

PAULA FERREIRA DE ALMEIDA

**Modelos computacionais *fuzzy* tipo-2 intervalar para avaliar efeitos
da poluição do ar em crianças**

Paula Ferreira de Almeida

**Modelos computacionais *fuzzy* tipo-2 intervalar para avaliar efeitos
da poluição do ar em crianças**

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:

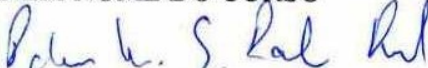
Prof^a. Dr^a. Paloma Maria Silva Rocha Rizol

A447m	Almeida, Paula Ferreira de Modelos computacionais Fuzzy Tipo-2 Intervalar para avaliar efeitos da poluição do ar em crianças / Paula Ferreira de Almeida – Guaratinguetá, 2018. 46 f : il. Bibliografia: f. 45-46 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Paloma Maria Silva Rocha Rizol 1. Lógica difusa. 2. Ar – Poluição. 3. Fatores climáticos. I. Título. CDU 510.6
-------	---

PAULA FERREIRA DE ALMEIDA

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

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO


Prof. Dra. PALOMA M. S. ROCHA RIZOL
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


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


Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
UNESP-FEG


Prof.^a. M. Sc. LUCIANA CRISTINA POMPEO FERREIRA DA SILVA VIEIRA
UNESP-FEG

de modo especial, à minha mãe Mara,
ao meu pai Paulo, à minha família e aos
meus amigos por todo o apoio recebido.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha família que esteve sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos de minha vida.

à minha orientadora, *Prof. Dra. Paloma Maria da Silva Rocha Rizol* por todo o suporte durante o desenvolvimento desse trabalho e pela ajuda prestada ao longo de minha graduação.

aos meus pais *Mara e Paulo*, que buscaram com frequência oferecer as melhores oportunidades para eu poder construir a carreira que desejei.

aos meus amigos que me aturaram durante toda essa etapa universitária.

aos professores que tive durante a graduação que me auxiliaram para me tornar um profissional de excelência.

"A educação e o ensino são as mais poderosas armas que podemos usar para mudar o mundo."

Nelson Mandela

RESUMO

A exposição a poluentes do ar combinada com fatores climáticos pode estar associada a internações por doenças respiratórias em crianças. Este trabalho apresenta a construção de um modelo computacional utilizando a lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar. O modelo tem quatro entradas, cada uma com duas funções de pertinência, obtendo assim 16 regras, e a saída com cinco funções de pertinência, baseado no método Mamdani para estimar o número de internações por doenças respiratórias em crianças de acordo com os poluentes atmosféricos e variáveis climáticas. O estudo foi realizado no período de 2011 e 2013, na cidade de São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil. As entradas PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento foram obtidos no banco de dados da Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) e a saída é o número de internações por doenças respiratórias foi obtido no Datasus (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde). No período estudado foram registradas 1015 internações, com média de 1,53 (dp = 1,55), e a média dos poluentes foi de 36µg/m³ do PM₁₀ e 51µg/m³ do NO₂. Comparado ao modelo *fuzzy* tipo-1 desenvolvido com a mesma base de dados, esse modelo se mostrou melhor, pois obteve uma correlação de Pearson maior. O modelo se mostrou eficaz na predição do número de internações e pode ser utilizado como base de sistema especialista, que pode auxiliar o gestor municipal na avaliação do risco de internações em função dos poluentes do ar e fatores climáticos.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar. Poluentes do ar. Fatores climáticos. Doenças respiratórias.

ABSTRACT

Exposure to air pollutants combined with climatic factors may be associated with hospitalizations for respiratory diseases of children. This work presents the construction of a computational model using the interval-type fuzzy type-2 logic. The model has four inputs, each with two pertinence functions, thus obtaining 16 rules, and the five-function output, based on the Mamdani method to estimate the number of hospitalizations for respiratory diseases in children according to air pollutants and climatic variables. The study was carried out in the period of 2011 and 2013, in the city of São José do Rio Preto, São Paulo, Brazil. The inputs PM_{10} , NO_2 , temperature and wind speed were obtained from the database of Cetesb (Environmental Company of the State of São Paulo) and the number of hospitalizations for respiratory diseases was obtained from Datasus (Department of Information Technology of the Single System of health). During the study period, 1015 hospitalizations were recorded, with an average of 1.53 (dp = 1.55), and the mean of the pollutants was $36\mu g / m^3$ of PM_{10} and $51\mu g / m^3$ of NO_2 . Compared to the fuzzy type-1 model developed with the same database, this model was better, because it obtained a greater correlation of Pearson. The model proved to be effective in predicting the number of hospitalizations and can be used as the basis of a specialist system, which can assist the municipal manager in assessing the risk of hospitalizations due to air pollutants and climatic factors.

KEYWORDS: Fuzzy logic type-2 interval. Air pollutants. Climatic factors. Respiratory diseases.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura simplificada de um sistema de inferência <i>fuzzy</i>	18
Figura 2 – Estrutura simplificada de um sistema de inferência <i>fuzzy</i> tipo-2	20
Figura 3 – <i>Toolbox fuzzy</i> tipo-2	20
Figura 4 – Mancha de incerteza (FOU) do modelo computacional <i>fuzzy</i> tipo-2	21
Figura 5 – Exemplos de função de pertinência do modelo computacional <i>fuzzy</i> tipo-2	21
Figura 6 – Representação da mancha de incerteza (FOU)	22
Figura 7 – Mapa da cidade de São José do Rio Preto em destaque.....	23
Figura 8 – Caminho para obter planilha do Datasus	24
Figura 9 – Arquivo para baixar planilhas do Datasus	25
Figura 10 – Arquivos para <i>downloads</i> para obter planilhas do Datasus	26
Figura 11 – Imagem inicial do site da Cetesb	27
Figura 12 – Planilha desenvolvida no Excel	27
Figura 13 – Janela principal do sistema fuzzy tipo-2 com as variáveis de entrada e saída do sistema	28
Figura 14 – Função de pertinência para as variáveis de entrada PM ₁₀ , NO ₂ , temperatura e velocidade do vento com FOU 3 e função de pertinência <i>Itritype2</i>	31
Figura 15 - Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 3 e funções de pertinência <i>Itritype2</i> e <i>Itrapatype2</i>	31
Figura 16 – Função de pertinência para a variável de entrada PM ₁₀ , NO ₂ , temperatura e velocidade do vento com FOU 3 e função de pertinência <i>Itristype2</i>	32
Figura 17 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 3 e função de pertinência <i>Itristype2</i> e <i>Itrapstype2</i>	32
Figura 18 – Função de pertinência para a variável de entrada PM ₁₀ , NO ₂ , temperatura e velocidade do vento com FOU 5 e função de pertinência <i>Itritype2</i>	33
Figura 19 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 5 e função de pertinência <i>Itritype2</i> e <i>Itrapatype2</i>	33
Figura 20 – Função de pertinência para a variável de entrada PM ₁₀ , NO ₂ , temperatura e velocidade do vento com FOU 5 e função de pertinência <i>Itristype2</i>	34
Figura 21 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 5 e função de pertinência <i>Itristype2</i> e <i>Itrapstype2</i>	34
Figura 22 – Função de pertinência para a variável de entrada PM ₁₀ , NO ₂ , temperatura e velocidade do vento com FOU 7 e função de pertinência <i>Itritype2</i>	35

Figura 23 – Função de pertinência para saída (número de interações) com FOU 7 e função de pertinência <i>Itritype2</i> e <i>Itraptype2</i>	35
Figura 24 Função de pertinência para a variável de entrada PM ₁₀ , NO ₂ , temperatura e velocidade do vento com FOU 7 e função de pertinência <i>Itristype2</i>	36
Figura 25 – Função de pertinência para saída (número de interações) com FOU 7 e função de pertinência <i>Itristype2</i> e <i>Itrapstyp2</i>	36
Figura 26 – Distribuição de frequência das concentrações de (a) PM ₁₀ , (b) NO ₂ , (c) temperatura, (d) velocidade do vento e (e) número de interações.....	40
Figura 27 – Superfície do modelo <i>fuzzy</i> tipo-2 para as entradas PM ₁₀ e NO ₂	41
Figura 28 – <i>Rule View</i> para o modelo 1	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de entrada e seu universo de discurso.....	29
Tabela 2 – Universo de discurso do nível das entradas do modelo computacional <i>fuzzy</i> tipo-2 intervalar.....	29
Tabela 3 – Classificação utilizando conjunto <i>fuzzy</i> tipo-2 de saída	30
Tabela 4 – Base de Regras.....	30
Tabela 5 – Correlações de Pearson para os modelos computacionais apresentados	38
Tabela 6 – Valores médios, desvios padrão, mínimos e máximos das variáveis de entrada e saída do modelo	39
Tabela 7 – Correlações de Pearson para os modelos computacionais apresentados	40
Tabela 8 – Valores médios, desvios padrão, mínimos e máximos das variáveis de entrada e saída do modelo	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
FOU	Footprint of Uncertainty

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.4	PLANO DE TRABALHO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, FATORES CLIMÁTICOS E DOENÇAS RESPIRATÓRIAS	16
2.2	LÓGICA <i>FUZZY</i> TIPO-1	17
2.3.1	Fuzificação.....	18
2.3.2	Base de Regras	18
2.3.3	Inferência.....	19
2.3.4	Defuzificação	19
2.3	LÓGICA <i>FUZZY</i> TIPO-2	19
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	LOCAL DE ESTUDO	23
3.2	TIPO DE ESTUDO	24
3.2.1	Banco de Dados.....	24
3.2.2	Modelo Computacional <i>Fuzzy</i> Tipo-2	28
3.2.3	Obtenção de Valores.....	37
4	DISCUSSÃO	38
5	RESULTADOS	41
6	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nos dias atuais, uma das principais preocupações de pessoas que moram nas cidades está nos possíveis problemas que podem ocorrer devido à má qualidade do ar, principalmente em relação a doenças respiratórias que tem grande influência na qualidade de vida dos moradores (CÉSAR et al, 2016).

Segundo estudos, por conta da constante exposição de crianças e idosos a poluição atmosférica, o desenvolvimento de doenças respiratórias nos mesmos é maior. Outro fator que dificulta o tratamento e aumenta a chance de morte por doenças respiratórias é a localização de determinadas pessoas por conta da dificuldade de acesso a medicamentos e hospitais que podem minimizar e até mesmo curar os sintomas (GOUVEIA et al, 2006).

Aumenta anualmente o número de pessoas que precisam de hospitais ou postos de saúde para solucionar um problema respiratório. Os principais fatores que interferem nesse dado são as inúmeras mudanças nas diferenças de temperatura entre as estações no decorrer do ano, o constante aumento na quantidade de carros, ônibus e caminhões, além de outros veículos automotivos, por conta do constante crescimento da população, aumento no valor de micropartículas de poluentes nocivos à saúde.

Os poluentes nocivos à saúde mais estudados são material particulado, óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), dióxido de enxofre (SO_2), ozônio (O_3) e monóxido de carbono (CO), por conta da facilidade de acesso as suas medidas e do valor mais baixo dos equipamentos para as medições dos mesmos. Em geral as maiores fontes desses poluentes são automóveis, indústrias, termoelétricas e queima de biomassa. O PM_{10} são partículas sólidas em suspensão no ar, menores ou iguais a $10\mu\text{g}$, pode chegar até os alvéolos, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão. O NO_2 é um agente oxidante, capaz de chegar às porções periféricas do pulmão e é o precursor da formação de O_3 (ozônio), que é um gás instável e altamente reativo (RIBEIRO et al, 2008).

Este trabalho apresenta um modelo computacional *fuzzy* tipo-2 intervalar que estima o número de internação de crianças com até 10 anos de idade por doenças respiratórias de acordo com a exposição à poluição atmosférica.

1.2 JUSTIFICATIVA

A poluição atmosférica impacta diretamente na qualidade de vida dos moradores das cidades e da população como um todo, podendo provocar doenças do sistema respiratório que podem causar sequelas irreversíveis (CÉSAR et al, 2013).

A nível mundial, as doenças respiratórias, relacionadas diretamente ao aparelho respiratório, são um dos maiores problemas de saúde. O número de internações por doenças respiratórias em hospitais está cada vez maior e o gasto já tem sido exorbitante.

Segundo o Datasus (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde), no período de outubro de 2011 a setembro de 2013, houve cerca de 2,7 milhões de internações por doenças respiratórias no Brasil, onde aproximadamente 1,1 milhão de internações são de crianças até 10 anos de idade, sendo o estado de São Paulo responsável por cerca de 196 mil dessas internações. Os gastos com as internações por doenças respiratórias no país foram de aproximadamente 2,5 bilhões de reais, um terço desse valor foi gasto com internações de crianças até 10 anos no Brasil, sendo 173 milhões de reais gastos apenas no estado de SP (DATASUS, 2017).

Atualmente, a preocupação mudou de foco, por conta da evolução da medicina, que conseguiu dar maior tempo de vida a maior parte das pessoas em comparação com as décadas passadas, e passou a se concentrar nos efeitos colaterais. O coeficiente de mortalidade infantil tem sido utilizado internacionalmente como um dos principais indicadores da qualidade de vida da população. Dessa forma, a maior preocupação atualmente em relação à saúde da população é verificar e analisar as condições nas quais se vive no tempo que se ganha com a expectativa de vida (RIBEIRO et al, 2008).

Neste contexto, a seguir será apresentado o objetivo do trabalho desenvolvido.

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um Sistema de Inferência *Fuzzy* tipo-2 Intervalar utilizando o *toolbox fuzzy* tipo-2 do *software* MATLAB®, com base no banco de dados reais obtido no Datasus (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde) e na Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), que possibilite estimar o número de internações de crianças com até 10 anos por doenças respiratórias, com base nos dados de poluentes e fatores climáticos de São José do Rio Preto, SP, Brasil. Além de comparar os resultados obtidos no trabalho proposto que foi desenvolvido em 2010 que utilizou a lógica

fuzzy tipo-1. Além disso, neste trabalho será apresentado a comparação entre os tipos de funções de pertinência e a resposta do sistema variando a largura do FOU (mancha de incerteza).

1.4 PLANO DE TRABALHO

O trabalho foi dividido em cinco capítulos, sendo cada uma dessas partes fundamentais para o entendimento completo do estudo.

O capítulo um apresenta a revisão bibliográfica do tema estudado.

O capítulo dois apresenta a revisão teórica do trabalho, explicando os conceitos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo três aborda o passa-a-passo da implementação do modelo computacional.

O capítulo quatro mostra os resultados obtidos das simulações feitas na seção anterior.

O capítulo cinco apresenta a conclusão do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, FATORES CLIMÁTICOS E DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

A poluição atmosférica refere-se a mudanças na atmosfera terrestre susceptíveis de causar impacto ao ambiente ou a saúde humana, por meio da contaminação por gases, partículas sólidas, líquidos em suspensão, material biológico ou energia. A adição dos contaminantes pode provocar danos diretamente na saúde humana ou no ecossistema, podendo estes danos serem causados diretamente pelos contaminantes ou por elementos resultantes dos contaminantes (ARBEX, 2012).

Os contaminantes do ar provêm de diversas fontes, como fábricas, centrais termoelétricas, veículos motorizados, no caso de emissões provocadas pela atividade humana, podendo igualmente provir de meios naturais, como no caso de incêndios florestais, ou das poeiras dos desertos. Os poluentes são normalmente classificados como primários ou secundários. Os poluentes primários são os contaminantes diretamente emitidos no ambiente, como no caso dos gases dos automóveis, e os secundários resultam de reações dos poluentes primários na atmosfera. Nesse caso, o ozônio troposférico (O_3), resultantes de reações fotoquímicas entre os óxidos de azoto, monóxido de carbono ou composto orgânicos voláteis (CÉSAR et al, 2013).

A concentração dos contaminantes reduz-se à medida que estes são dispersos na atmosfera, o que depende de fatores climáticos, como a temperatura, velocidade do vento, o movimento de sistemas de alta e baixa pressão e a interação destes com a topografia local. A temperatura normalmente diminui com a altitude, mas quando uma camada de ar frio fica sob uma camada de ar quente produzindo uma inversão térmica, a dispersão ocorre muito lentamente e os contaminantes acumulam-se perto do solo (NEGRISOLI et al, 2013).

A poluição atmosférica causa impactos negativos na saúde humana, cujo o grau de incidência depende do nível de poluição, assim como dos poluentes envolvidos. Estudos recentes mostram que crianças sujeitas a níveis elevados de poluição atmosférica tem maior prevalência de sintomas respiratórios, sofrem com uma diminuição da capacidade pulmonar com o aumento de episódios de doença respiratória, podendo aumentar o absentismo nas escolas, assim como a capacidade de concentração (NASCIMENTO et al, 2014).

Segundo informações da OMS (Organização Mundial da Saúde), 2012, morreram no Brasil 26.241 pessoas com doenças relacionadas a poluição atmosférica. Os principais

sintomas da poluição do ar no ser humano são ardor nos olhos, coceira no nariz e irritação na garganta, além de sintomas mais graves como náuseas, vômitos e desmaios.

2.2 LÓGICA FUZZY TIPO-1

A lógica *fuzzy* foi proposta por Zadeh no ano de 1965. A lógica *fuzzy*, que também é conhecida como lógica nebulosa ou lógica difusa, modela o raciocínio humano de forma aproximada (CASTILLO, O.; MELIN, P., 2008). Zadeh desenvolveu a teoria de conjuntos *fuzzy* a partir dos conceitos de conjuntos da lógica clássica. Na lógica clássica um elemento pertence a um conjunto (1) ou não (0), na lógica *fuzzy* o grau de pertinência pode variar no intervalo entre 0 e 1, ou seja, nesse caso o elemento pode pertencer, não pertencer, ou pertencer parcialmente a um conjunto, isto faz com que o modelo fique mais próximo da realidade (CASTRO et al, 2007). Seis anos mais tarde, Ebrahim Mamdani aplicou a lógica *fuzzy* em um sistema de controle de uma caldeira (TANAKA, 1997).

Combinada com outras técnicas como redes neurais, sistemas especialistas e algoritmos genéticos, podem ser denominados de inteligência computacional (GOMIDE, 1994).

Quando existe um conjunto de pessoas com alturas diferentes, não é possível descrever fielmente a altura de uma pessoa com a classificação alta ou baixa. Isto vai depender do grupo de pessoas que está sendo analisado e, é preciso saber quão alta ou quão baixa é essa pessoa com relação ao grupo avaliado. Na lógica *fuzzy*, permitem que certo elemento possa pertencer parcialmente a mais de um conjunto, e assim fazem com que a representação seja a mais próxima da realidade. A lógica *fuzzy* pode trabalhar com a incerteza relacionada ao significado das palavras, ou seja: “As palavras podem ter diferentes significados para diferentes grupos de pessoas” (MENDEL, 2007).

O controle *fuzzy* busca modelar ações com a ajuda do conhecimento de um especialista, diferente dos métodos tradicionais de controle que modelam matematicamente os processos respondendo as ações por meio do estado atual que o processo em um dado instante (RIZOL, et al, 2017).

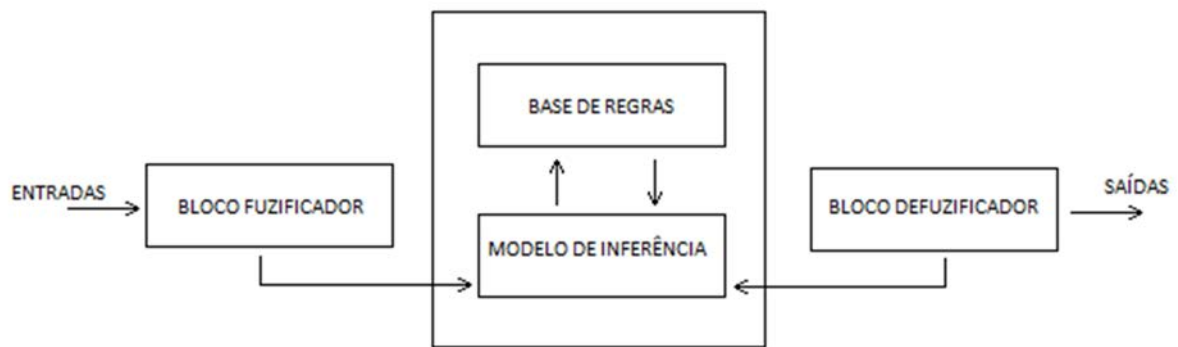
O controlador *fuzzy* é constituído de quatro blocos principais, conforme pode ser visto na Figura 1:

- *Fuzificador*;
- Base de Regras, também chamada de Base de Conhecimento;
- Inferência, ou tomada de decisões;

- *Defuzificador.*

Cada um desses módulos será apresentado com mais detalhes nas próximas seções.

Figura 1 – Estrutura simplificada de um sistema de inferência *fuzzy*



Fonte: Rizol (2017).

2.2.1 Fuzificação

A *fuzificação* consiste em converter os dados reais (ou “*crisp*”) em valores *fuzzy*. Após esse processo os valores passam a ser instâncias de variáveis linguísticas, sendo inseridas no bloco de Inferência (RIZOL et al, 2017). É a etapa na qual as variáveis linguísticas são definidas de forma subjetiva, bem como as funções de pertinência.

Engloba análise de problema, definição das variáveis, definição das funções de pertinência e criação das regiões.

2.2.2 Base de Regras

A base de regras é formada por um conjunto de regras proposicionais do tipo SE-ENTÃO. A declaração SE é denominada como “antecedente” e o ENTÃO como “consequente”. Na maioria dos casos os sistemas de inferência possuem dezenas de regras. Como por exemplo:

SE (temperatura é “quente”) ENTÃO (ar-condicionado está “baixo”)

A Base de Regras é construída com o auxílio de um especialista. A quantidade de regras é a combinação de todas as possíveis entradas. Por exemplo, em um sistema com duas entradas e cinco funções de pertinência por entrada, tem-se 25 regras (5x5).

2.2.3 Inferência

Na etapa de Inferência ocorre o processamento dos dados *fuzzy*, juntamente com as implicações das regras pré-estabelecidas, inferindo na ação do controlador. Pode-se determinar o grau de pertinência de uma regra a partir dos valores de entrada e tirar conclusões por essas variáveis. As denominadas máquinas de inferência podem ser do tipo Mamdani ou do Takagi-Sugeno (GOMIDE et al, 1994). Neste trabalho optou-se pela utilização o tipo Mamdani, também conhecido como máximo e mínimo, pela facilidade de implementação.

2.2.4 Defuzificação

Na *defuzificação* converte o valor *fuzzy* em um valor real (ou “*crisp*”). Os principais métodos de defuzificação são: Método Centro-da-Área e Método da Média dos Máximos. Nesta trabalho será utilizado o Centro-de-Área.

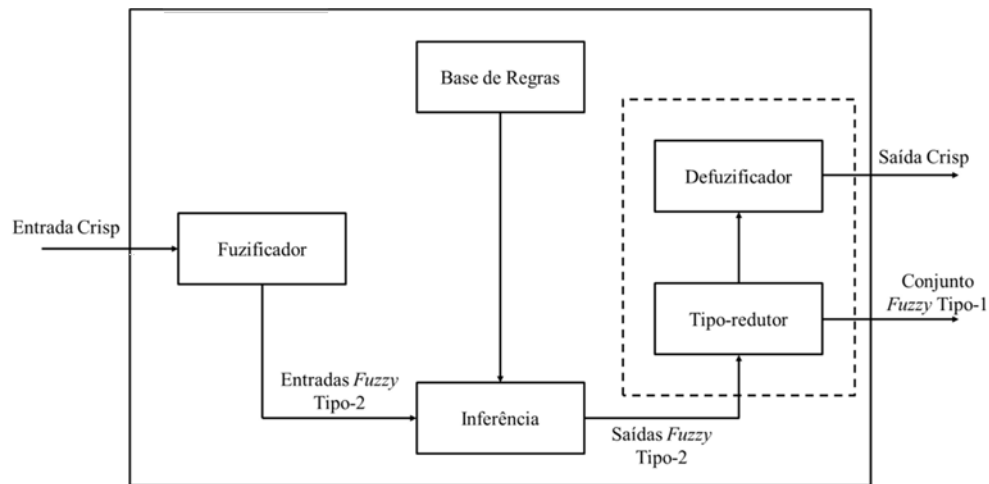
2.3 LÓGICA FUZZY TIPO-2

Zadeh introduziu, em 1975, a lógica *fuzzy* tipo-2, que nada mais é do que uma extensão da lógica *fuzzy* e/ou nebulosa tradicional (RIZOL, 2017). A lógica *fuzzy* tipo-2 trata as incertezas associadas aos conjuntos *fuzzy*, algo que não é analisado na lógica *fuzzy* tipo-1, viabilizando, a manipulação de termos imprecisos em toda sua extensão, inclusive na definição das funções de pertinência (CASTRO et al, 2007).

Os conjuntos *fuzzy* tipo-2 são úteis principalmente em situações onde é difícil determinar uma função de pertinência exata, ou ainda, onde há incertezas de medição (MENDEL, 2007). Dessa forma, com o sistema *fuzzy* tipo-2 é possível modelar e minimizar os efeitos da incertezas presentes no sistema *fuzzy* tipo-1.

Na Figura 2, é possível observar a estrutura simplificada de um sistema de inferência *fuzzy* tipo-2.

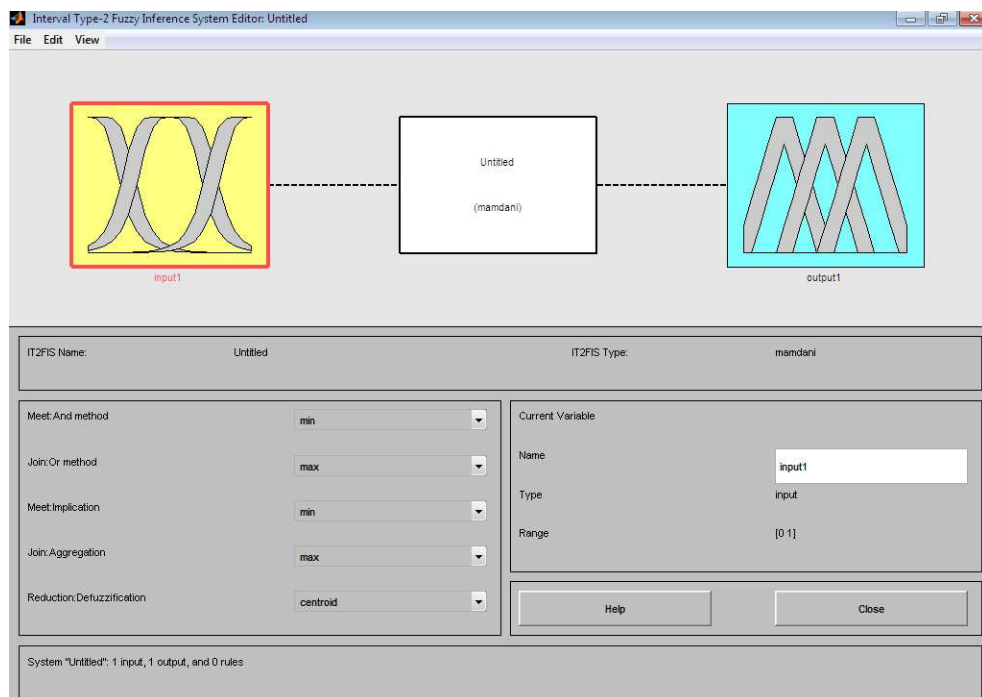
Figura 2 – Estrutura simplificada do sistema de inferência *fuzzy* tipo-2



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 3, é possível visualizar a tela inicial do *toolbox fuzzy* tipo-2.

Figura 3 – *Toolbox fuzzy* tipo-2.

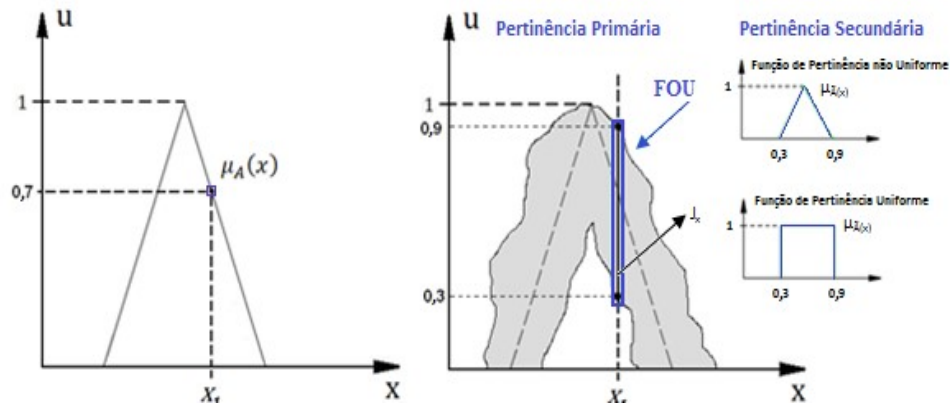


Fonte: Próprio autor.

A função de pertinência *fuzzy* tipo-2 é obtida quando é criada uma mancha de incerteza (FOU) que pode variar de 0 a 1, pode ser vista na Figura 4, em torno da função de pertinência

fuzzy tipo-1 (RIZOL et al, 2017). Na função *fuzzy* tipo-2, para um valor de x' , a função de pertinência u' pode assumir diferentes valores dentro dos limites da mancha de incerteza.

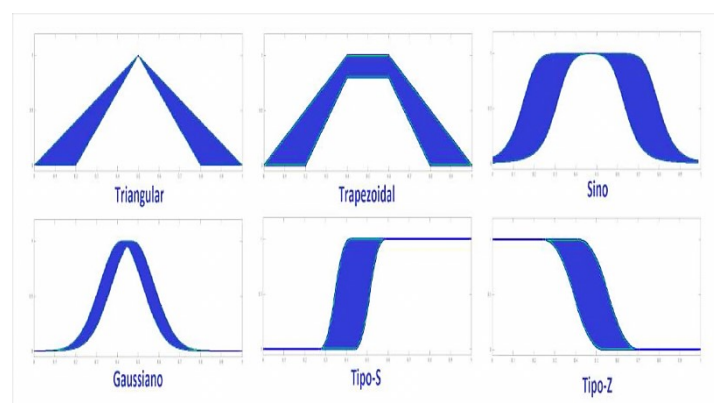
Figura 4 – Mancha de incerteza (FOU) do modelo computacional *fuzzy* tipo-2.



Fonte: Rizol (2017).

A função de pertinência *fuzzy* tipo-2, assim como o tipo-1, pode assumir diferentes formas. A seleção do formato da função de pertinência tipo-2 é subjetiva e depende da aplicação (RIZOL, 2012). A Figura 5, apresenta alguns exemplos, onde a área azul representa a FOU de cada função.

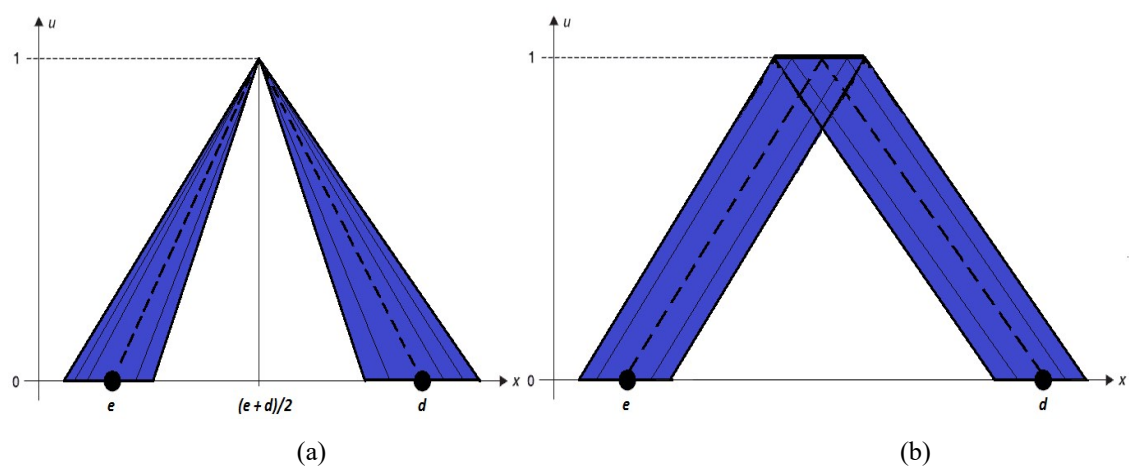
Figura 5 – Exemplos de função de pertinência do modelo computacional *fuzzy* tipo-2.



Fonte: Rizol (2012).

A mancha de incerteza (FOU) pode representar incerteza na posição e na largura, variando a inclinação da função de pertinência triangular. O exemplo pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Representação da mancha de incerteza (FOU).



Fonte: Rizol (2012).

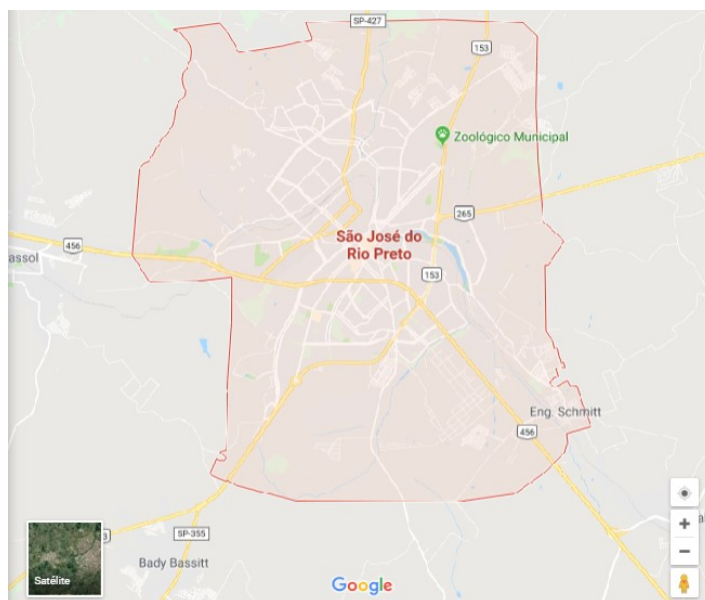
3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DE ESTUDO

São José do Rio Preto se localiza no interior do estado de São Paulo, à noroeste da capital (latitude: 20° 48' S e longitude: 49° 22' O), tendo aproximadamente 400 mil habitantes e uma frota de cerca de 340 mil veículos. São José do Rio Preto tem um perfil agroindustrial baseado principalmente em produção de açúcar e álcool, a partir da cana de açúcar, e de fabricação de móveis. De 1995/96 a 2007/08, houve um crescimento no plantio de cana de açúcar na região de 241%. Embora a cidade de São José do Rio Preto seja a principal fornecedora de serviços para a região, ainda é fortemente afetada pela poluição da queima de cana de açúcar e pelas estradas da região, tendo níveis de poluição comparáveis, e em alguns momentos maiores, aos níveis encontrados na região metropolitana de São Paulo, quebrando o paradigma de que cidades do interior têm necessariamente melhor qualidade do ar.

Na Figura 7, é possível observar o mapa da cidade de São José do Rio Preto em detalhe.

Figura 7 – Mapa da cidade de São José do Rio Preto em destaque.



Fonte: Google Maps (2018).

3.2 TIPO DE ESTUDO

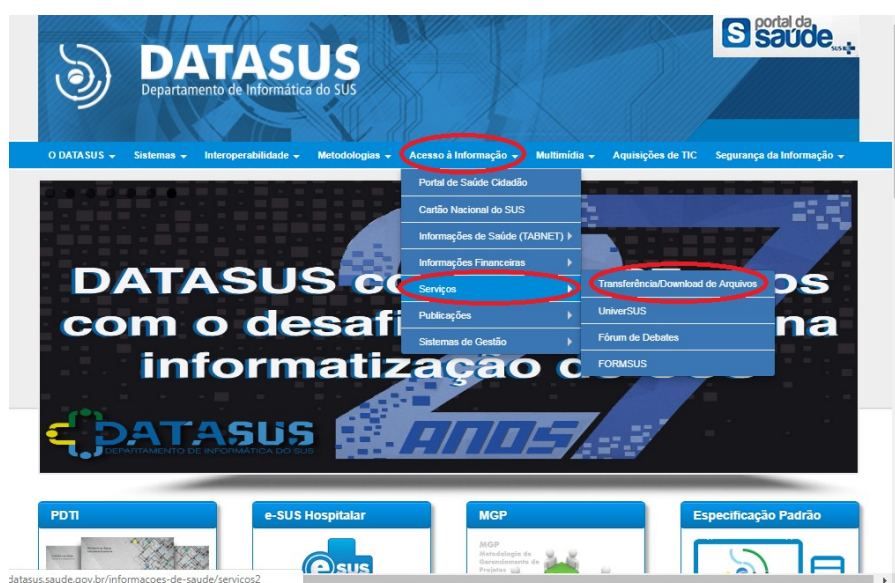
Para a realização do projeto foi construído um modelo preditivo baseado na lógica *fuzzy* tipo-2, com dados relativos a internações em crianças de até 10 anos de idade, ambos os sexos, residentes em São José do Rio Preto – SP, por doenças respiratórias do capítulo X da 10ª Revisão da Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados a Saúde (J00 – J99).

O período estudado foi de 01 de outubro de 2011 até 30 de setembro de 2013, onde esses dados foram obtidos do Datasus (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde). Para completar as informações do banco de dados também foram coletados os dados reais dos níveis dos poluentes ambientais como o PM₁₀ (material particulado) e NO₂ (dióxido de nitrogênio) e fatores climáticos como temperatura e velocidade do vento.

3.2.1 Banco de Dados

Os dados referentes ao número de internações por doenças respiratórias foram obtidos pelo site do Datasus: <http://datasus.saude.gov.br/>, em seguida clicando no menu “Acesso a Informação”, após na opção “Serviços” e depois em “Transferência/Download de Arquivos”, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Caminho para obter planilha do DATASUS.



Fonte: Datasus (2018).

Para definição do banco de dados no campo “Selecione uma ou mais modalidades de Arquivos para Download” a opção “Dados” foi selecionada, no campo “Selecione um ou mais tipos de Arquivo” a opção “RD – AIH Reduzida”, no campo “Selecione o Ano” as opções “2011”, “2012” e “2013” foram escolhidas separadamente, no campo “Selecione uma ou mais UF” a opção “SP” foi escolhida e no campo “Selecione um ou mais meses” todos os meses do ano foram escolhidos como opções. Essa segunda parte da rotina pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 – Arquivo para baixar planilhas do Datasus.

The screenshot shows the 'CONSULTA' (Query) section of the Datasus website. It contains several dropdown menus for selecting data parameters:

- Selecione uma ou mais modalidades de Arquivos para Download:** A dropdown menu with options: 'Arquivos Auxiliares de Tabulação', 'Dados' (selected), and 'Documentação'.
- Selecione um ou mais tipos de Arquivo:** A dropdown menu with options: 'RD - AIH Reduzida' (selected), 'RJ - AIH Rejeitadas', 'SP - Serviços Profissionais', and 'ER - AIH Rejeitadas com código de erro'.
- Selecione o Ano:** A dropdown menu with options: '2013' (selected), '2012', '2011', '2010', and '2009'.
- Selecione uma ou mais UF:** A dropdown menu with options: 'RO', 'RR', 'RS', 'SC', 'SE', 'SP' (selected), and 'TO'.
- Selecione um ou mais Meses:** A dropdown menu with options: 'Janeiro', 'Fevereiro', 'Março', 'Abril', 'Maio', 'Junho', and 'Julho' (all selected).

Fonte: Datasus (2018).

Em seguida, pode-se ver os links de parte dos arquivos para *Downloads* que podem ser vistos na Figura 10.

Figura 10 – Arquivos para *downloads* para obter planilhas do Datasus.

Arquivos para Download

☐ Marcar Todos

Seleccionados:

Digitar o nome do arquivo para compactação com a extensão (.zip ou .rar):

	Mês/Ano	Arquivo	Data Últ. Atualização	Tamanho
☐	12/13	RDSP1312.dbc	25/09/14	13,09 MB
☐	02/13	RDSP1302.dbc	25/09/14	13,17 MB
☐	01/13	RDSP1301.dbc	25/09/14	13,84 MB
☐	11/13	RDSP1311.dbc	25/09/14	13,87 MB
☐	03/13	RDSP1303.dbc	25/09/14	13,90 MB
☐	06/13	RDSP1306.dbc	25/09/14	14,29 MB
☐	07/13	RDSP1307.dbc	25/09/14	14,43 MB
☐	09/13	RDSP1309.dbc	25/09/14	14,48 MB
☐	05/13	RDSP1305.dbc	25/09/14	14,69 MB
☐	04/13	RDSP1304.dbc	25/09/14	14,72 MB
☐	08/13	RDSP1308.dbc	25/09/14	14,97 MB
☐	10/13	RDSP1310.dbc	25/09/14	14,99 MB
☐	01/11	RDSP1101.dbc	01/11/13	12,96 MB

Fonte: Datasus (2018).

Os arquivos baixados no site do Datasus pela rotina definida anteriormente vêm compactados em (.dbc) são expandidos utilizando o programa TabWin, esse programa também está disponível no site do Datasus, para (.dbf).

Após a obtenção dos bancos de dados necessários, foi feita a filtragem dos dados e, por fim, a contagem do número total de internações dia a dia para o tempo determinado anteriormente.

Os dados utilizados como entrada para o modelo desenvolvido foram: PM_{10} , NO_2 , temperatura e velocidade do vento. Esses dados foram obtidos no site da Cetesb pelo link <https://cetesb.sp.gov.br/>. Na Figura 11 é possível verificar a imagem inicial do site da Cetesb. Os dados utilizados nesse trabalho foram os mesmo do trabalho desenvolvido em 2010, que utilizou a lógica *fuzzy*tipo-1 para estudar o efeito dos poluentes e dados climáticos em internações de crianças de até 10 anos por doenças respiratórias (DAVID, et al, 2018).

Figura 11 – Imagem inicial do site da Cetesb.



Fonte: Cetesb (2018).

Por fim, foi inserido os dados do modelo. Esses dados podem ser vistos na Figura 12, em comparação com os dados de entrada do modelo.

Figura 12 – Planilha desenvolvida no Excel

	A	B	C	D	E
1	PM10 (cetesb)	NO2 (cetesb)	VENTO	TEMP	INTERNAÇÕES
2	72	40	2.6	35.5	3
3	28	23	2.4	28.4	2
4	24	46	2.3	30	2
5	39	66	3.2	33.3	3
6	45	29	3.6	29.4	3
7	29	66	2.5	32.5	2
8	39	65	2.8	33.6	3
9	37	29	2.9	35.7	1
10	22	24	3.1	33.3	2
11	19	69	2.4	30.8	3
12	31	59	1.9	33.9	1
13	32	55	2.7	35.5	0
14	16	34	3.2	29.6	1
15	18	56	2.7	28.9	3
16	11	18	2.8	30.9	0
17	11	19	2.5	28.8	2
18	17	27	3.1	27.8	0
19	29	26	3.9	29.9	1
20	38	34	3.3	29.9	2
21	50	36	3.1	30.1	1
22	53	40	3.2	30.8	1
23	33	18	3.4	26.4	4
24	14	21	3.2	23.3	0
25	20	45	2.2	32.1	1
26	29	36	3.7	34	2
27	24	63	1.6	27.7	2
28	31	66	1.6	31.9	1
29	44	92	2.3	34.7	2
30	57	43	2.6	35.8	1
31	15	26	2.3	25	1
32	18	26	3	25.6	1
33	30	36	3.8	27.4	1
34	28	22	3.2	28.5	1
35	40	53	2.9	31.2	0
36	52	57	2.7	32.9	3

Fonte: Datasus e Cetesb (2018).

3.2.2 Modelo Computacional *Fuzzy* Tipo-2 Intervalar

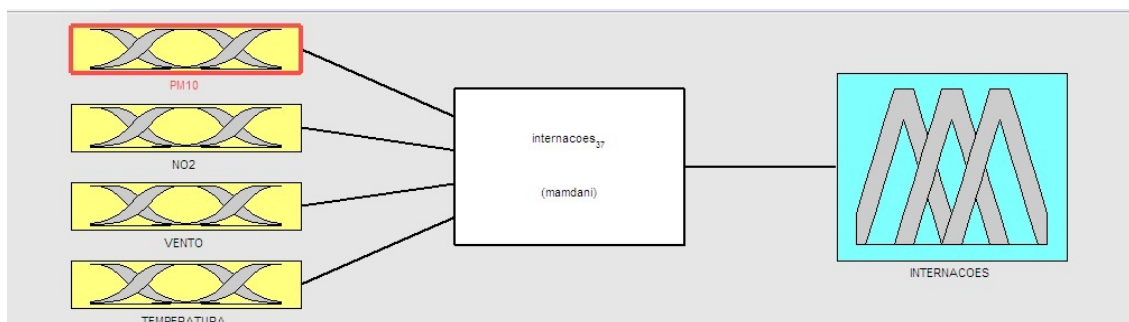
Neste tópico, pode-se verificar os dados de entrada e saída utilizados para elaborar o modelo computacional *fuzzy* tipo-2 intervalar. O objetivo principal do trabalho é apresentar um método que permita estimar o número de internações por doenças respiratórias em crianças de até 10 anos utilizando o sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 intervalar do tipo Mamdani.

Neste trabalho foram elaborados seis modelos computacionais *fuzzy* tipo-2, os três primeiros modelos utilizando as funções de pertinência *Itritype2* e *Itrapatype2* e os três últimos modelos utilizando as funções de pertinência *Itristype2* e *Itrapstype2*. Cada um dos tipos de funções foram feitos com as manchas de incerteza (FOU) nos valores 3, 5 e 7. Totalizando assim seis modelos *fuzzy* tipo-2. As entradas e saídas em todos os modelos foram as mesmas indicadas anteriormente, modificando a largura do FOU e/ou a função de pertinência entre os modelos.

O modelo foi desenvolvido utilizando o método de inferência proposto por Mandani e foi implementado utilizando o *software* computacional de *toolbox fuzzy* tipo-2 intervalar do Matlab (CASTRO, 2007).

Após a instalação do *toolbox fuzzy* tipo-2, no Matlab é necessário digitar o comando “it2fuzzy” para inicializar. A Figura 13 apresenta a janela principal do sistema *fuzzy* tipo-2 com as variáveis de entrada e saída do sistema.

Figura 13 – Janela principal do sistema *fuzzy* tipo-2 com as variáveis de entrada e saída do sistema.



Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 1, é apresentado universo de discurso das variáveis de entrada obtidas por meio de um banco de dados.

Tabela 1 – Dados de entrada e seu universo de discurso

Variável de Entrada	Variação
PM ₁₀ (µg/m ³)	0,00 – 145,00
NO ₂ (µg/m ³)	0,00 – 145,00
Temperatura (°C)	0,00 - 40
Velocidade do Vento (m/s ²)	0,00 – 4,50

Fonte: Próprio autor.

As entradas do modelo possuem duas funções de pertinência, no caso dos poluentes PM₁₀ e NO₂ foram classificados entre aceitável ou inaceitável, a temperatura possui variável linguística entre baixa ou alta e velocidade do vento foi classificada como fraca ou forte.

Na Tabela 2, é possível verificar como foi feita a classificação das variáveis de entrada do modelo. Para classificar as variáveis de entrada foi feita uma análise do banco de dados reais, para determinar o intervalo em que os índices de concentração dessas variáveis são aceitável ou inaceitável, baixa ou alta, ou, ainda, fraco ou forte, de acordo com o quanto prejudica a saúde do ser humano.

Tabela 2 – Universo de discurso do nível das entradas do modelo computacional *fuzzy* tipo-2 intervalar

PM ₁₀ (µg/m ³)		NO ₂ (µg/m ³)		Temperatura (°C)		Velocidade do Vento (m/s ²)	
Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação	Intervalo	Classificação
[0; 30]	Aceitável	[0; 30]	Aceitável	[0; 30]	Baixa	[0; 2]	Fraco
[30; 144]	Inaceitável	[30; 144]	Inaceitável	[30; 40]	Alta	[2; 4,5]	Forte

Fonte: Próprio autor.

A classificação da variável de saída obtida por meio de um banco de dados varia o número de interações de 0,00 a 9,00.

Na Tabela 3, é possível verificar como foi feita a classificação da saída do modelo. Para classificar a saída foi feita uma análise do banco de dados real, para determinar o intervalo do número de interações são muito baixo, baixo, médio, alto ou muito alto.

Tabela 3 – Classificação utilizando conjunto *fuzzy* tipo-2 de saída

Número de Internações	
Intervalo	Classificação
[0; 1]	Muito Baixo
[1; 2,5]	Baixo
[2,5; 3,5]	Médio
[3,5; 4,5]	Alto
[4,5; 9]	Muito Alto

Fonte: Próprio autor.

As quatro variáveis de entrada foram *fuzificadas* com duas funções de pertinência trapezoidais cada e a saída possui cinco funções de pertinência (duas trapezoidais e três triangulares), de acordo com o especialista. Assim, foram definidas 16 regras, o número de regras é baseado no número de funções de pertinência das entradas (no caso, $2 \times 2 \times 2 \times 2$). Na Tabela 4, é apresentada a base de regras que foi utilizada no modelo.

Tabela 4 – Base de Regras

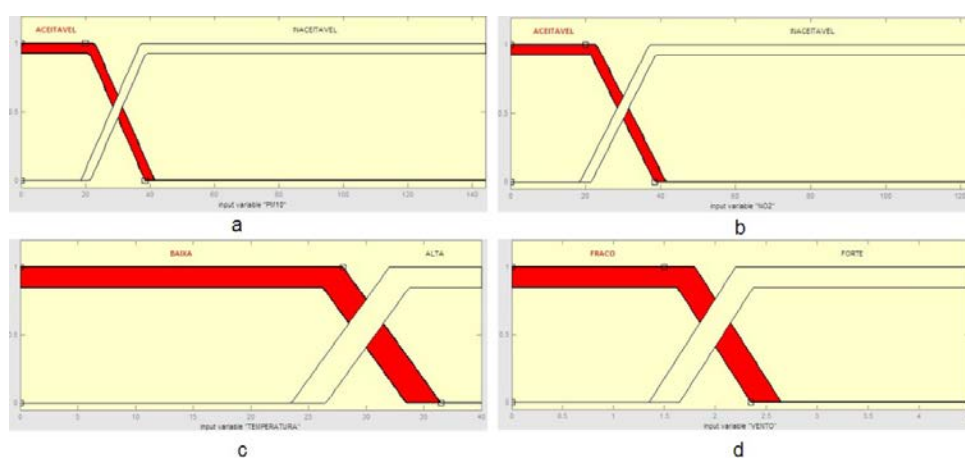
1. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Alta) então Internações é (Muito Baixo)
2. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Muito Baixo)
3. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Muito Baixo)
4. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Alta) então Internações é (Muito Baixo)
5. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Alta) então Internações é (Baixo)
6. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Alta) então Internações é (Médio)
7. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Médio)
8. Se PM_{10} é (Aceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Médio)
9. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Médio)
10. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Médio)
11. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Alta) então Internações é (Baixo)
12. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Aceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Alta) então Internações é (Baixo)
13. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Alta) então Internações é (Médio)
14. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Muito Alto)
15. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Forte) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Alto)
16. Se PM_{10} é (Inaceitável) e NO_2 é (Inaceitável) e Vento é (Frac) e Temperatura (Baixa) então Internações é (Alto)

Fonte: Próprio autor.

Modelo 1: FOU 3 com funções de pertinência do tipo *Itritype2* e *Itrapatype2*

Na Figura 14, pode-se observar a função de pertinência do tipo *Itrapatype2* para as variáveis de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento, respectivamente, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 3.

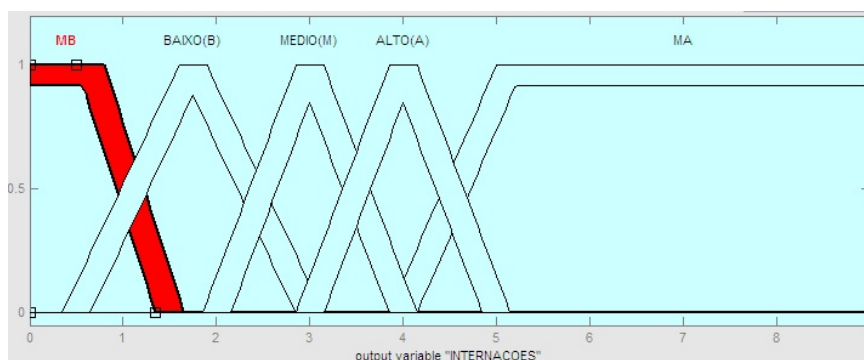
Figura 14 – Função de pertinência para as variáveis de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento com FOU 3 e função de pertinência *Itritype2*.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 15, pode-se observar as funções de pertinência do tipo *Itritype2* e *Itrapatype2* para saída número de internações por doenças respiratórias em crianças com até 10 anos, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 3.

Figura 15 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 3 e funções de pertinência *Itritype2* e *Itrapatype2*.

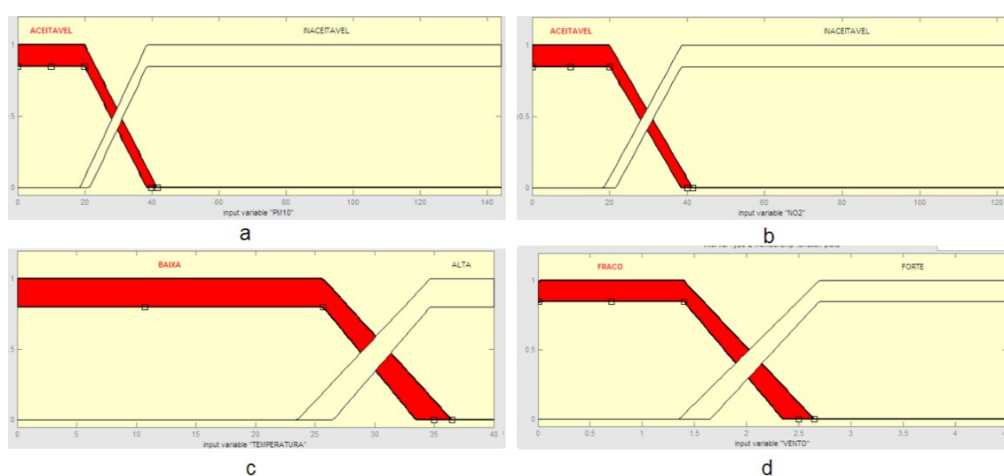


Fonte: Próprio autor.

Modelo 2: FOU 3 com funções de pertinência do tipo *Itristype2* e *Itrapstype2*

Nas Figuras 16, pode-se observar a função de pertinência do tipo *Itristype2* para as variáveis de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento, respectivamente, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 3.

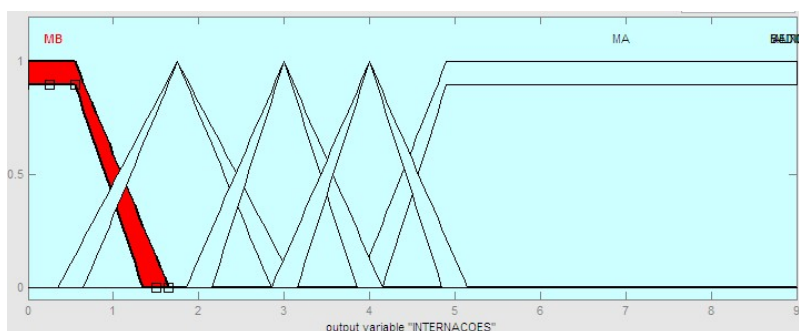
Figura 16 – Função de pertinência para a variável de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento com FOU 3 e função de pertinência *Itristype2*.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 17, pode-se observar as funções de pertinência do tipo *Itristype2* e *Itrapstype2* para saída número de internações por doenças respiratórias em crianças com até 10 anos, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 3.

Figura 17 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 3 e função de pertinência *Itristype2* e *Itrapstype2*.

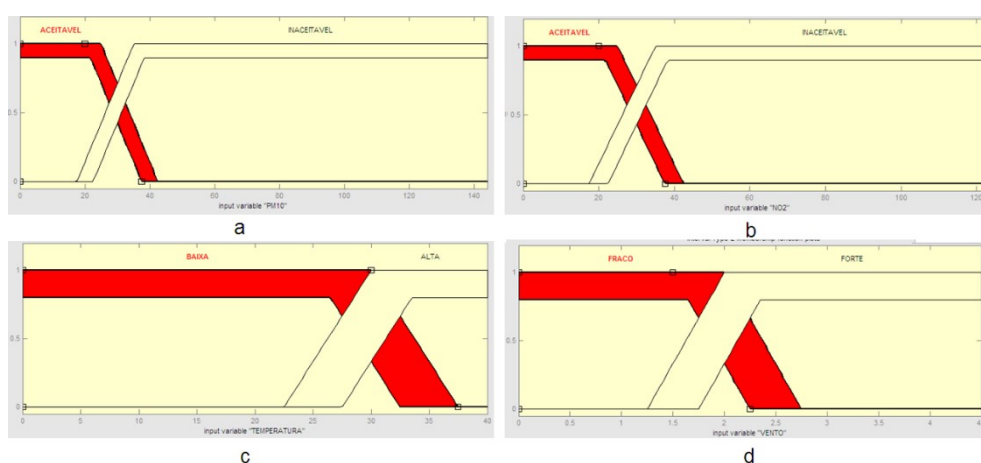


Fonte: Próprio autor.

Modelo 3: FOU 5 com funções de pertinência do tipo *Itritype2* e *Itrapatype2*

Nas Figuras 18, pode-se observar a função de pertinência do tipo *Itrapatype2* para as variáveis de entrada PM_{10} , NO_2 , temperatura e velocidade do vento, respectivamente, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 5.

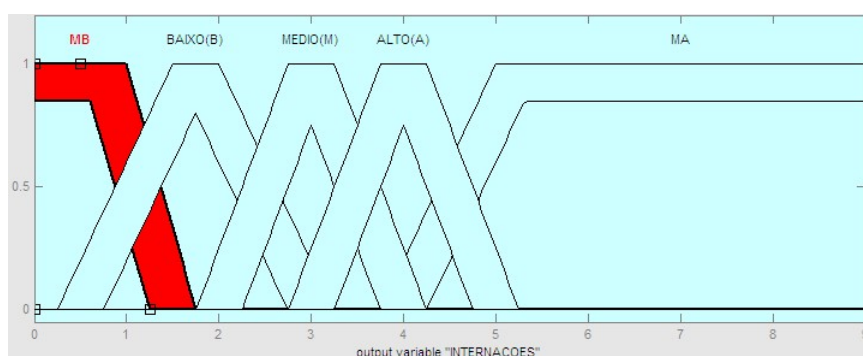
Figura 18 – Função de pertinência para a variável de entrada PM_{10} , NO_2 , temperatura e velocidade do vento com FOU 5 e função de pertinência *Itritype2*.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 19, pode-se observar as funções de pertinência do tipo *Itritype2* e *Itrapatype2* para saída número de internações por doenças respiratórias em crianças com até 10 anos, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 5.

Figura 19 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 5 e função de pertinência *Itritype2* e *Itrapatype2*.

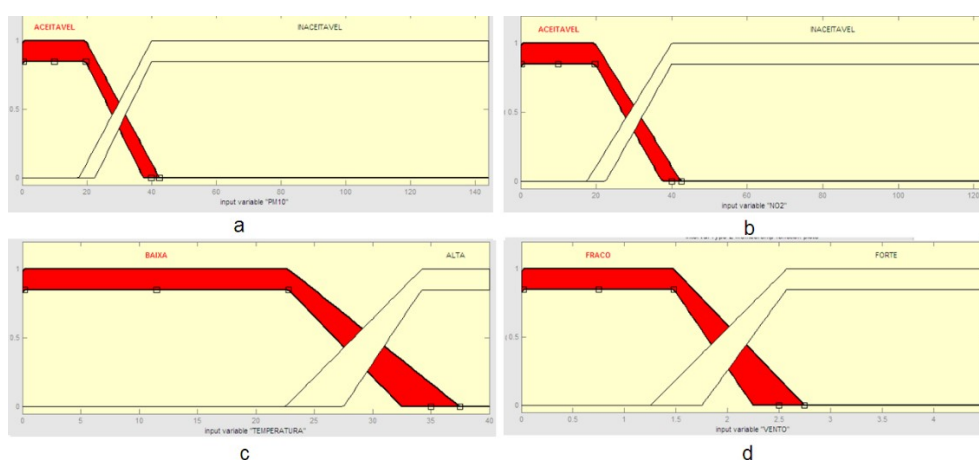


Fonte: Próprio autor.

Modelo 4: FOU 5 com funções de pertinência do tipo *Itristype2* e *Itrapstype2*

Nas Figuras 20, pode-se observar a função de pertinência do tipo *Itristype2* para as variáveis de entrada PM_{10} , NO_2 , temperatura e velocidade do vento, respectivamente, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 5.

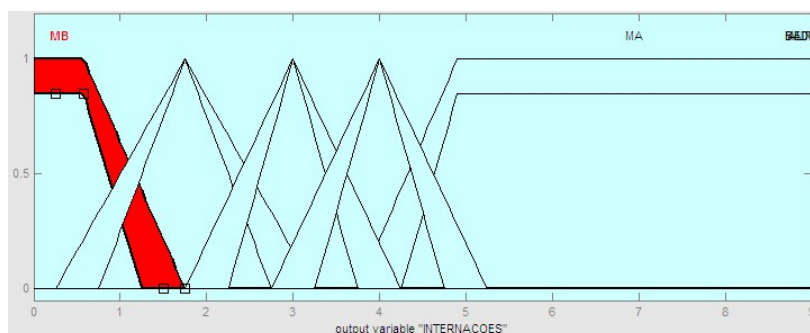
Figura 20 – Função de pertinência para a variável de entrada PM_{10} , NO_2 , temperatura e velocidade do vento com FOU 5 e função de pertinência *Itristype2*.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 21, pode-se observar as funções de pertinência do tipo *Itristype2* e *Itrapstype2* para saída número de internações por doenças respiratórias em crianças com até 10 anos, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 5.

Figura 21 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 5 e função de pertinência *Itristype2* e *Itrapstype2*.

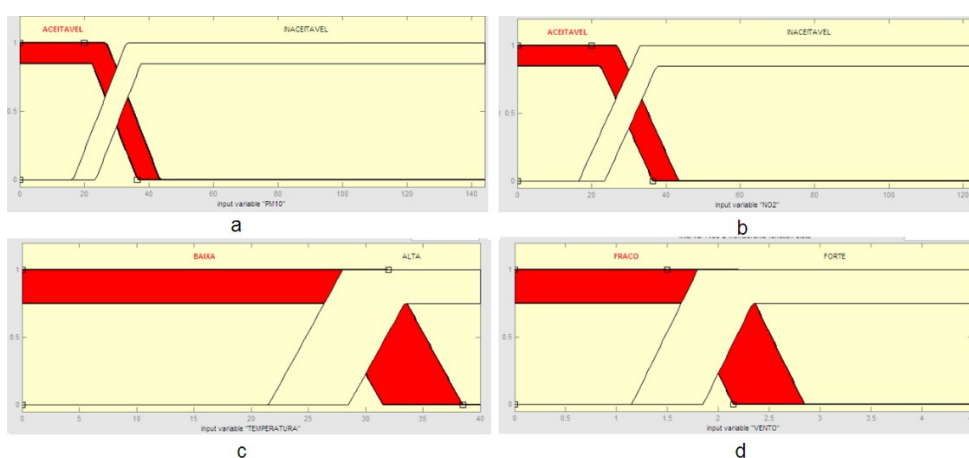


Fonte: Próprio autor.

Modelo 5: FOU 7 com funções de pertinência do tipo *Itritype2* e *Itrapatype2*

Nas Figuras 22, pode-se observar a função de pertinência do tipo *Itrapatype2* para as variáveis de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento, respectivamente, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 7.

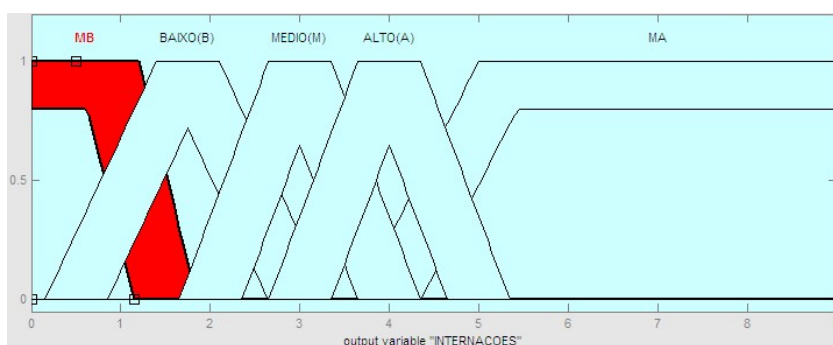
Figura 22 – Função de pertinência para a variável de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento com FOU 7 e função de pertinência *Itritype2*.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 23, pode-se observar as funções de pertinência do tipo *Itritype2* e *Itrapatype2* para saída número de internações por doenças respiratórias em crianças com até 10 anos, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 7.

Figura 23 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 7 e função de pertinência *Itritype2* e *Itrapatype2*.

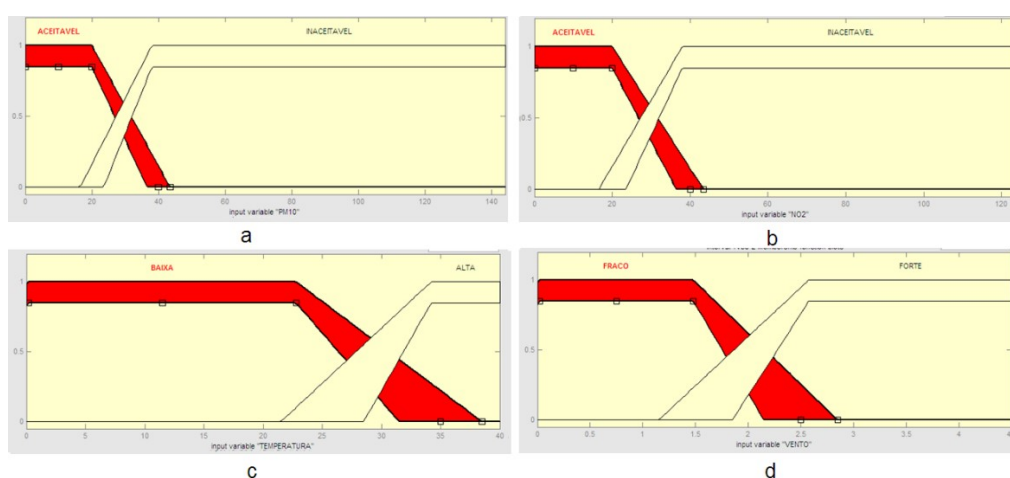


Fonte: Próprio autor.

Modelo 6: FOU 7 com funções de pertinência do tipo *Itristype2* e *Itrapstype2*

Nas Figuras 24, pode-se observar a função de pertinência do tipo *Itristype2* para as variáveis de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento, respectivamente, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 7.

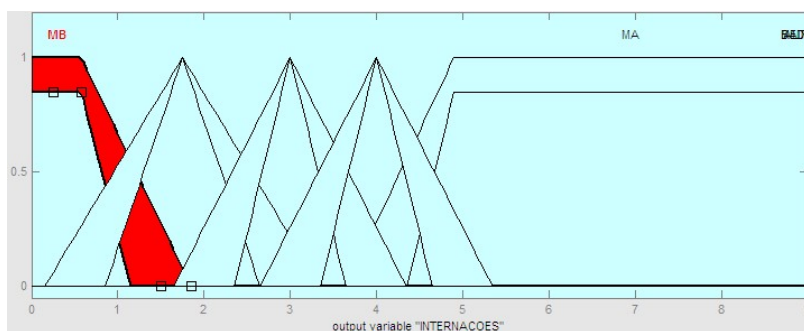
Figura 24 – Função de pertinência para a variável de entrada PM₁₀, NO₂, temperatura e velocidade do vento com FOU 7 e função de pertinência *Itristype2*.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 25, pode-se observar as funções de pertinência do tipo *Itristype2* e *Itrapstype2* para saída número de internações por doenças respiratórias em crianças com até 10 anos, levando em consideração a mancha de incerteza (FOU) no valor 7.

Figura 25 – Função de pertinência para saída (número de internações) com FOU 7 e função de pertinência *Itristype2* e *Itrapstype2*.



Fonte: Próprio autor.

3.2.3 Obtenção de Valores

Para a obtenções dos valores para o modelo, o Matlab possui uma rotina (*ddeinit*) que permite gerar uma saída numérica para o modelo *fuzzy* tipo-2 intervalar que foi elaborado. Com a utilização dessa rotina é possível comparar os valores obtidos do banco de dados real com os resultados obtidos pelo modelo computacional *fuzzy* tipo-2. Essa rotina é desenvolvida de acordo com os seguintes passos:

O primeiro passo estabelece uma conexão entre o Matlab e a planilha no Excel desenvolvida para o modelo apresentado.

1. *planilha=ddeinit ('excel','C:\Users\Desktop\Numero_internação.xlsx:Plan1');*

O segundo passo define quais valores (levando em consideração a quantidade de linhas e colunas) que deverão ser considerados no modelo apresentado.

2. *dados=ddereq (planilha,'l1c1:l290c5');*

O terceiro passo lê automaticamente a matriz de Excel que foi criada no comando anterior e o modelo *fuzzy* tipo-2 que foi criado, onde 'Numero_de_Internacao' é o nome do sistema *fuzzy* tipo-2.

3. *fuzzy2=readfis ('Numero_de_Internacoes');*

O último passo gera uma matriz de resultados de saída do modelo *fuzzy* chamada 'outputf2', onde 'dados' é o nome da matriz gerada pelo comando 'ddereq'.

4. *outputf2=evalifistype2 (dados, fuzzy2);*

Para que os comandos sejam efetivos, é necessário que o arquivo do Excel e o arquivo criado no toolbox *fuzzy* tipo-2 devem estar abertos e salvos na mesma pasta com os nomes descritos nos comandos utilizados.

Seguindo os comandos mostrados, é possível avaliar o Sistema de Inferência *Fuzzy* Tipo-2 Intervalar Mamdani implementado nesse projeto, realizando a correlação entre os dados obtidos do banco de dados real e dos dados obtidos do modelo computacional *fuzzy* tipo-2.

4 DISCUSSÃO

No período de tempo considerado para esse trabalho, ocorreram 1015 internações por doenças respiratórias em crianças de até 10 anos de idade residentes no município de São José do Rio Preto, SP, gerando um gasto de cerca de 1,7 milhões de reais em internações, ou seja, aproximadamente 1% do gasto do estado de São Paulo com internações por doenças respiratórias em crianças.

Para validação dos diferentes tipos de modelos apresentados anteriormente, foi realizada a correlação de Pearson para cada um dos modelos, entre os dados do banco de dados real e os dados obtidos pelos modelos computacionais *fuzzy* tipo-2. Todos os valores de estudo para a correlação de Pearson foram considerados para o LAG 0. Os dados podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Correlações de Pearson para os modelos computacionais apresentados

FOU	Tipo de Função	Correlação de Pearson (p-valor<0,05)
3	<i>Itritype2 e Itrapatype2</i>	0,32
3	<i>Itristype2 e Itrapstype2</i>	0,31
5	<i>Itritype2 e Itrapatype2</i>	0,30
5	<i>Itristype2 e Itrapstype2</i>	0,31
7	<i>Itritype2 e Itrapatype2</i>	0,30
7	<i>Itristype2 e Itrapstype2</i>	0,29

Fonte: Próprio autor.

Levando em consideração os valores da correlação de Pearson, o modelo 1, com o FOU 3 e as funções de pertinência *Itritype2 e Itrapatype2* foi o modelo que obteve melhor resultado.

Um modelo computacional *fuzzy* tipo-1 foi desenvolvido com a mesma finalidade desse trabalho (DAVID et al, 2018), a correlação de Pearson teve o valor de 0,29. Considerando que, no trabalho desenvolvido, o melhor resultado da correlação de Pearson foi de 0,32 e o pior resultado foi de 0,29, pode-se constatar que o modelo computacional *fuzzy* tipo-2 teve melhores resultados.

A análise descritiva desse estudo encontra-se na Tabela 6, onde é possível visualizar os valores médios das concentrações dos poluentes estudados (PM₁₀ e NO₂), da temperatura e

velocidade do vento, além dos valores de internações, real e pelo modelo que teve melhor resultado dentre os modelos estudados.

Tabela 6 – Valores médios, desvios padrão, mínimos e máximos das variáveis de entrada e saída do modelo

Variável de Entrada	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
PM ₁₀ (µg/m ³)	36,57	22,12	6,00	144,00
NO ₂ (µg/m ³)	51,35	23,46	7,00	124,00
Temperatura (°C)	30,38	3,66	11,50	39,80
Velocidade do Vento (m/s ²)	2,26	0,53	1,10	4,10
Número de Internações (real)	1,53	1,55	0,00	9,00
Número de Internações (modelo)	3,25	1,63	0,35	6,76

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 26 são mostradas as séries temporais das concentrações de PM₁₀, NO₂, temperatura, velocidade do vento e número de internações, respectivamente, durante o tempo estudado no município de São José do Rio Preto, SP.

Levando em consideração os valores definidos como aceitáveis para o poluente atmosférico PM₁₀, na Figura 26 (a) é possível observar que o poluente ultrapassou esse valor (definido pela linha vermelha) em quase todo o período estudado, com exceção do primeiro semestre de 2013 que teve valores aceitáveis do PM₁₀.

Levando em consideração os valores definidos como aceitáveis para o poluente atmosférico NO₂, na Figura 26 (b) é possível observar que o poluente ultrapassou esse valor (definido pela linha vermelha) em todo o período estudado, mesmo com as variações, não teve nenhuma época do período estudado que o poluente não ultrapassou o valor aceitável. É possível verificar que no primeiro semestre de 2012 e no segundo semestre de 2013 os valores de NO₂ ficaram mais altos do que em comparação com os outros meses.

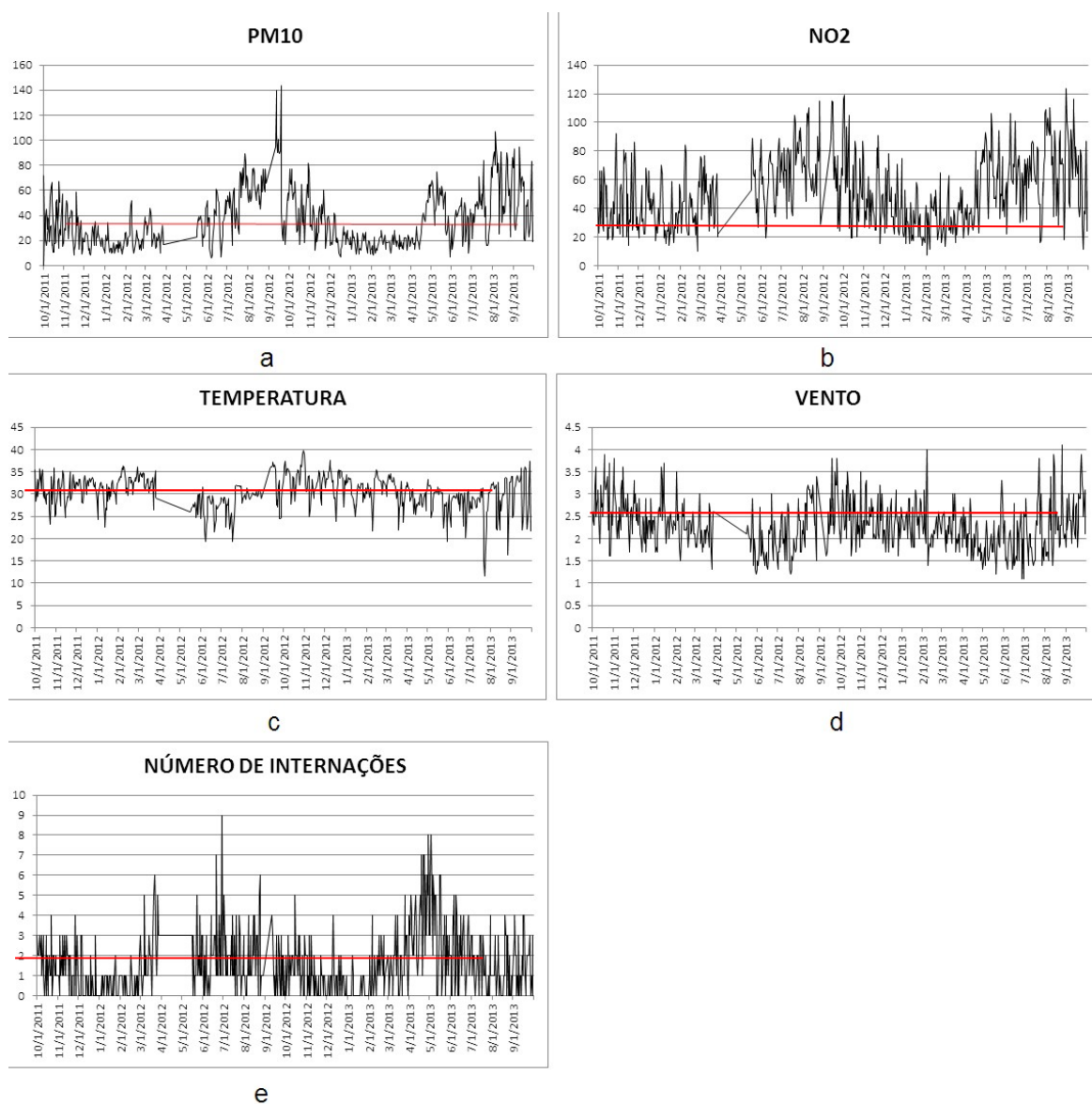
Levando em consideração os valores definidos como baixo para a temperatura ambiente, na Figura 26 (c) é possível observar que a temperatura ficou oscilando de forma constante entre o valor definido como médio entre baixo e alto (definido pela linha vermelha) em todo o período estudado.

Levando em consideração os valores definidos como fraco para a velocidade do vento, na Figura 26 (d) é possível observar que a velocidade do vento ficou oscilando de forma

constante entre o valor definido como médio entre fraco e forte (definido pela linha vermelha) em todo o período estudado.

Na Figura 26 (e), é possível visualizar que os meses com maior número de interações foram os meses de junho, julho e agosto de 2012 e 2013, e os meses com menor número de interações foram os meses de dezembro, janeiro e fevereiro de 2012 e 2013, sugerindo uma distribuição sazonal.

Figura 26 – Distribuição de frequência das concentrações de (a) PM_{10} , (b) NO_2 , (c) temperatura, (d) velocidade do vento e (e) número de interações



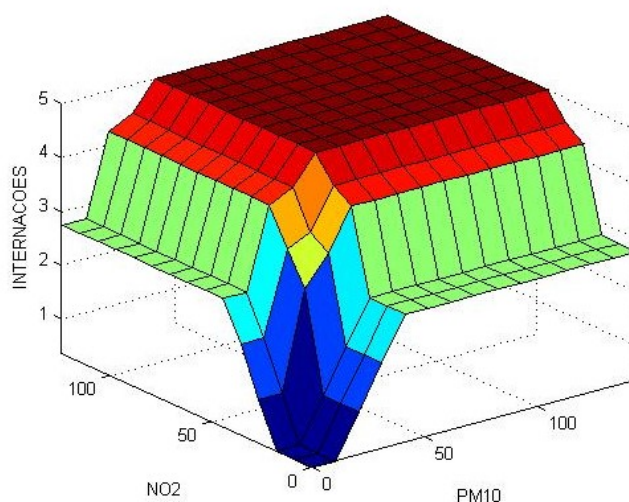
Fonte: Cetesb e Datasus (2018).

5 RESULTADOS

Como constatado anteriormente, o modelo 1 foi o que obteve melhor correlação de Pearson em relação aos outros, por esse motivo serão apresentados os resultados obtidos por esse modelo.

Após a elaboração do sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 intervalar é possível obter a superfície do modelo *fuzzy* tipo-2 intervalar para as entradas PM_{10} e NO_2 e a saída número de interações. A superfície pode ser vista na Figura 27.

Figura 27 – Superfície do modelo *fuzzy* tipo-2 para as entradas PM_{10} e NO_2 .



Fonte: Próprio autor.

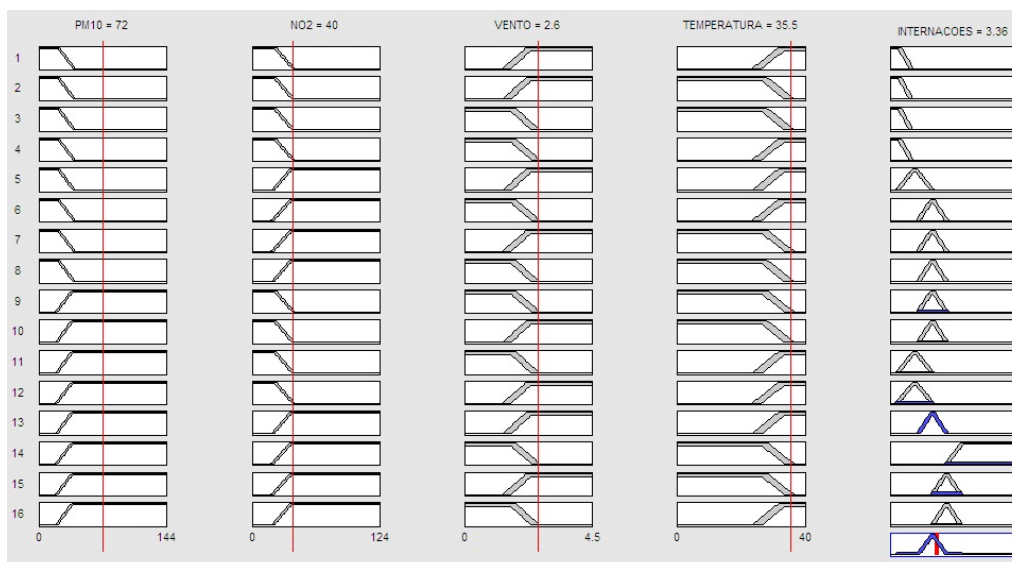
Pode-se observar que quanto maior a concentração dos poluentes PM_{10} e NO_2 , maior é o número de interações.

Além do método já apresentado e discutido, o modelo também pode ser validado por meio da ferramenta *rule view* do *toolbox fuzzy* tipo-2 do Matlab, que pode ser visto na Figura 28. Essa ferramenta possibilita obter o resultado estimado pelo modelo *fuzzy* tipo-2 intervalar, basta digitar individualmente cada valor de entrada (considerar valores reais do banco de dados obtido).

Com esse método é possível a visualização das 16 regras utilizadas no modelo, verificando assim quais entradas ativaram quais saídas, e com a possibilidade de identificar algum tipo de erro que pode existir no modelo. Por outro lado, no caso, seria necessário verificar por esse método para todos os dias estudados nesse trabalho (cada valor do banco de

dados real utilizado). Dessa forma, nesse trabalho foi realizada a rotina *ddeinit*, mostrada anteriormente para a validação do banco de dados real.

Figura 28 – *Rule View* para o modelo 1.



Fonte: Próprio autor.

Levando em consideração o exemplo apresentado na Figura 49, para um valor de $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 , $2,6 \text{ m/s}^2$ de vento e $35,5^\circ\text{C}$ de temperatura, o modelo retornou um valor de 3,36 internações por doenças respiratórias em crianças de até 10 anos de idade, o número real de internação foi 5.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de desenvolver um Sistema de Inferência *Fuzzy* tipo-2 Intervalar utilizando o *toolbox fuzzy* tipo-2 do *software* MATLAB, com base no banco de dados reais obtido no Datasus e na Cetesb, que possibilite estimar o número de internações de crianças com até 10 anos por doenças respiratórias, com base nos dados de poluentes e fatores climáticos de São José do Rio Preto, SP, Brasil. Dessa forma, pode-se concluir que:

- O modelo desenvolvido apresentou uma boa aplicação para a previsão de internações em crianças de até 10 anos por doenças respiratórias no município de São José do Rio Preto, SP, segundo a exposição ao material particulado fino e ao dióxido de nitrogênio; esta forma de abordagem é pouco utilizada em artigos nacionais.
- Foram utilizados quatro formatos diferentes para as funções de pertinência, afim de aprimorar o modelo e verificar qual formato se encaixaria melhor para o modelo em questão, trazendo resultados mais satisfatórios.
- A utilização de diferentes valores de FOU, permite definir o melhor valor de FOU para o modelo em questão, trazendo resultados compatíveis com o esperado.
- O modelo desenvolvido pode ser utilizado por profissionais da saúde ou por funcionários do município como forma de predição, possibilitando que os mesmos se preparem para o atendimento dos pacientes, pois o modelo apresentou uma boa sensibilidade.
- Este modelo pode ser aplicado em qualquer local onde há dados disponíveis sobre os mesmos poluentes estudados: material particulado (PM_{10}) e o dióxido de nitrogênio (NO_2), e também dados meteorológicos: temperatura e velocidade do vento.
- O modelo desenvolvido teve como resultado tangível um prorama executável, que não exige grande investimento e nem instrumentação específica, permitindo uma estimativa do número de internações e prestando apoio aos gestores municipais de saúde.
- O modelo computacional *fuzzy* tipo-2 que dá a possibilidade de minimizar o efeito das incertezas no modelo obteve melhores resultados em comparação com o modelo computacional *fuzzy* tipo-1.

REFERÊNCIAS

- ARBEX, M. A. et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. Brasília, v. 55, p. 38:643, 2012.
- CASTILLO, O.; M., P. **Type-2 fuzzy logic: theory and applications**. Berlin: Springer. 2008. 243p.
- FUZZY SYSTEMS CONFERENCE, 2007, Londres. **An interval type-2 fuzzy logic toolbox for control applications**. Londres: IEEE International, 2007. 6 p.
- CÉSAR, A. C. et al. Fine particulate matter estimated by mathematical model and hospitalizations for pneumonia and asthma in children. **Revista Paulista de Pediatria**. São Paulo, v. 34: p. 18-23, 2016.
- CÉSAR, A. C.; N, L. F.; C, J. R. JÁ. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. **Revista de Saúde Pública**. São Paulo, v. 12, p. 47:1209, 2013.
- SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2015**. São Paulo: CETESB. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Datasus: portal da saúde SUS**. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- DAVID, G. S.; R., P. M.; N., L. F.. Modelos Computacionais Fuzzy para Avaliar Efeitos da Poluição do Ar em Crianças. **Revista Paulista de Pediatria**. São Paulo, v. 16, p. 36:10, 2018.
- GOMIDE, F. A.; G., R. R. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. In: **SBA: Controle & Automação**. Campinas, v. 4, n 3, p. 19, 1994.
- GOUVEIA, N. et al. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, v. 77, p. 22:2669, 2006.
- GOOGLE MAPAS. **Mapa da cidade de São José do Rio Preto**. Disponível em:<<https://www.google.com.br/maps/place/S%C3%A3o+Jos%C3%A9+do+Rio+Preto,+SP/@-20.8167997,-49.452396,12z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x94bdad614c2df789:0x8f2fb0f070642c09!8m2!3d-20.811761!4d-49.3762272>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- MENDEL, J. M. Type-2 fuzzy sets and systems: an overview. **Computational Intelligence Magazine**. Londres, v. 2, n. 1, p. 20-29, 2007.
- NASCIMENTO, L. F. et al. Estimating the average length of hospitalization due pneumonia: a fuzzy approach. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**. São Paulo, v. 81, p. 47:977, 2014.

NASCIMENTO, L. F. et al. Association between concentrations of air pollutants and mean time of hospitalization due to pneumonia in children. **Revista Ambiente & Água**. Taubaté, v. 7, p. 8:221, 2014.

NEGRISOLI, J.; N., L. F. Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**. São Paulo, v. 6, p. 31:501, 2013.

RIBEIRO, H. Sugar caneburning in Brazil: respiratory health effects. **Revista de Saúde Pública**. São Paulo, v. 81, p. 42:370, 2008.

RIZOL, P. M. S. R.; Mesquita, L.; Saotome, O. Lógica Fuzzy tipo-2, **Sodebras**. Guaratinguetá, v. 6, p. 27:46, 2001.

RIZOL, P. M. S. R. **Fuzzy Logic Toolbox**. Disponível em:
<http://www.feg.unesp.br/~paloma/Disciplinas/sel6403/7%20AULA7_2012.pdf> Acesso em:
10 ago. 2017.

TANAKA, K. **An Introduction to Fuzzy Logic for Pratical Applications**. Berim: Springer, 1996.