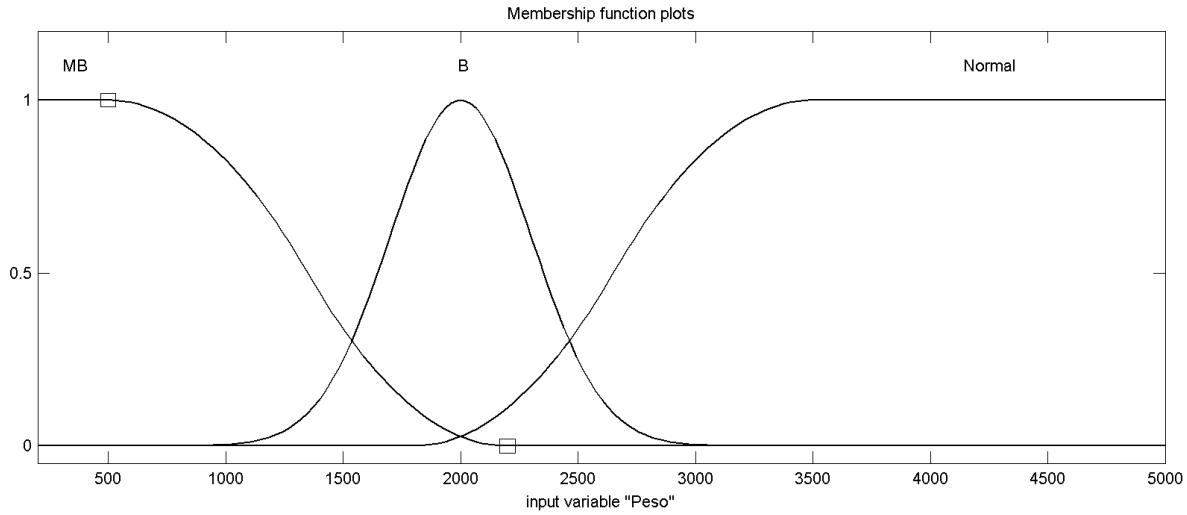
Para modelar esses intervalos, usou-se funções tipo-Z, tipo Gaussiana e tipo-S, respectivamente, para os conjuntos muito baixo, baixo e normal. A Figura 31 ilustra as funções de pertinência tipo-1 para esta variável.

Para o SIF2, as funções de pertinência utilizadas foram as suas correspondentes do tipo-1. A Figura 32 ilustra as funções de pertinência tipo-2 resultantes. Na Tabela 15, encontram-se os parâmetros de cada função de pertinência utilizada para a variável *Peso*.

Tabela 14 - Classificação da variável de entrada *Peso* – Modelo 2

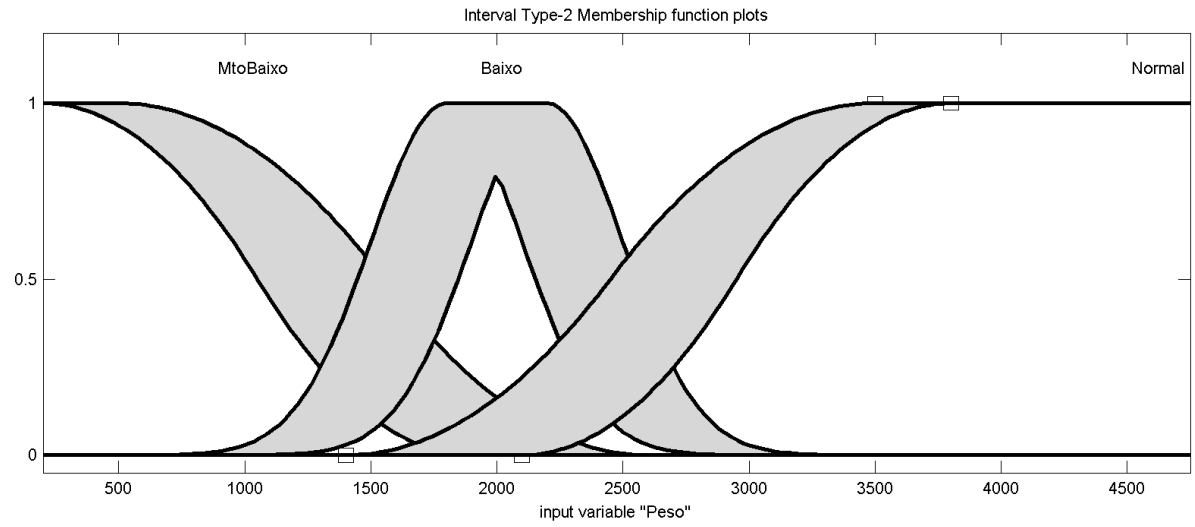
Função	Intervalo (em gramas)
Muito Baixo	<1500
Baixo	1500 a 2500
Normal	>2500

Figura 31 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável *Peso* – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

Figura 32 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Peso* – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

Tabela 15 - Parâmetros para a variável de entrada *Peso* – Modelo 2

Classificação	Tipo da função	Parâmetros da função
MuitoBaixo	iztype2	[500 2600 200 1900]
Baixo	igaussmtype2	[300 1800 2200]
Normal	istype2	[1400 3500 2100 3800]

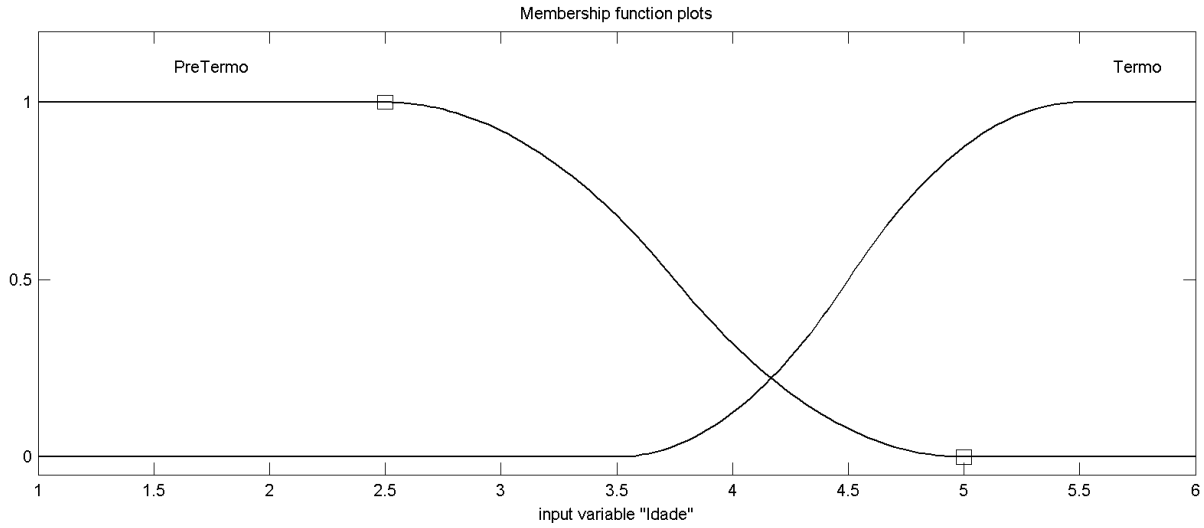
3.5.3 Idade Gestacional – Modelo 2

A variável *IG* deste modelo foi modelada, basicamente, como a sua correspondente do modelo anterior. A diferença encontra-se no tipo de função utilizada: para a função de pertinência *Termo*, uma função do tipo-Z foi utilizada; para a função de pertinência *PreTermo*, uma função do tipo-S.

Tabela 16 - Classificação da variável de entrada *idade gestacional* (*IG*)

Função de pertinência	Intervalo (semanas)	Intervalo (segundo a Tabela 4)
PreTermo	<37	<5
Termo	>=37	>=5

Figura 33- Funções de pertinência tipo-1 para a variável *IG* – Modelo 2



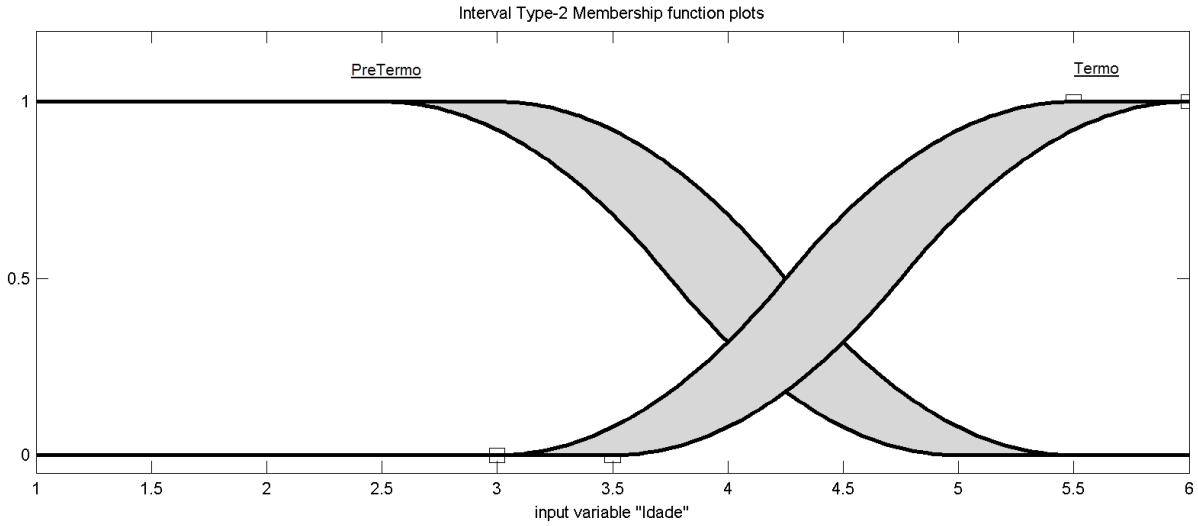
Fonte: Próprio autor

As funções de pertinência tipo-2 foram obtidas tomando-se os mesmos tipos (tipo-Z e tipo-S) das funções de pertinência tipo-1. A Tabela 6 mostra os parâmetros das funções de pertinência tipo-2 resultantes para a variável de entrada *IG*, e a Figura 21 ilustra graficamente as funções de pertinência obtidas.

Tabela 17 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *IG* – Modelo 2

Classificação	Tipo da função	Parâmetros da função "itrapatype2"
PreTermo	iztype2	[2.5 5 3 5.5]
Termo	istype2	[3 5.5 3.5 6]

Figura 34 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *IG* – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

3.5.4 Escore Apgar no 5º minuto – Modelo 2

A variável escore Apgar (*Apgar*), neste modelo, foi dividida em três intervalos: baixo, médio e alto, de acordo com a Tabela 18. Para modelar esses conjuntos, usou-se funções tipo-Z para *Baixo*, tipo Gaussiana para *Medio* e tipo-S para *Alto*.

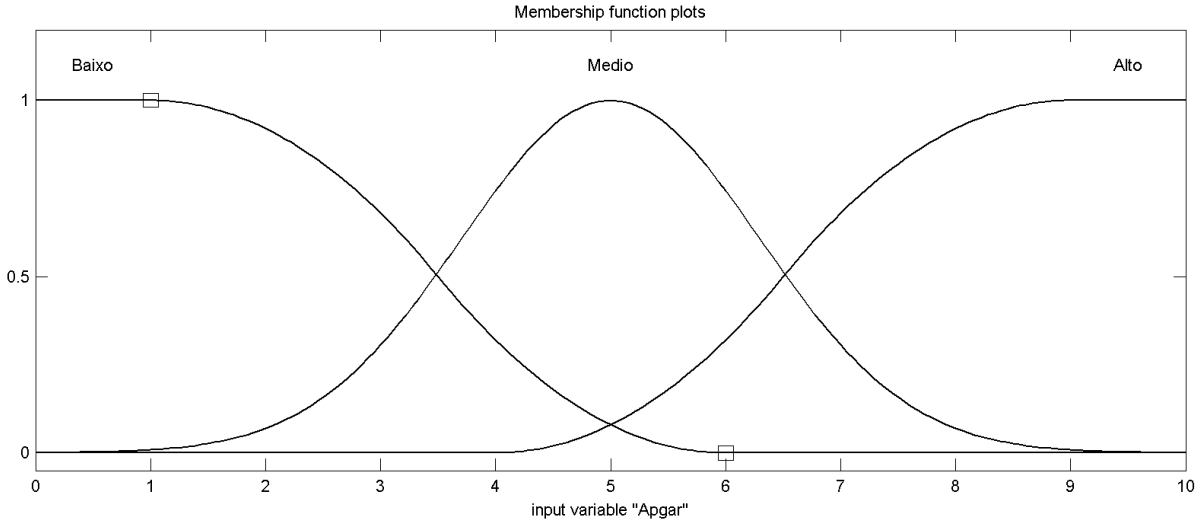
Tabela 18 - Classificação da variável de entrada *Apgar* – Modelo 2

Função de pertinência	Intervalo
Baixo	0 a 3
Medio	4 a 6
Alto	7 a 10

As funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *Apgar* estão ilustradas na Figura 35.

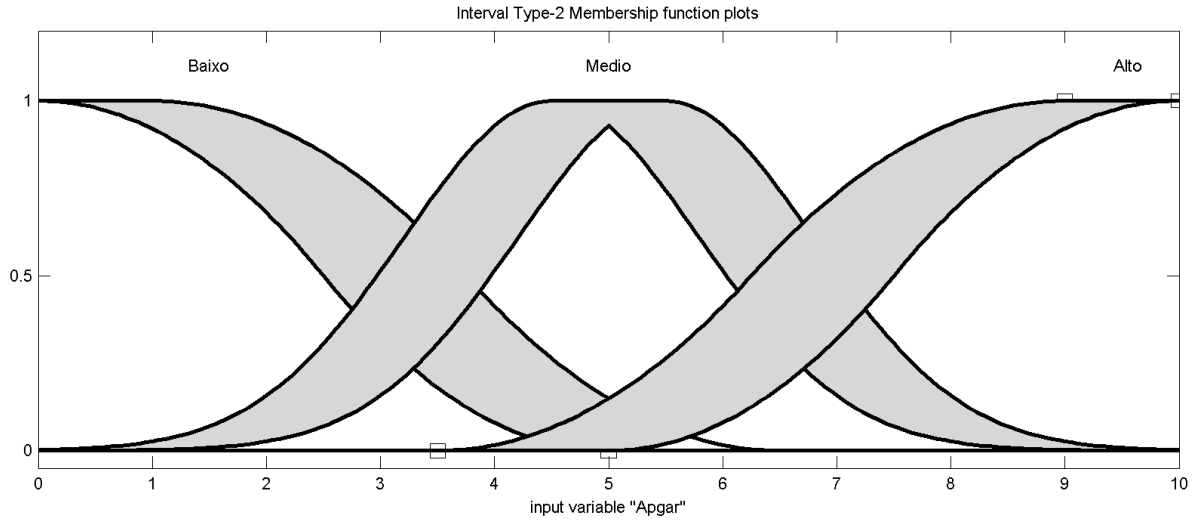
As funções de pertinência tipo-2 foram obtidas tomando-se os mesmos tipos das funções de pertinência tipo-1. As funções de pertinência tipo-2 resultantes estão ilustradas na Figura 36. A Tabela 19 mostra os parâmetros das funções de pertinência utilizadas para modelagem da variável *Apgar*.

Figura 35- Funções de pertinência tipo-1 para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

Figura 36 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

Tabela 19 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de entrada *Apgar* – Modelo 2

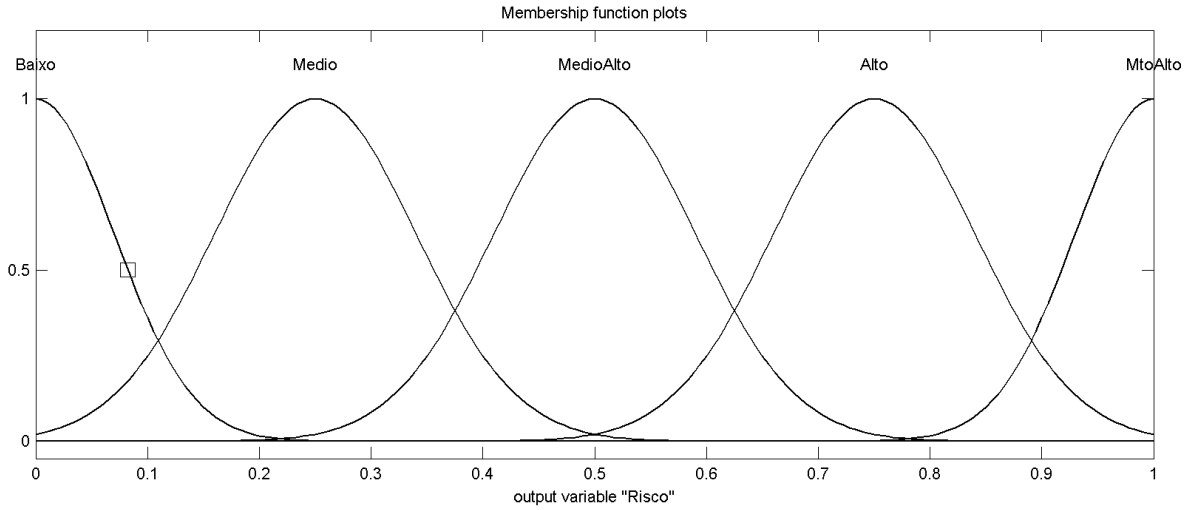
Classificação	Tipo da função	Parâmetros
Baixo	iztype2	[1 6.5 0 5]
Medio	igaussmtype2	[1.3 4.5 5.5]
Alto	istype2	[3.5 9 5 10]

3.5.5 Variável de saída *Risco* – Modelo 2

A variável de saída *Risco*, que dá o risco de óbito para um RN em porcentagem, foi dividida em cinco conjuntos: baixo, médio, médio alto, alto e muito alto. O universo considerado foi de 0 a 100%.

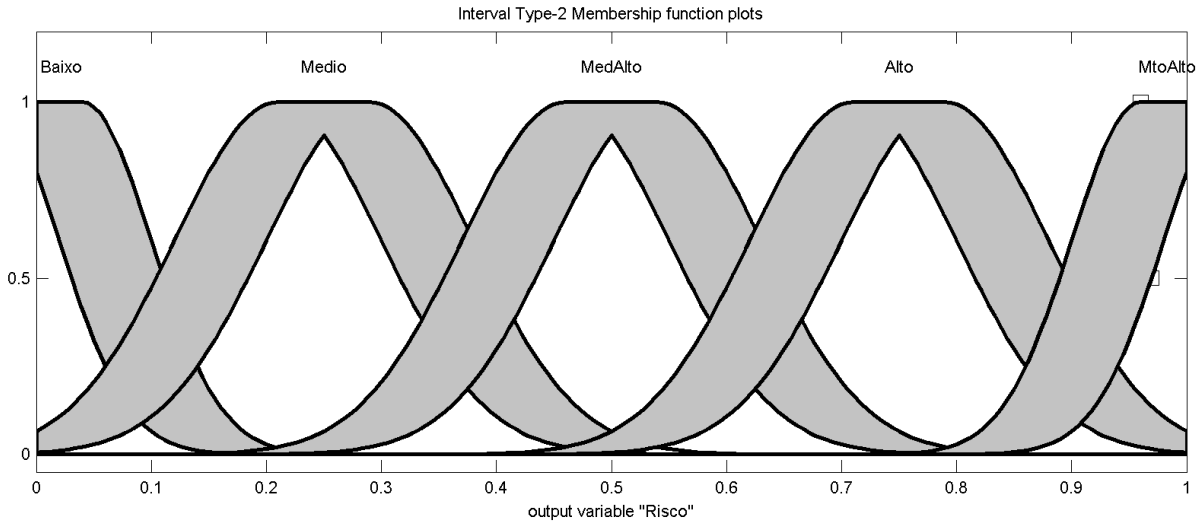
Funções do tipo distribuição gaussiana foram utilizadas para os conjuntos. As funções de pertinência obtidas para o SIF1 e SIF2 estão ilustradas, respectivamente, nas Figura 37 e Figura 38. A Tabela 20 mostra os parâmetros das funções de pertinência utilizadas para modelagem da saída *Risco*.

Figura 37 - Funções de pertinência tipo-1 para a variável de saída *Risco* – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

Figura 38 - Funções de pertinência tipo-2 para a variável de saída *Risco* – Modelo 2



Fonte: Próprio autor

Tabela 20 - Parâmetros das funções de pertinência para a variável de saída *Risco* – Modelo 2

Classificação	Tipo da função	Parâmetros
Baixo	igaussmtype2	[0.05 -0.03 0.03]
Medio	igaussmtype2	[0.09 0.21 0.29]
MedAlto	igaussmtype2	[0.09 0.46 0.54]
Alto	igaussmtype2	[0.09 0.71 0.79]
MtoAlto	igaussmtype2	[0.05 0.97 1.03]

3.5.6 Base de regras – Modelo 2

Para este modelo, poder-se-ia obter um total de 18 regras. Porém, o estudo de (CASEY; MCINTIRE; LEVENO, 2001) mostrou que o risco de morte para um RN com escore Apgar entre 0 e 3 independe da idade gestacional. Assim, a idade gestacional foi ignorada para os casos onde o valor da variável *Apgar* está no conjunto *Baixo* e obteve-se 15 regras, como ilustra a Tabela 21.

Tabela 21 - Base de regras do sistema de inferência

1) SE (PESO É MB) E (APGAR É B) ENTÃO (RISCO É MTOALTO) (1)
2) SE (PESO É MB) E (APGAR É M) E (IG É PT) ENTÃO (RISCO É MTOALTO) (1)
3) SE (PESO É MB) E (APGAR É M) E (IG É T) ENTÃO (RISCO É ALTO) (1)
4) SE (PESO É MB) E (APGAR É A) E (IG É PT) ENTÃO (RISCO É MTOALTO) (1)
5) SE (PESO É MB) E (APGAR É A) E (IG É T) ENTÃO (RISCO É ALTO) (1)
6) SE (PESO É B) E (APGAR É B) ENTÃO (RISCO É MTOALTO) (1)
7) SE (PESO É B) E (APGAR É M) E (IG É PT) ENTÃO (RISCO É ALTO) (1)
8) SE (PESO É B) E (APGAR É M) E (IG É T) ENTÃO (RISCO É MEDALTO) (1)
9) SE (PESO É B) E (APGAR É A) E (IG É PT) ENTÃO (RISCO É MEDALTO) (1)
10) SE (PESO É B) E (APGAR É A) E (IG É T) ENTÃO (RISCO É MEDIO) (1)
11) SE (PESO É N) E (APGAR É B) ENTÃO (RISCO É MTOALTO) (1)
12) SE (PESO É N) E (APGAR É M) E (IG É PT) ENTÃO (RISCO É MEDALTO) (1)
13) SE (PESO É N) E (APGAR É M) E (IG É T) ENTÃO (RISCO É MEDIO) (1)
14) SE (PESO É N) E (APGAR É A) E (IG É PT) ENTÃO (RISCO É BAIXO) (1)
15) SE (PESO É N) E (APGAR É A) E (IG É T) ENTÃO (RISCO É BAIXO) (1)

* Onde o número entre parênteses no final de cada regra indica o peso da regra, que pode variar no intervalo [0 1]. Obs.: MB = muito baixo; T = termo; PT = pré-termo; B = baixo; N = normal; A = alto; M = médio; MedAlto = médio alto; MtoAlto = muito alto;

3.5.7 Exemplo no *Rule Viewer* – Modelo 2

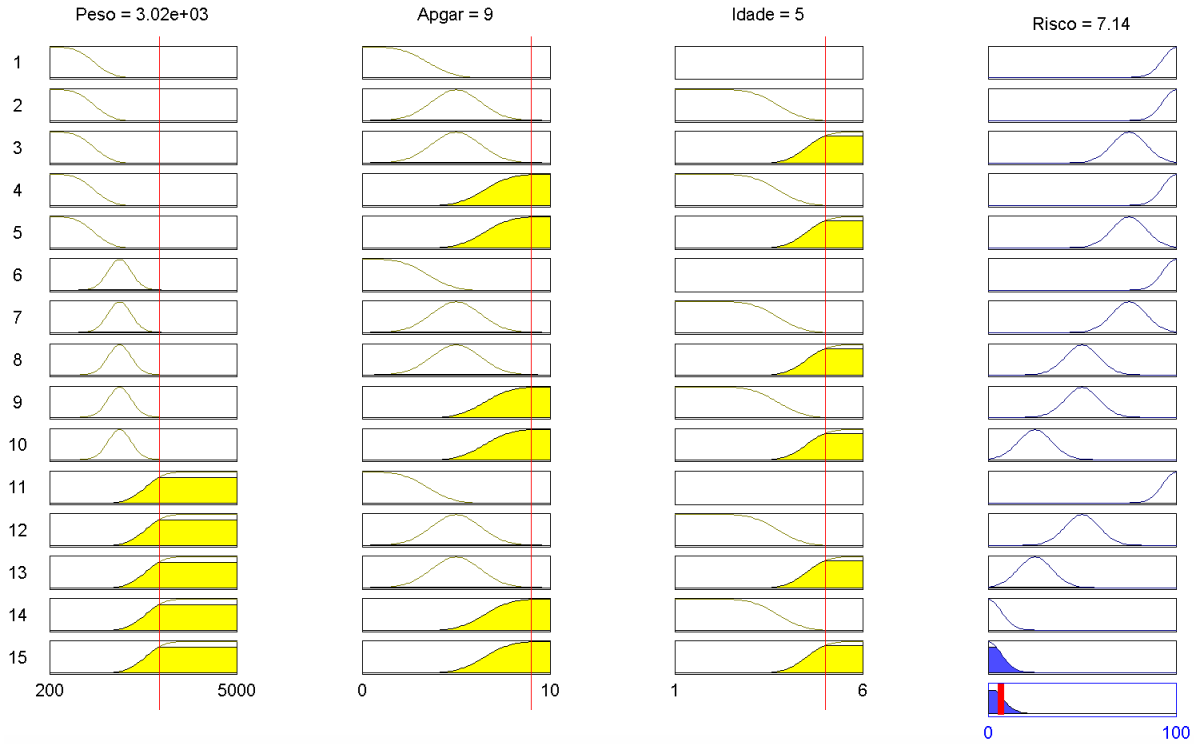
Na Figura 39 e na Figura 40, encontra-se a simulação de um caso da base de dados, apresentado no *Rule Viewer*. Este mostra, em uma única tela, todas as partes do processo de inferência, desde as variáveis de entrada até a variável de saída.

O exemplo utilizado aqui é de um caso em que o RN sobreviveu. Os valores das variáveis de entrada e do risco de óbito podem ser vistos na Tabela 22

Tabela 22 - Exemplo - Modelo 2

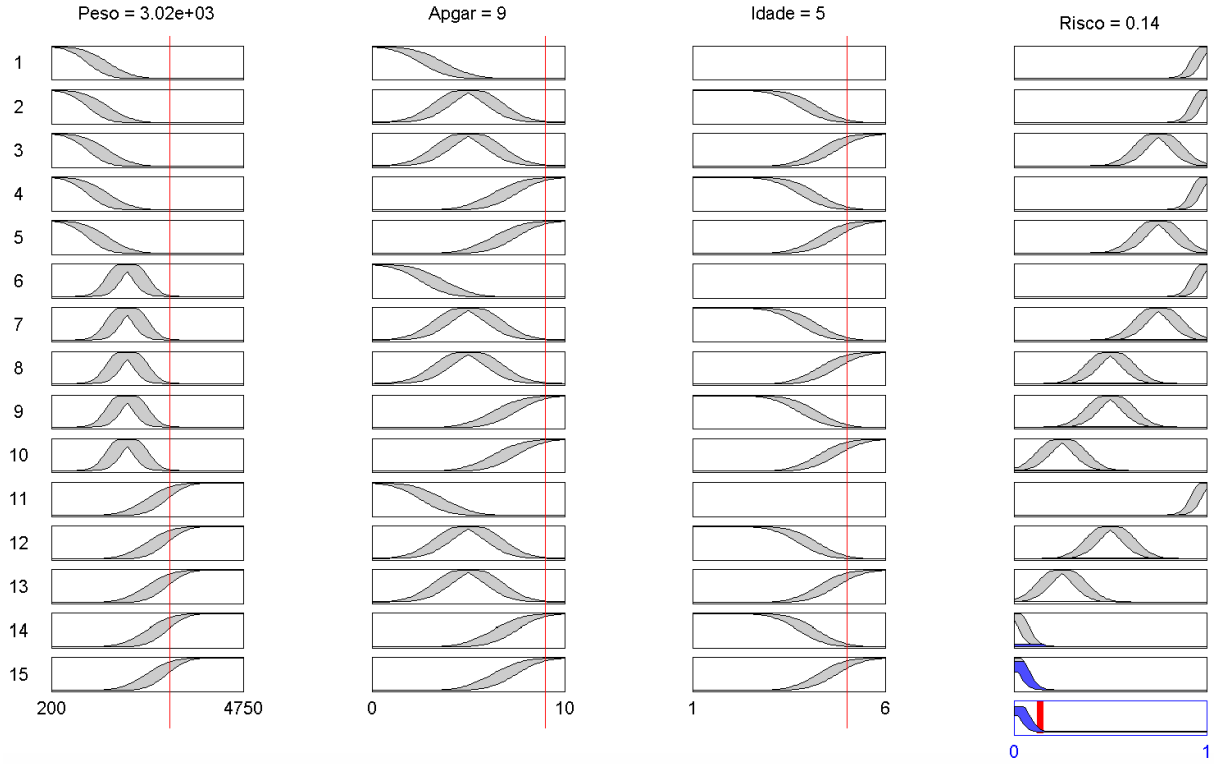
Sistema de inferência	Peso	Escore Apgar	Idade gestacional	Risco
SIF1	3015g	9	5	7,14%
SIF2				14%

Figura 39 - *Rule Viewer* - Exemplo - Modelo 2, SIF1



Fonte: Próprio autor

Figura 40 - *Rule Viewer* - Exemplo - Modelo 2, SIF2



Fonte: Próprio autor

4 ÁNALISE DE RESULTADOS

4.1 INFORMAÇÕES SOBRE A BASE DE DADOS

O modelo desenvolvido neste trabalho foi validado com uma base de dados contendo 1351 registros de RN com seus respectivos peso ao nascer, idade gestacional no momento de entrega, escore Apgar ao quinto minuto de vida e histórico materno do número de natimortos. A Figura 41 ilustra os casos de óbito e sobrevivência da base de dados.

Figura 41 - Quantificação dos casos de óbito e sobrevivência

Fonte: Próprio autor

Na Tabela 23, encontram-se as médias e desvios padrão das variáveis de entrada para os dois casos possíveis de saída: óbito (1) ou sobrevivência (0) dos RNs.

Tabela 23 - Média e desvio padrão das entradas para cada caso

Variável	Caso	Média	Desvio Padrão
Peso (g)	0*	3145,81	496,614
	1**	1440,26	957,268
IG	0	4,92	0,299
	1	3,29	1,389
Apgar	0	9,33	0,762
	1	6,53	2,583
Natimortos	0	0,15	0,452
	1	0,10	0,307

*0 = sobrevivência do RN; **1 = óbito do RN.

Na Tabela 23, verifica-se que a média do peso ao nascer, para os casos em que houve óbito, é menor que a média para os casos em que o RN sobreviveu, assim como esperado. O valor elevado do desvio padrão, porém, principalmente para os casos de óbito, indica uma alta dispersão dos valores reais em relação à média obtida. Por isso, não se deve interpretar que o valor do peso ao nascer é, necessariamente, baixo ou muito baixo para todos os óbitos, há outras variáveis a ser levadas em consideração que aumentam o risco de óbito. A mesma análise feita para a variável *Peso* pode ser estendida para as variáveis *IG* e *Apgar*.

No caso da variável *Natimortos*, entretanto, não é possível estabelecer a correlação esperada: maior número de natimortos para os casos de óbito.

4.2 *FUZZY* TIPO-2 INTERVALAR x *FUZZY* TIPO-1

Pode-se obter, do *toolbox Fuzzy* e do IT2FLS, uma representação gráfica que relaciona a variável de saída, representada no eixo Z de um sistema de coordenadas cartesiano, a uma ou duas outras variáveis a escolha do usuário, representadas nos eixos X e Y, levando em consideração a base de regras do SIF. Essa representação é uma superfície, como será apresentado no tópico a seguir. Para um SIF2, a superfície representa o tipo reduzido das funções de pertinência tipo-2.

A partir dessas superfícies, pode-se visualizar com maior facilidade a relação que existe entre a saída e outras duas variáveis, como, por exemplo, a variação do risco quando o peso ao nascer aumenta e o escore Apgar diminui.

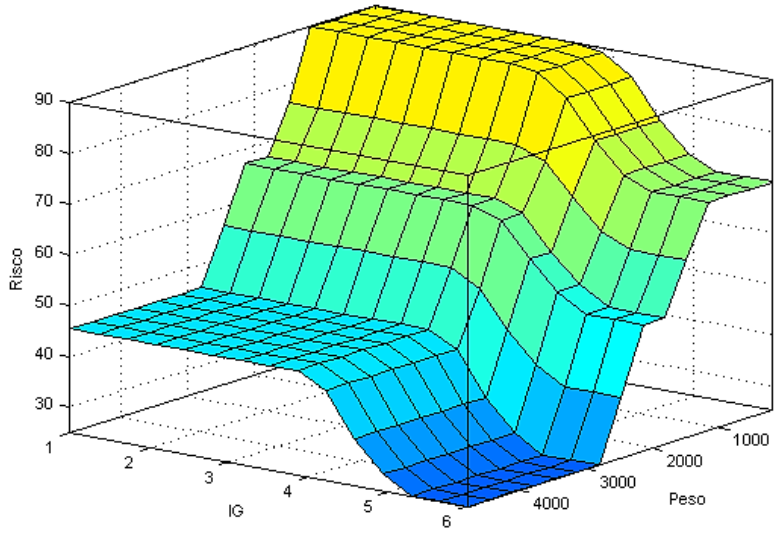
4.2.1 Modelo 1 - Superfícies

A seguir, será ilustrada, graficamente, a relação da variável de saída *Risco* para três exemplos de combinações de variáveis de entrada: *IG* e *Peso*; *Apgar* e *Peso*; *Natimortos* e *Peso*. As superfícies obtidas, neste modelo, para o SIF1 e para o SIF2 possuem uma diferença ínfima. Serão apresentadas, portanto, apenas as superfícies do tipo reduzido do SIF2.

A Figura 42 apresenta a superfície obtida para as variáveis de entrada *IG* e *Peso*. Nota-se que o risco aumenta com o acréscimo do peso, assim como com o acréscimo da idade gestacional.

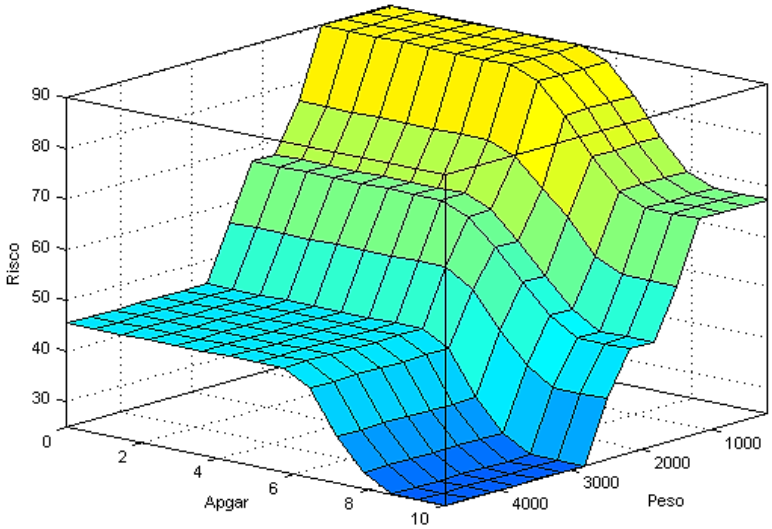
Na Figura 43, a superfície obtida para as variáveis de entrada *Apgar* e *Peso* mantém uma relação com a saída *Risco* muito semelhante à da Figura 42. Isso se deve muito aos intervalos das funções de pertinência utilizadas para *IG* e *Apgar*, assim como a relação direta com a saída *Risco*: o risco diminui com o aumento de qualquer uma destas duas variáveis.

Figura 42 - Superfície para *IG* e *Peso* - Modelo 1, SIF2



Fonte: Próprio autor

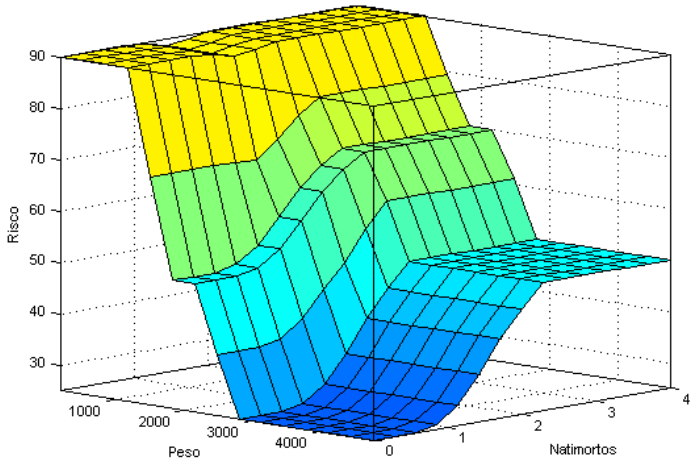
Figura 43 - Superfície para *Apgar* e *Peso* - Modelo 1, SIF2



Fonte: Próprio autor

Na Figura 44, encontra-se a superfície para as variáveis de entrada *Natimortos* e *Peso*. Nota-se que, de acordo com a base de regras, o risco de morte sofre um acréscimo com o aumento do número de natimortos. O mesmo é válido para o peso ao nascer, como foi visto nas superfícies anteriores.

Figura 44 - Superfície para *Natimortos* e *Peso* - Modelo 1, SIF2



Fonte: Próprio autor

4.2.2 Modelo 2 – Superfícies

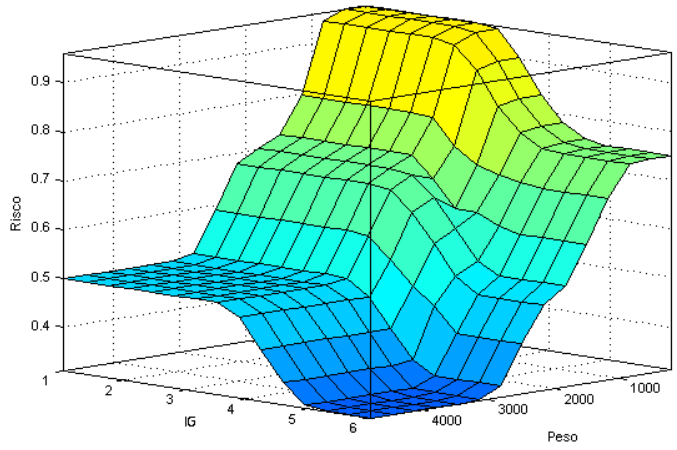
Assim como na seção anterior, três superfícies serão apresentadas para ilustrar a relação entre entradas e saídas do sistema desenvolvido neste segundo modelo. Aqui, como se tem apenas três variáveis de entrada, todas as variáveis de entrada foram combinadas uma com a outra para gerar as superfícies: *IG* e *Peso*; *Apgar* e *Peso*; e *IG* e *Apgar*.

A Figura 45 ilustra a superfície para a combinação *IG* e *Peso*. As superfícies obtidas, neste modelo, para o SIF1 e para o SIF2 possuem uma diferença ínfima. Serão apresentadas, portanto, apenas as superfícies do tipo reduzido do SIF2. O formato da superfície assemelha-se muito àquela da mesma combinação para o primeiro modelo. A forma das funções de pertinência e a diferença na base de regras confere uma pequena discriminação em algumas áreas da superfície.

A Figura 46, porém, difere muito da sua correspondente no modelo 1. Isso se deve ao fato de a variável *Apgar* ter sido modelada em três conjuntos, diferentemente do modelo 1, no qual ela foi divida em apenas dois. A superfície retrata bem o efeito da divisão do escore Apgar em três intervalos: a relação entre o decréscimo do seu valor e o aumento do risco fica mais evidente para toda gama de valores.

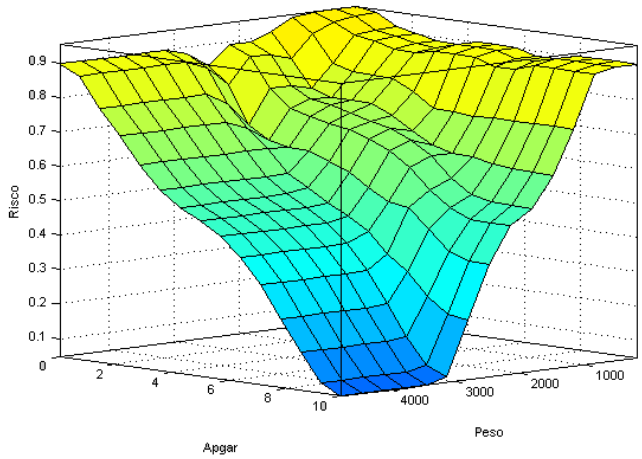
A Figura 47 mostra uma relação que não foi apresentada para o primeiro modelo. Novamente, nota-se a relação entre o escore Apgar e o risco de morte.

Figura 45 - Superfície para *IG* e *Peso* - Modelo 2, SIF2



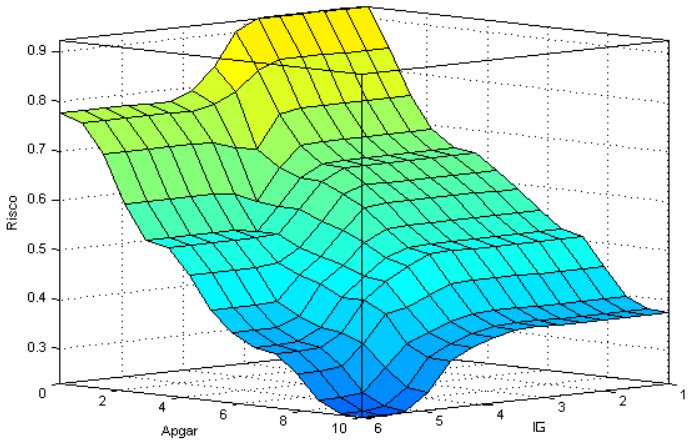
Fonte: Próprio autor

Figura 46 - Superfície para *Apgar* e *Peso* - Modelo 2, SIF2



Fonte: Próprio autor

Figura 47 - Superfície para *Apgar* e *IG* - Modelo 2, SIF2

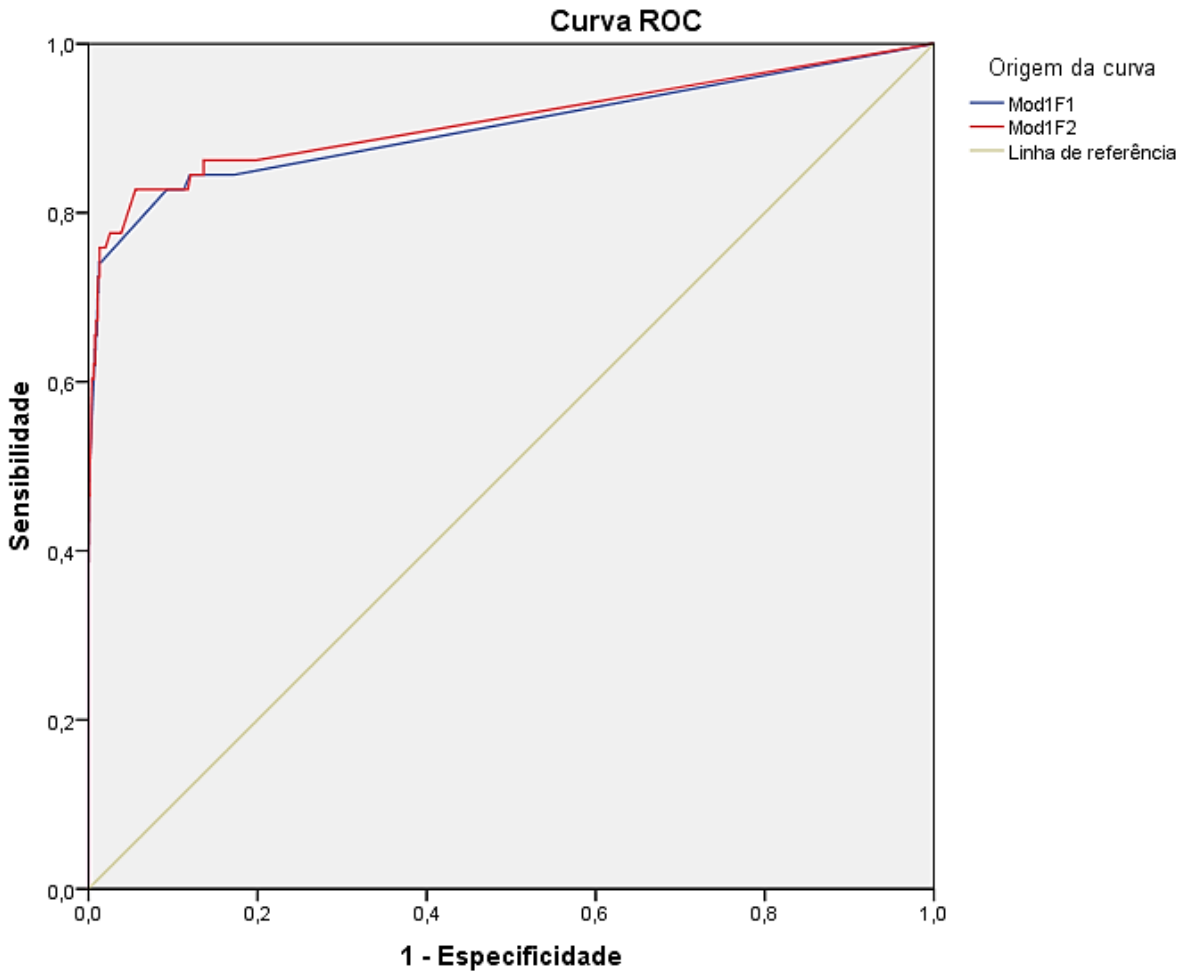


Fonte: Próprio autor

4.2.3 Análise pela curva ROC

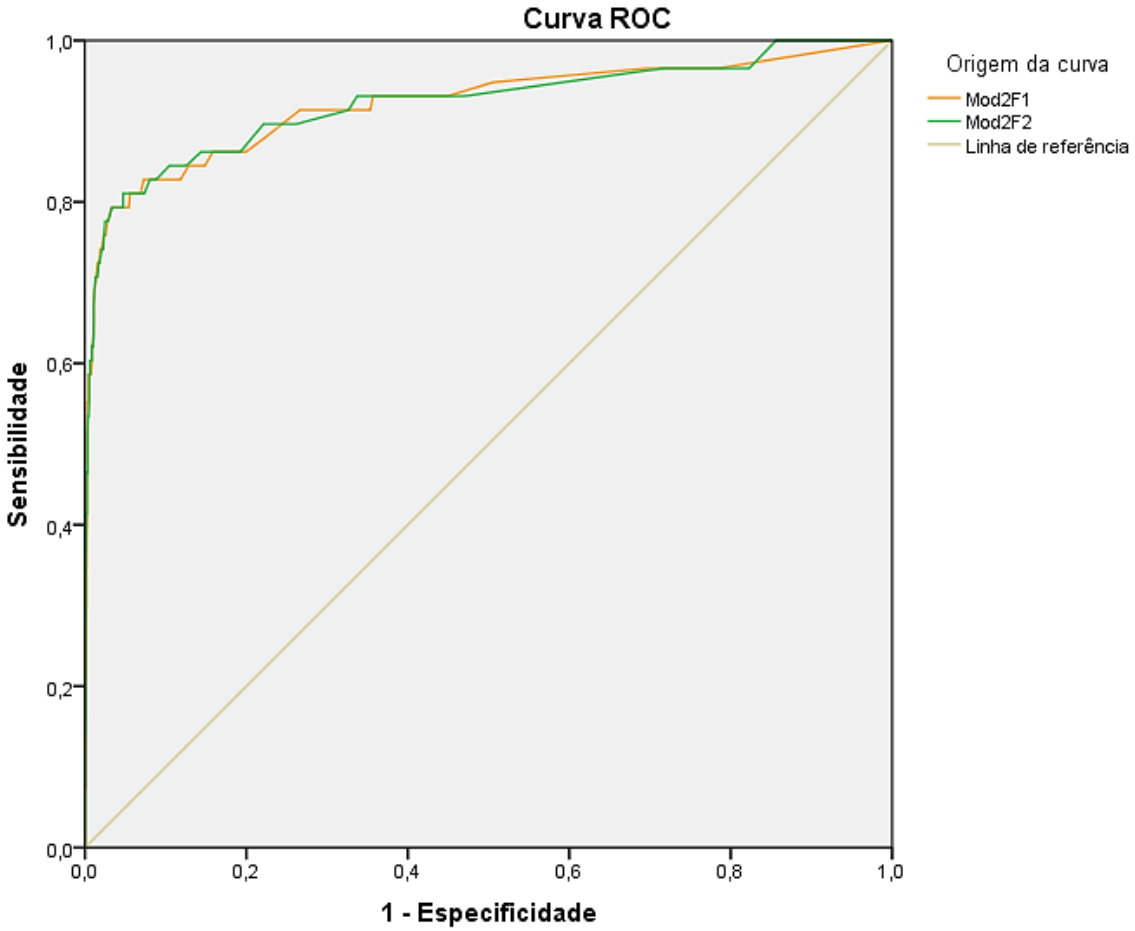
Para estimar a acurácia dos modelos apresentados neste trabalho, uma análise pela curva ROC (*Receiver Operator Characteristic*) foi realizada e o gráfico resultante está ilustrado nas Figura 48 e Figura 49.

Figura 48 - Curva ROC para os SIFs do modelo 1



Fonte: Próprio autor. Obs.: **Mod1F1**: modelo 1 usando *fuzzy* tipo-1; **Mod1F2**: modelo 1 usando *fuzzy* tipo-2 intervalar.

Figura 49 - Curva ROC para os SIFs do modelo 2



Fonte: Próprio autor. Obs.: **Mod2F1**: modelo 2 usando *fuzzy* tipo-1; **Mod2F2**: modelo 2 usando *fuzzy* tipo-2 intervalar.

A acurácia é dada pela área sob a curva. A Tabela 24 apresenta a acurácia de cada modelo, assim como o erro padrão e o intervalo no qual a acurácia se encontra para uma confiança de 95%.

Tabela 24 - Resultados obtidos da curva ROC

Variáveis de resultado de teste	Área sob a curva	Erro Padrão	Intervalo de Confiança 95%
Mod1F1	0,901	0,030	[0,841 0,960]
Mod1F2	0,908	0,029	[0,851 0,965]
Mod2F1	0,921	0,026	[0,871 0,971]
Mod2F2	0,923	0,025	[0,873 0,972]

Obs.: **Mod1F1**: modelo 1 usando *fuzzy* tipo-1; **Mod1F2**: modelo 1 usando *fuzzy* tipo-2 intervalar; **Mod2F1**: modelo 2 usando *fuzzy* tipo-1; **Mod2F2**: modelo 2 usando *fuzzy* tipo-2 intervalar

5 CONCLUSÃO

. O objetivo do trabalho era comparar o desempenho de um SIF1 com o de um SIF2 na estimação do risco de óbito para recém-nascidos. Foram apresentados quatro sistemas de inferência *fuzzy* para tal finalidade. Seus desempenhos foram avaliados em termos de acurácia usando-se curvas ROC.

Porém, não houve uma diferença muito relevante entre o desempenho do SIF1 e do SIF2, como ilustrado através da análise feita pela curva ROC. Uma explicação possível para isso é que os valores de algumas variáveis de entrada estão muito discretos e, por mais que se atribua uma incerteza às funções de pertinência, estes valores estarão sempre muito próximos aos pontos da função de pertinência onde o grau de pertinência é zero ou um.

De qualquer forma, os modelos apresentados obtiveram resultados excelentes de acordo com as curvas ROC, mostrando-se muito úteis na predição do risco de morte para os recém-nascidos. As curvas ROC geradas apontam uma acurácia por volta de 91%.

Esta ferramenta mostra-se, pela simplicidade e baixo custo, uma excelente alternativa para o auxílio na tomada de decisão relativa ao nível de cuidado necessário a um recém-nascido em ambientes onde há precariedade ou não há profissionais da saúde prontamente disponíveis para tal ação.

REFERÊNCIAS

ABDOLLAHIAN, M. The Impact of Body Mass Index on Low Birth Weight. In: **Information Technology: New Generations (ITNG), 2013 Tenth International Conference on**. IEEE, 2013. p. 567-572.

APGAR, Virginia et al. Evaluation of the newborn infant-second report. **Obstetrical & Gynecological Survey**, v. 14, n. 2, p. 207-208, 1959.

APGAR, Virginia. A proposal for a new method of evaluation of the newborn infant. **Anesthesia & Analgesia**, v. 32, n. 4, p. 260-267, 1953.

APGAR, Virginia. The newborn (Apgar) scoring system. **Pediatr Clin North Am**, v. 13, n. 3, p. 645-50, 1966.

BACAK, Stephen J. et al. Risk factors for neonatal mortality among extremely-low-birth-weight infants. **American journal of obstetrics and gynecology**, v. 192, n. 3, p. 862-867, 2005.

BARD, Harry. Assessing neonatal risk: CRIB vs SNAP. **The Lancet**, v. 342, n. 8869, p. 449-450, 1993.

BASKARAN, Vikraman et al. A Knowledge Management Based Approach for Mortality Prediction in the Neonatal Intensive Care Unit. In: **Developments in E-systems Engineering (DeSE), 2011**. IEEE, 2011. p. 122-125.

BASTOS, G. et al. A comparison of 4 pregnancy assessment scales (CRIB, SNAP, SNAP-PE, NTISS) in premature newborns. Clinical Risk Index for Babies. Score for Neonatal Acute Physiology. Score for Neonatal Acute Physiology-Perinatal Extension. Neonatal Therapeutic Intervention Scoring System]. **Acta médica portuguesa**, v. 10, n. 2-3, p. 161, 1997.

CASEY, Brian M.; MCINTIRE, Donald D.; LEVENO, Kenneth J. The continuing value of the Apgar score for the assessment of newborn infants. **New England Journal of Medicine**, v. 344, n. 7, p. 467-471, 2001.

CASTILLO, O.; MELIN, P. **Type-2 fuzzy logic: theory and applications**. Berlin: Springer,2008. 243 p.

CASTRO, Juan R.; CASTILLO, Oscar; MARTÍNEZ, Luis G. Interval Type-2 Fuzzy Logic Toolbox. **Engineering Letters**, v. 15, n. 1, p. 89-98, 2007.

CASTILLO, Oscar. Interval Type-2 Fuzzy Logic for Control Applications. In: **Granular Computing (GrC), 2010 IEEE International Conference on**. IEEE, 2010. p. 79-84.

CEYLAN, Rahime; ÖZBAY, Yüksel; KARLIK, Bekir. A novel approach for classification of ECG arrhythmias: Type-2 fuzzy clustering neural network. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 3, p. 6721-6726, 2009.

CHOURASIA, Vijay S.; TIWARI, Anil Kumar; GANGOPADHYAY, Ranjan. Interval type-2 fuzzy logic based antenatal care system using phonocardiography. **Applied Soft Computing**, 2013.

CHUMKLIN, Suraphon; AUEPHANWIRIYAKUL, Sansanee; THEERA-UMPON, Nipon. Microcalcification detection in mammograms using interval type-2 fuzzy logic system with automatic membership function generation. In: **Fuzzy Systems (FUZZ), 2010 IEEE International Conference on**. IEEE, 2010. p. 1-7.

COCKBURN, F. et al. The CRIB (Clinical Risk Index for Babies) SCORE-a tool for assessing initial neonatal risk and comparing performance of neonatal intensive-care units. **Lancet**, v. 342, n. 8865, p. 193-198, 1993.

DI LASCIO, Luigi; GISOLFI, Antonio; NAPPI, Aniello. Medical differential diagnosis through type-2 fuzzy sets. In: **Fuzzy Systems, 2005. FUZZ'05. The 14th IEEE International Conference on**. IEEE, 2005. p. 371-376.

DORLING, J. S.; FIELD, D. J.; MANKTELOW, B. Neonatal disease severity scoring systems. **Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition**, v. 90, n. 1, p. F11-F16, 2005.

DRAPER, Elizabeth S. et al. Prediction of survival for preterm births by weight and gestational age: retrospective population based study. **BMJ: British Medical Journal**, v. 319, n. 7217, p. 1093, 1999.

ERHARDT, Carl L. et al. Influence of weight and gestation on perinatal and neonatal mortality by ethnic group. **American Journal of Public Health and the Nations Health**, v. 54, n. 11, p. 1841-1855, 1964.

FANAROFF, Avroy A. et al. Trends in neonatal morbidity and mortality for very low birthweight infants. **American journal of obstetrics and gynecology**, v. 196, n. 2, p. 147. e1-147. e8, 2007.

FORTES FILHO, J. B. et al. Score for neonatal acute physiology and perinatal extension II as a predictor of retinopathy of prematurity: Study in 304 very-low-birth-weight preterm infants. **Ophthalmologica**, v. 223, n. 3, p. 177-182, 2009.

GAGLIARDI, L. et al. Assessing mortality risk in very low birthweight infants: a comparison of CRIB, CRIB-II, and SNAPPE-II. **Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition**, v. 89, n. 5, p. F419-F422, 2004.

GRAY, James E. et al. Neonatal therapeutic intervention scoring system: a therapy-based severity-of-illness index. **Pediatrics**, v. 90, n. 4, p. 561-567, 1992.

HAGRAS, Hani. Type-2 FLCs: a new generation of fuzzy controllers. **Computational Intelligence Magazine, IEEE**, v. 2, n. 1, p. 30-43, 2007.

INNOCENT, P. R.; JOHN, R. I. Type-2 fuzzy diagnosis. In: **Fuzzy Systems, 2002. FUZZ-IEEE'02. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on. IEEE**, 2002. p. 1326-1330.

DE JESUS, Lilia C. et al. Risk Factors for Post-Neonatal Intensive Care Unit Discharge Mortality among Extremely Low Birth Weight Infants. **The Journal of pediatrics**, v. 161, n. 1, p. 70-74. e2, 2012.

JOHN, Robert Ivor; INNOCENT, Peter R.. ; BARNES, M. R. Neuro-fuzzy clustering of radiographic tibia image data using type 2 fuzzy sets. **Information Sciences**, v. 125, n. 1, p. 65-82, 2000.

JOHN, Robert; COUPLAND, Simon. Type-2 fuzzy logic: A historical view. **Computational Intelligence Magazine, IEEE**, v. 2, n. 1, p. 57-62, 2007.

KAARESEN, P. I. et al. The use of CRIB (clinical risk index for babies) score in auditing the performance of one neonatal intensive care unit. **Acta Paediatrica**, v. 87, n. 2, p. 195-200, 1998.

KARNIK, Nilesh N.; MENDEL, Jerry M. Centroid of a type-2 fuzzy set. **Information Sciences**, v. 132, n. 1, p. 195-220, 2001.

KARNIK, Nilesh N.; MENDEL, Jerry M.; LIANG, Qilian. Type-2 fuzzy logic systems. **Fuzzy Systems, IEEE Transactions on**, v. 7, n. 6, p. 643-658, 1999.

LAWN, Joy E.; COUSENS, Simon; ZUPAN, Jelka. 4 million neonatal deaths: when? Where? Why?. **The Lancet**, v. 365, n. 9462, p. 891-900, 2005.

LIANG, Qilian; MENDEL, Jerry M. Interval type-2 fuzzy logic systems: theory and design. **Fuzzy Systems, IEEE Transactions on**, v. 8, n. 5, p. 535-550, 2000.

LUBCHENCO, Lula O.; SEARLS, D. T.; BRAZIE, J. V. Neonatal mortality rate: relationship to birth weight and gestational age. **The Journal of pediatrics**, v. 81, n. 4, p. 814-822, 1972.

MELGAREJO, Miguel; GARCÍA, Antonio; PEÑA-REYES, Carlos A. Architectural proposal and hardware realization of a type-2 fuzzy inference sytem. In: **Fuzzy Logic and Neuronal Networks**, **2004. X Workshop IBERCHIP**, 2004

MENDEL, Jerry M. Type-2 fuzzy sets and systems: an overview. **Computational Intelligence Magazine, IEEE**, v. 2, n. 1, p. 20-29, 2007.

MENDEL, Jerry M. Type-2 fuzzy sets: some questions and answers. **IEEE Connections, Newsletter of the IEEE Neural Networks Society**, v. 1, p. 10-13, 2003.

MENDEL, Jerry M.; JOHN, Robert Ivor; LIU, Feilong. Interval type-2 fuzzy logic systems made simple. **Fuzzy Systems, IEEE Transactions on**, v. 14, n. 6, p. 808-821, 2006.

MENDEL, Jerry M.; JOHN, RI Bob. Type-2 fuzzy sets made simple. **Fuzzy Systems, IEEE Transactions on**, v. 10, n. 2, p. 117-127, 2002.

NASCIMENTO, Luiz Fernando C.; RIZOL, Paloma Maria S. Rocha; ABIUZI, Luciana B. Establishing the risk of neonatal mortality using a fuzzy predictive model. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 9, p. 2043-2052, 2009.

OZEN, Turhan; GARIBALDI, Jonathan M. Investigating adaptation in type-2 fuzzy logic systems applied to umbilical acid-base assessment. In: **European symposium on intelligent technologies, hybrid systems and their implementation on smart adaptive systems (EUNITE 2003), Oulu, Finland**. 2003. p. 10-12.

PARRY, Gareth; TUCKER, Janet; TARNOW-MORDI, William. CRIB II: an update of the clinical risk index for babies score. **The Lancet**, v. 361, n. 9371, p. 1789-1791, 2003.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, 2012**. Disponível em <http://www.pnud.org.br/ODM.aspx> Acesso em: 20 nov. 2013.

POLLACK, Murray M.; RUTTIMANN, Urs E.; GETSON, Pamela R. Pediatric risk of mortality (PRISM) score. **Critical care medicine**, v. 16, n. 11, p. 1110-1116, 1988.

PORTAL DA SAÚDE (a). **Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (SINASC)**. Disponível em <http://portal.saude.gov.br/portal/saude/visualizar_texto.cfm?idtxt=21379>. Acesso em: 25 nov. 2013.

PORTAL DA SAÚDE (b). **Sistema De Informação Sobre Mortalidade (Sim)**. Disponível em: <http://svs.aids.gov.br/cgiae/sim/>. Acesso em: 25 nov. 2013.

PROCIANOY, R. S. et al. CRIB e peso de nascimento: qual o melhor preditor de mortalidade em recém nascidos de muito baixo peso. In: **Anais do 17º Congresso Brasileiro de Perinatologia 2001, 10-14 nov. Florianópolis**. 2001. p. 187.

RAUTONEN, Jukka et al. CRIB and SNAP: assessing the risk of death for preterm neonates. **The Lancet**, v. 343, n. 8908, p. 1272-1273, 1994.

RICHARDSON, Dougbas K. et al. Birth weight and illness severity: independent predictors of neonatal mortality. **Pediatrics**, v. 91, n. 5, p. 969-975, 1993.

RICHARDSON, D. K.; TARNOW-MORDI, W. O.; ESCOBAR, G. J. Neonatal risk scoring systems: Can they predict mortality and morbidity?. **Clinics in perinatology**, v. 25, n. 3, p. 591-611, 1998.

RIZOL, Paloma Maria Silva Rocha. **Arquitetura de um controlador fuzzy tipo-2 intervalar em hardware analógico**. 2011. 214f. Tese de Doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação, Área de Dispositivos e Sistemas Eletrônicos – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

ROOTH, Gösta. Low birthweight revised. **The Lancet**, v. 315, n. 8169, p. 639-641, 1980.

SCOTTISH, Neonatal Consultants' Collaborative Study Group and the International Neonatal Network. CRIB (clinical risk index for babies), mortality, and impairment after neonatal intensive care. **Lancet (London, England)**, v. 345, n. 8956, p. 1020-1022, 1995.

TAN, Woei Wan; FOO, Chek Liang; CHUA, Teck Wee. Type-2 fuzzy system for ECG arrhythmic classification. In: **Fuzzy Systems Conference, 2007. FUZZ-IEEE 2007. IEEE International**. IEEE, 2007. p. 1-6.

THE WORLD BANK GROUP. In: Indicadores. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator>. Acesso em: 25 nov. 2013.

THOVUTIKUL, Sutasinee; AUEPHANWIRIYAKUL, Sansanee; THEERA-UMPON, Nipon. Microcalcification detection in mammograms using interval type-2 fuzzy logic system. In: **Fuzzy Systems Conference, 2007. FUZZ-IEEE 2007. IEEE International**. IEEE, 2007. p. 1-5.

UNICEF et al. Committing to child survival: a promise renewed. **Progress Report**, v. 2013, 2013.

UN DEPARTMENT OF PUBLIC INFORMATION. **Fact Sheet for Child Mortality September 2013.**

WU, Hongwei; MENDEL, Jerry M. Introduction to uncertainty bounds and their use in the design of interval type-2 fuzzy logic systems. In: **Fuzzy Systems, 2001. The 10th IEEE International Conference on**. IEEE, 2001. p. 662-665.

ZADEH, Lotfi A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZADEH, Lotfi A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. **Information sciences**, v. 8, n. 3, p. 199-249, 1975.