

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ELETRICIDADE**

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO  
CONFORTO DE AMBIENTES BASEADO EM LÓGICA  
FUZZY E REDES DE SENSORES**

**GEIZA GOMES MENDONÇA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO VIANA DA FONSECA NETO**

São Luís  
2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ELETRICIDADE**

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO  
CONFORTO DE AMBIENTES BASEADO EM LÓGICA  
FUZZY E REDES DE SENSORES**

**GEIZA GOMES MENDONÇA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Eletricidade, área de concentração: Automação e Controle.

Orientador: Dr. João Viana da Fonseca Neto

São Luís  
2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Mendonça, Geiza Gomes.

Monitoramento da Qualidade do Conforto de Ambientes  
baseado em Lógica Fuzzy e Redes de Sensores / Geiza Gomes  
Mendonça. - 2019.

90 f.

Orientador(a): João Viana da Fonseca Neto.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Engenharia de Eletricidade/ccet, Universidade Federal do  
Maranhão, São Luís, 2019.

1. Internet das Coisas. 2. Lógica Fuzzy. 3. Modelo  
de Funções. 4. Qualidade do Ambiente. 5. Rede de  
Sensores. I. Fonseca Neto, João Viana da. II. Título.

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ELETRICIDADE

## **MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO CONFORTO DE AMBIENTES BASEADO EM LÓGICA FUZZY E REDES DE SENSORES**

**GEIZA GOMES MENDONÇA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Eletricidade, área de concentração: Automação e Controle.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

Membros da Banca:

---

Prof. Dr. João Viana da Fonseca Neto  
(Orientador – UFMA)

---

Prof. Dr. Ewaldo Eder Carvalho Santana  
(UFMA)

---

Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire  
(UFCG)

São Luís  
2019

*Este trabalho é dedicado à minha família, em especial  
à minha mãe Maria Elda que sempre apoiou meus estudos.*

---

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar sabedoria para realizar este trabalho e por conseguir superar cada desafio.

Ao meu orientador João Viana pela orientação, dedicação, pelo apoio em cada etapa e por sempre me motivar em todos os momentos.

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe e à minha irmã, por me motivarem a lutar pelos meus sonhos.

Ao meu noivo Marcus Vinícius pelo suporte incondicional e incentivo diário na conclusão desta etapa em minha vida.

Agradeço à equipe do Laboratório de Sistemas Embarcados e Controle Inteligente - UFMA pelo suporte dado ao trabalho, pela amizade construída e pelo companheirismo fundamental para tornar os dias mais leves.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro à pesquisa e a FAPEMA pela infraestrutura viabilizada para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

*“O coração do homem planeja o seu caminho, mas o Senhor lhe dirige os passos”.  
(Provérbios 16,9)*

# Resumo

O atendimento aos limites estabelecidos nas normas técnicas do ambiente é fundamental para garantir o conforto e saúde dos ocupantes. Ambientes que não atendem as especificações normativas podem causar desconforto, mal-estar, desconcentração entre outros males. Neste contexto, esta dissertação apresenta a formulação de modelos inteligentes para monitoramento da qualidade do ambiente de acordo com as normas brasileiras. As grandezas avaliadas são temperatura, umidade, luz, dióxido de carbono, ruído e poeira. A metodologia proposta é constituída de três modelos. No primeiro modelo, as funções de pertinência baseadas na lógica *fuzzy* determinam o índice de qualidade ambiental, este varia de zero a um e indica se as grandezas medidas atendem as especificações normativas. No segundo modelo, o sistema *fuzzy* do tipo Mandani monitora a qualidade do ambiente de acordo com o nível de cada grandeza. O sistema de inferência *fuzzy* por meio do conjunto de regras determinam se o ambiente é pouco ou muito saudável de acordo com a quantidade de grandezas que não atendem as especificações normativas. O terceiro, é o modelo da rede de sensores que representa cada componente da rede e a estrutura utilizada. Cada nó de sensores é composto por um microcontrolador que envia as aquisições de sinais dos sensores para a *Internet* por meio de um transceptor. O armazenamento na nuvem é realizado por meio de uma plataforma de IoT. Os resultados são apresentados aplicando as funções baseadas em lógica *fuzzy* e o sistema *fuzzy* à rede de sensores. As interfaces de monitoramento propostas para o ambiente de laboratório são apresentadas na forma de medidores virtuais a partir dos índices desenvolvidos.

**Palavras-chave:** Qualidade do Ambiente, Lógica *Fuzzy*, Modelo de Funções, Rede de Sensores, Internet das Coisas.

# Abstract

The compliance with the limits established in the technical norms of the environment is fundamental to guarantee the comfort and health of the occupants. Environments that do not meet normative specifications can cause discomfort, malaise, lack of concentration, among other diseases. In this context, this dissertation presents the formulation of intelligent models for monitoring the quality of the environment in accordance with Brazilian standards. The quantities evaluated are temperature, humidity, light, carbon dioxide, noise and dust. The proposed methodology consists of three models. In the first model, the membership functions based on fuzzy logic determine the environmental quality index, it ranges from zero to one and indicates if the measured quantities meet the normative specifications. In the second model, the Mandani type fuzzy system monitors the quality of the environment according to the level of each magnitude. The fuzzy inference system through the set of rules determine whether the environment is little or very healthy according to the number of quantities that do not meet the normative specification. The third is the model of the sensor network that represents each component of the network and the structure used. Each sensor node is composed of a microcontroller that sends the signals acquisition of the sensors to the Internet by means of a transceiver. Cloud storage is performed through an IoT platform. The results are presented applying the functions based on fuzzy logic and the fuzzy system to the sensor network. The monitoring interfaces proposed for the laboratory environment are presented in the form of virtual meters from the developed indices.

**Keywords:** Environment Quality, Fuzzy Logic, Function Models, Sensor Network, Internet of Things.

# Lista de ilustrações

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Arquitetura do nó de sensor sem fio. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016) adaptada . . . . . | 30 |
| Figura 2 – Topologia Estrela. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016) . . .                                | 31 |
| Figura 3 – Topologia de Malha. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016) . .                                 | 31 |
| Figura 4 – Topologia de Estrela-Malha Híbrida. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016) . . . . .           | 32 |
| Figura 5 – Metodologia para o desenvolvimento do projeto . . . . .                                        | 34 |
| Figura 6 – Função de pertinência da temperatura . . . . .                                                 | 35 |
| Figura 7 – Função de pertinência da umidade . . . . .                                                     | 36 |
| Figura 8 – Função de pertinência da iluminância . . . . .                                                 | 36 |
| Figura 9 – Função de pertinência do dióxido de carbono . . . . .                                          | 37 |
| Figura 10 – Função de pertinência do ruído . . . . .                                                      | 37 |
| Figura 11 – Função de pertinência da poeira . . . . .                                                     | 38 |
| Figura 12 – Diagrama de blocos da rede de sensores . . . . .                                              | 41 |
| Figura 13 – Disposição da rede de sensores . . . . .                                                      | 41 |
| Figura 14 – Hierarquia da rede de sensores . . . . .                                                      | 42 |
| Figura 15 – Esquemático da rede de sensores . . . . .                                                     | 43 |
| Figura 16 – Planta do laboratório apresentando a localização dos nós de sensores .                        | 47 |
| Figura 17 – Cobertura dos nós de sensores no ambiente do laboratório da Figura 16                         | 48 |
| Figura 18 – Esquema do nó de sensores . . . . .                                                           | 49 |
| Figura 19 – Medições dos sensores no canal do <i>ThingSpeak</i> . . . . .                                 | 50 |
| Figura 20 – Medição do sensor de temperatura . . . . .                                                    | 51 |
| Figura 21 – Medições do sensor de umidade . . . . .                                                       | 51 |
| Figura 22 – Medições do sensor de luz . . . . .                                                           | 52 |
| Figura 23 – Medições do sensor de gás . . . . .                                                           | 52 |
| Figura 24 – Variação da temperatura ao longo de 24 horas para intervalos de 60 minutos . . . . .          | 53 |
| Figura 25 – Índice de qualidade de temperatura com as medições do sensor . . . . .                        | 53 |
| Figura 26 – Índice de qualidade de umidade com as medições do sensor . . . . .                            | 54 |
| Figura 27 – Índice de qualidade de iluminância com as medições do sensor . . . . .                        | 54 |
| Figura 28 – Índice de qualidade do dióxido de carbono com as medições do sensor                           | 54 |
| Figura 29 – Índice Médio do Ambiente . . . . .                                                            | 55 |
| Figura 30 – Índices Médio e Individuais do Monitoramento do Ambientes . . . . .                           | 56 |
| Figura 31 – Função de pertinência da temperatura em °C . . . . .                                          | 58 |
| Figura 32 – Função de pertinência da umidade em % . . . . .                                               | 58 |
| Figura 33 – Função de pertinência da iluminância em lux . . . . .                                         | 59 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 34 – Função de pertinência do dióxido de carbono em ppm . . . . . | 59 |
| Figura 35 – Função de pertinência da poeira em $\mu g/m^3$ . . . . .     | 60 |
| Figura 36 – Função de pertinência do ruído em dB . . . . .               | 61 |
| Figura 37 – Função de pertinência da saída . . . . .                     | 61 |
| Figura 38 – Regras <i>fuzzy</i> . . . . .                                | 62 |
| Figura 39 – Leitura do <i>ThingSpeak</i> para Canal 1 . . . . .          | 64 |
| Figura 40 – Leitura do <i>ThingSpeak</i> para Canal 2 . . . . .          | 65 |
| Figura 41 – Leitura do <i>ThingSpeak</i> para Canal 3 . . . . .          | 66 |
| Figura 42 – Implementação do nó de sensores . . . . .                    | 67 |
| Figura 43 – Mini Decibelímetro Digital . . . . .                         | 78 |
| Figura 44 – Mini Termo Higrômetro Digital . . . . .                      | 79 |
| Figura 45 – Luxímetro Digital . . . . .                                  | 79 |

# Lista de tabelas

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Limite dos índices com base nas normas . . . . .        | 38 |
| Tabela 2 – Regras <i>Fuzzy</i> . . . . .                           | 40 |
| Tabela 3 – Cálculo do IMA . . . . .                                | 55 |
| Tabela 4 – Modelos de Situação . . . . .                           | 57 |
| Tabela 5 – Resultado de amostras no Sistema <i>Fuzzy</i> . . . . . | 67 |
| Tabela 6 – Características técnicas do decibelímetro . . . . .     | 78 |
| Tabela 7 – Características técnicas do higrômetro . . . . .        | 79 |
| Tabela 8 – Características técnicas do luxímetro . . . . .         | 79 |

---

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |                                                                                    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                           |
| ANVISA  | Agência Nacional de Vigilância Sanitária                                           |
| API     | Application Programming Interface (Interface de Programação de Aplicação)          |
| ICT     | Information and Communications Technology (Tecnologia da Informação e Comunicação) |
| IEEE    | Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos                                |
| IMA     | Índice Médio do Ambiente                                                           |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia                           |
| IoT     | Internet of Things (Internet das Coisas)                                           |
| IQA     | Índice de Qualidade do Ambiente                                                    |
| LAN     | Local Area Network (Rede Local)                                                    |
| LCP     | Laboratório de Controle de Processos                                               |
| NBR     | Norma Brasileira                                                                   |
| NR      | Norma Regulamentadora                                                              |
| NTC     | Negative Temperature Coefficient (Coeficiente de Temperatura Negativa)             |
| PWM     | Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)                            |
| WSN     | Wireless Sensor Network (Rede de Sensores sem Fio)                                 |

# Sumário

|            |                                                                             |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                           | <b>15</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Justificativas</b>                                                       | <b>16</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Estado da Arte</b>                                                       | <b>17</b> |
| <b>1.3</b> | <b>Objetivos</b>                                                            | <b>19</b> |
| 1.3.1      | Objetivos Gerais                                                            | 19        |
| 1.3.2      | Objetivos Específicos                                                       | 20        |
| 1.3.3      | Organização da Dissertação                                                  | 20        |
| <b>2</b>   | <b>LÓGICA FUZZY, NORMAS TÉCNICAS E REDE DE SENSO-<br/>RES</b>               | <b>21</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Lógica <i>Fuzzy</i></b>                                                  | <b>21</b> |
| 2.1.1      | Conjuntos <i>Fuzzy</i> e Variáveis Linguísticas                             | 22        |
| 2.1.2      | Proposições <i>Fuzzy</i>                                                    | 24        |
| <b>2.2</b> | <b>Normas Brasileiras de Qualidade do Ambiente</b>                          | <b>25</b> |
| 2.2.1      | NR17-Ergonomia                                                              | 25        |
| 2.2.2      | Resolução 09-ANVISA                                                         | 26        |
| 2.2.3      | Acústica-Níveis de Pressão Sonora em Ambientes Internos a Edificações       | 26        |
| 2.2.4      | Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior                       | 27        |
| 2.2.5      | Iluminância de Interiores                                                   | 27        |
| <b>2.3</b> | <b>Rede de Sensores</b>                                                     | <b>28</b> |
| 2.3.1      | Nó de Sensores                                                              | 29        |
| 2.3.2      | Topologia de WSNs                                                           | 30        |
| 2.3.3      | Comentários do Capítulo                                                     | 32        |
| <b>3</b>   | <b>MODELOS INTELIGENTES PARA MONITORAMENTO DA<br/>QUALIDADE DO AMBIENTE</b> | <b>33</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Modelo de Funções para Cálculo do Índice de Qualidade</b>                | <b>33</b> |
| 3.1.1      | Função de Pertinência Tipo $\pi$                                            | 34        |
| 3.1.2      | Função de Pertinência Tipo Z                                                | 36        |
| <b>3.2</b> | <b>Modelo do Sistema <i>Fuzzy</i></b>                                       | <b>38</b> |
| 3.2.1      | Fuzzificação                                                                | 39        |
| 3.2.2      | Sistema de Inferência <i>Fuzzy</i>                                          | 39        |
| <b>3.3</b> | <b>Modelo da Rede de Sensores</b>                                           | <b>40</b> |
| 3.3.1      | Componentes do Nó de Sensores                                               | 43        |
| 3.3.1.1    | Sensores                                                                    | 43        |
| 3.3.1.2    | Microcontrolador                                                            | 45        |

|            |                                                                                  |           |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.1.3    | Unidade de Comunicação . . . . .                                                 | 45        |
| 3.3.2      | Comentários do Capítulo . . . . .                                                | 45        |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS MODELOS INTELIGENTES . . . . .</b>               | <b>46</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Ambiente do Estudo de Caso . . . . .</b>                                      | <b>47</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Índice de Qualidade Utilizando Funções com Base na Lógica Fuzzy . . . . .</b> | <b>48</b> |
| 4.2.1      | Aquisição de Sinais dos Sensores . . . . .                                       | 48        |
| 4.2.2      | Funções de Pertinência Online . . . . .                                          | 53        |
| 4.2.3      | O Índice Médio do Ambiente . . . . .                                             | 55        |
| 4.2.4      | O Sistema de Monitoramento Proposto no Ambiente do Laboratório . . . . .         | 55        |
| <b>4.3</b> | <b>Sistema Fuzzy Aplicado à Rede de Sensores . . . . .</b>                       | <b>57</b> |
| 4.3.1      | Funções de Pertinência . . . . .                                                 | 57        |
| 4.3.2      | Base de Regras . . . . .                                                         | 62        |
| 4.3.3      | Aquisição de Medidas dos Sensores . . . . .                                      | 64        |
| 4.3.4      | Implantação da Rede . . . . .                                                    | 66        |
| 4.3.5      | Aplicação do Sistema <i>Fuzzy</i> às Medidas dos Sensores . . . . .              | 67        |
| 4.3.6      | Comentários do Capítulo . . . . .                                                | 68        |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>                                                       | <b>69</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Contribuições . . . . .</b>                                                   | <b>70</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Trabalhos Futuros . . . . .</b>                                               | <b>70</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>                                                     | <b>71</b> |
| <b>A</b>   | <b>REGRAS <i>FUZZY</i> . . . . .</b>                                             | <b>74</b> |
| <b>B</b>   | <b>INSTRUMENTOS PARA CALIBRAÇÃO . . . . .</b>                                    | <b>78</b> |
| <b>A</b>   | <b>ARTIGO PUBLICADO RELACIONADO AO TEMA DA DISSERTAÇÃO . . . . .</b>             | <b>80</b> |

---

# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUÇÃO

A implantação de sistemas inteligentes de automação de casas e edifícios está se tornando popular com o avanço nas aplicações de Tecnologia da Informação e Comunicação (ICT em inglês). Os sistemas inteligentes oferecem comodidade em residências particulares e edifícios comerciais. Estes sistemas aumentam o conforto por meio do controle remoto de aquecimento, ventilação, ar condicionado, iluminação que permitem ao usuário gerenciar aparelhos sem presença física. Uma rede inteligente de automação de residências e edifícios é composta de dispositivos que monitoram e controlam sistemas técnicos em um prédio automaticamente. O sistema inteligente de automação de casas e edifícios tem por objetivo melhorar o controle, monitoramento e administração desses sistemas utilizando a comunicação bidirecional por meio de tecnologias sem fio ou com fio. Além disso, por meio da rede inteligente, um sistema permite que um usuário controle o consumo de energia de acordo com o preço e a demanda. Ao fazê-lo, esses sistemas contribuem para economizar energia (TARIQ et al., 2012).

Algumas aplicações na área de redes inteligentes podem ser vistas em Parikh, Kanabar e Sidhu (2010). Tecnologias sem fio não só oferecem benefícios significativos ao longo da rede, como incluir baixo custo de instalação, implantação rápida, mobilidade, etc., mas também são mais adequadas para aplicativos de extremidade remota. Várias atividades estão sendo desenvolvidas para explorar aplicações específicas dessas tecnologias no ambiente de rede inteligente. Este artigo apresenta várias aplicações de redes inteligentes alcançadas por meio de tecnologias de comunicação sem fio padronizadas, e LAN (*Local Area Networks*) sem fio baseada em IEEE 802.11, *WiMAX* baseado em IEEE 802.1, celular 3G/4G, *ZigBee* com base em IEEE 802.15, *MobileFi* etc. Além disso, os desafios relacionados a cada tecnologia de comunicação sem fio foram discutidos brevemente neste

trabalho.

O monitoramento da qualidade do ambiente é fundamental para melhorar o nível de conforto e saúde dos ocupantes. Por isso, as normas brasileiras da ANVISA e NR17 determinam os níveis aceitáveis para ambientes internos de trabalho. Neste contexto, o sistema *fuzzy* desenvolvido tem como objetivo realizar o monitoramento da qualidade do ambiente e com base nas normas brasileiras classificar o ambiente como saudável ou insalubre de acordo com o nível de cada grandeza monitorada e propor ações para melhoria da qualidade do ambiente. No presente trabalho, as aquisições de sinais que alimentam o sistema provêm de uma rede de sensores que adquire as medições de temperatura, umidade, iluminância, ruído, poeira e dióxido de carbono. As aquisições de sinais da rede são enviadas para o *ThingSpeak* que é uma plataforma de Internet das Coisas (IoT, sigla do termo em inglês para *Internet of Things*). A base central da rede, que é um computador, lê as aquisições de sinais do *ThingSpeak* no *MATLAB*<sup>®</sup> e executa o processamento por meio da lógica *fuzzy*.

A busca por ambientes cada vez mais saudáveis e que atendam aos limites estabelecidos nas normas técnicas são fundamentais para garantir o conforto e saúde dos ocupantes. Ambientes que possuem níveis inadequados de temperatura, umidade, luz, dióxido de carbono, ruído e poeira podem causar desconforto, mal-estar, desconcentração entre outros males aos ocupantes.

Para solucionar este problema é apresentada uma proposta de metodologia de monitoramento das grandezas do ambiente, utilizando a lógica *fuzzy* para classificar o ambiente como saudável ou insalubre, tendo como métrica as normas técnicas brasileiras de saúde e segurança.

O ambiente escolhido como estudo de caso para testes é um laboratório de pesquisa em que neste ambiente é implementada uma rede de sensores sem fio para envio das medições para uma base central de processamento. Em seguida com as medições dos sensores o sistema informa ao usuário se o ambiente está saudável ou insalubre e propõe ações para melhorar a qualidade do ambiente.

## 1.1 Justificativas

No geral, a qualidade do ambiente é muito importante para a saúde. Neste contexto se insere o trabalho de Ferreira e Cardoso (2014), cujo objetivo é determinar se há uma associação entre a qualidade do ar interno em escolas e a prevalência de patologias alérgicas e respiratórias nas crianças que as frequentam. Foram avaliados 1.019 alunos de 51 escolas de ensino básico na cidade de Coimbra, Portugal. A avaliação foi realizada por meio de um questionário com questões referentes as características demográficas, sociais e comportamentais dos alunos, assim como presença de hábitos tabágicos na família. Foi

ainda avaliada a qualidade do ar interno nas escolas. Concluiu-se, que a maioria das escolas estudadas apresentou razoável qualidade do ar e conforto térmico, embora a concentração de vários poluentes, sobretudo  $CO_2$ , sugere a necessidade de intervenções corretivas, como redução de fontes emissoras de poluentes e melhorias da ventilação. Houve uma associação estatisticamente significativa entre a falta de concentração nas crianças e exposição a valores elevados de  $CO_2$ . O baixo nível de poluição na cidade de Coimbra pode explicar a falta de outras associações significativas.

No presente trabalho é escolhido o laboratório de pesquisa, para que o monitoramento da qualidade do ambiente possa auxiliar a melhorar a produtividade e garantir o bem-estar dos pesquisadores. Neste contexto, o presente trabalho possui os seguintes pontos que justificam o seu desenvolvimento: saúde - proporcionar um ambiente não prejudicial aos usuários, conforto - estimular a desenvolver as atividades com maior produtividade, custos - economia de energia, uma vez que os aparelhos de ar condicionado e lâmpadas podem ser regulados para os níveis saudáveis e confortáveis com o mínimo de desperdício.

## 1.2 Estado da Arte

Os laboratórios são ambientes internos que necessitam ser controlados, principalmente aqueles em que são realizados processos químicos. Controlar a temperatura e a umidade relativa do ar é tarefa primordial para que os processos desenvolvidos dentro de laboratórios possam ser repetidos dentro dos parâmetros exigidos. Buscando-se, propor mecanismos de controle para ambientes, em Silva, Júnior e Silva (2016), é apresentado um sistema baseado em rede de sensores e classificação de padrões para controle inteligente de ambientes. O protótipo utiliza as informações geradas pelos sensores para tomar decisões relativas ao controle constante da temperatura e da umidade relativa do ar.

Em Osuwa, Ekhorgbon e Fat (2017) é apresentada uma aplicação do sistema de inteligência artificial na IoT. A importância da mineração e gerenciamento de dados foi destacada no artigo. Além disso, o método utilizado na Inteligência Artificial como Lógica *Fuzzy* e Rede Neuronal também foram discutidos neste artigo em conjunto com a rede IoT. A auto-otimização da rede e a rede definida por *software* são partes dos importantes parâmetros no Sistema IoT de Inteligência Artificial. *Arduino<sup>TM</sup>*, ESP8266 e sensores são utilizados para controlar a umidade e temperatura.

Uma rede de sensores sem fio (WSN, sigla do termo em inglês para *Wireless Sensor Network*) é um sistema composto de vários elementos sensores distribuídos espacialmente com o objetivo específico de medir diferentes quantidades físicas e comunicar essas medições entre si e o *gateway* central. Esses sensores são utilizados para observar e instrumentar várias condições físicas e ambientais, como movimento, pressão, temperatura, som, etc (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016).

No trabalho de Bhunia, Dhar e Mukherjee (2014) uma abordagem *fuzzy* é utilizada para provisionamento de um sistema inteligente de cuidado da saúde em *Smart City* (Cidade Inteligente). O diagnóstico bem-sucedido de problemas de saúde requer o monitoramento contínuo de vários parâmetros de saúde. Os dispositivos de monitoramento da saúde são restritos em potência de alimentação e com capacidade de comunicação limitada. Os dispositivos são equipados com microprocessadores potentes os quais tem capacidade suficiente para tomar ações inteligentes decisivas pelo processamento dos dados recebidos. Para prevenir a rápida dissipação de energia e comunicação restrita, a coleta seletiva de dados é uma opção. Neste artigo, um esquema de alerta e coleta de dados assistido *fuzzy* é proposto para os serviços de saúde. Assim, o desperdício de energia pela transmissão de informações desnecessárias é evitado. Este esquema foi implementado utilizando o *Arduino* e o kit de sensores *eHealth*.

Um trabalho que trata o ambiente como estudo de caso é apresentado por Aghemo, Blaso e Pellegrino (2014). São apresentados neste artigo os resultados de um estudo de caso experimental de dez escritórios em Torino (Itália), em que um sistema de controle e automação de edifícios customizado foi projetado para controlar as instalações de iluminação e o sistema de ar condicionado. O estudo foi realizado para avaliar a eficiência energética do sistema de controle de iluminação e analisar as condições luminosas ambientais obtidas por meio da aplicação desta tecnologia em um caso real.

O envolvimento da rede inteligente em sistemas de automação de casas e edifícios levou ao desenvolvimento de padrões diversos para produtos interoperáveis para controle de eletrodomésticos, iluminação, gerenciamento de energia e segurança. Redes inteligentes permitem que um usuário controle o consumo de energia de acordo com o preço e a demanda. Esses padrões foram desenvolvidos em paralelo por diferentes organizações, que são abertas ou proprietárias. O trabalho de Tariq et al. (2012) consiste em organizar esses padrões de forma que seja mais fácil para os leitores potenciais entender facilmente e selecionar um padrão adequado de acordo com suas funcionalidades sem entrar na profundidade de cada padrão. Neste artigo são analisados os principais padrões de redes inteligentes propostos por diferentes organizações para automação de residências e edifícios em termos de diferentes campos de função. Além disso, é avaliado o escopo de interoperabilidade, benefícios e desvantagens do padrão.

Ambientes inteligentes permitiram a observação por computador da interação humana com o meio ambiente. Espaços computadorizados e seus dispositivos requerem informações situacionais, ou seja, contexto, para responder corretamente à atividade humana. Para se tornarem conscientes do contexto, os sistemas de computação devem assim manter um modelo descrevendo o meio ambiente, seus ocupantes e suas atividades. O comportamento e as necessidades humanas evoluem ao longo do tempo. Portanto, um modelo de contexto que representa o comportamento e as necessidades dos usuários

também devem evoluir. Métodos de aprendizagem de máquinas são necessários para adquirir esse modelo a partir de dados de observação e adaptá-lo de acordo com a mudança de comportamento e necessidades (BRDICZKA; CROWLEY; REIGNIER, 2009).

Uma aplicação de aprendizagem de máquina dentro do contexto de casa inteligente é realizada em Brdiczka, Crowley e Reignier (2009). Este artigo aborda o problema de aprendizagem dos modelos de situação para fornecer serviços conscientes do contexto. O contexto para modelar o comportamento humano em um ambiente inteligente é representado por um modelo de situação que descreve o meio ambiente, os usuários e suas atividades. É proposta uma estrutura para adquirir e desenvolver diferentes camadas de um modelo de situação em um ambiente inteligente. Diferentes métodos de aprendizagem são apresentados como parte desta estrutura: detecção de função por entidade, extração não supervisionada de situações a partir de dados multimodais, aprendizagem supervisionada de representações de situação e evolução de um modelo de situação predefinido com *feedback*. O modelo de situação serve como quadro e suporte para os diferentes métodos, permitindo permanecer em uma estrutura declarativa intuitiva. Os métodos propostos foram integrados em todo um sistema para ambiente doméstico inteligente. A implementação é detalhada e duas avaliações são conduzidas no ambiente inteligente da casa.

WSN é composta de um grande número de nós de sensores que são limitados em energia da bateria e faixa de comunicação e têm capacidade de sensoriamento multimodal. Uma das aplicações mais significativas das WSN é o monitoramento do ambiente. Em Manjunatha, Verma e Srividya (2008), um algoritmo de fusão de dados multi-sensor em WSN utilizando lógica *fuzzy* para aplicação de detecção de evento é proposta. No método proposto, cada nó de sensor é equipado com diversos sensores (temperatura, luz, umidade e monóxido de carbono). O uso de mais de um sensor fornece informações adicionais sobre a condição do ambiente. O processamento e fusão destes diversos sinais de sensores são realizados utilizando o sistema baseado em regras *fuzzy* proposto. Todos os diversos sinais do sensor são coletados no centro do cluster (*cluster head*) e fundido utilizando o método baseado em regras *fuzzy*. O processo de fusão de múltiplos dados melhora a confiabilidade e precisão das informações do sensor e, assim, minimiza a taxa de falsos alarmes.

## 1.3 Objetivos

Os objetivos deste desenvolvimento de pesquisa em modelos inteligentes associados com rede de sensores e padrões normativos estão categorizados em gerais e específicos.

### 1.3.1 Objetivos Gerais

Desenvolver uma metodologia utilizando a lógica *fuzzy* para monitoramento da qualidade do ambiente interno com base nas normas técnicas brasileiras. Projetar uma

rede de sensores sem fio para realizar a medição das grandezas do ambiente.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um sistema *fuzzy* para obtenção do nível da qualidade do ambiente;
- Projetar e implementar uma rede de sensores sem fio;
- Obter as medições dos sensores por meio de uma plataforma online;
- Alertar os usuários quando o ambiente atingir um nível crítico;
- Propor ações para monitoramento do nível de qualidade da temperatura, umidade, luz, dióxido de carbono, ruído e poeira;

### 1.3.3 Organização da Dissertação

A dissertação está organizada em capítulos apresentando o referencial teórico, metodologia, resultados e análises dos experimentos, apêndices e referências bibliográficas.

O Capítulo 2 consiste na apresentação do referencial teórico utilizado para o desenvolvimento do presente trabalho. A teoria de lógica *fuzzy* é exposta resumidamente neste capítulo. O conceito, os componentes e a topologia de uma rede de sensores são apresentados. As normas técnicas brasileiras que estão relacionadas à qualidade do ambiente são também expostas neste capítulo.

No Capítulo 3 descreve-se a metodologia do sistema desenvolvido. A metodologia é constituída de três modelos. O primeiro é o modelo de funções para o cálculo do índice de qualidade. O segundo, o modelo do sistema *fuzzy*, onde são descritas as regras *fuzzy* e demais características deste sistema. Terceiro, o modelo da rede de sensores utilizada, detalhando-se a estrutura e cada componente da rede.

No Capítulo 4, os resultados experimentais do modelo de funções baseadas na lógica *fuzzy* e o esquema de alerta aos usuários, desenvolvido a partir desta metodologia, são aplicados ao modelo da rede de sensores. Ainda, neste capítulo são apresentados também os resultados do modelo do sistema *fuzzy*, que são aplicados ao modelo da rede de sensores desenvolvido.

No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões obtidas, bem como os trabalhos futuros propostos.

Ainda, dissertação é formada pelas referências bibliográficas, apêndices e anexos. As regras fuzzy e instrumentos para calibração são os conteúdos dos apêndices e no anexo é apresentado o artigo publicado que é relacionado ao tema da dissertação.

---

## CAPÍTULO 2

---

# LÓGICA FUZZY, NORMAS TÉCNICAS E REDE DE SENSORES

A teoria de lógica *fuzzy*, normas técnicas brasileiras e rede de sensores são os principais elementos do referencial teórico desta dissertação. Os conjuntos fuzzy, variáveis linguísticas e proposições fuzzy são discutidos e direcionados para o desenvolvimento da proposta de modelos para monitoramento da qualidade do conforto de ambientes.

Os modelos propostos devem contemplar as exigências da legislação para ocupação dos ambientes, tais como: normas, resoluções e procedimentos, as normas brasileiras de qualidade do ambiente são descritas e comentadas na seção dedicada ao tema. Ainda, as seguintes normas e resoluções são consideradas no desenvolvimento dos modelos propostos: NR17-Ergonomia, Resolução 09-ANVISA, Acústica-Níveis de Pressão Sonora em Ambientes Internos a Edificações, Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior, Iluminância de Interiores.

Na seção dedicada redes de sensores, aborda-se tópicos que são referentes a topologia de WSNs e nó de sensores.

### 2.1 Lógica *Fuzzy*

Inteligência é a capacidade de um sistema de adaptar seu comportamento para atingir seus objetivos em vários ambientes. É uma propriedade de todos os tomadores de decisão. Esta definição foi publicada por David Fogel (1995) e se aplica no assunto abordado na presente seção. Conforme (EBERHART; SHI, 2007), fuzzificação refere-se a imprecisão não-estatística e incerteza em informações e dados. A maioria dos conceitos

tratados ou descritos no mundo real é confusa. Por exemplo, Está um pouco nublado agora, mas deverá estar bastante ensolarado em breve é um exemplo de uma afirmação que incorpora três conceitos difusos: *meio*, *razoavelmente* e em *breve* (Pode até ser argumentado que a palavra *agora* é imprecisa e vaga o suficiente para ser confusa).

Conjuntos *fuzzy* modelam as propriedades de imprecisão, aproximação ou incerteza. Na lógica convencional, conhecida como lógica *crisp*, um elemento é ou não é um membro de um conjunto. Pode-se dizer, portanto, que cada elemento possui um valor de pertinência de 1 ou 0 no conjunto. Em um conjunto *fuzzy*, os valores de pertinência *fuzzy* refletem as extensões de pertinência (ou notas) dos elementos no conjunto. Será mostrado que uma função de pertinência é a ideia básica na teoria dos conjuntos *fuzzy*; uma função de pertinência *fuzzy* é idêntica a um conjunto difuso.

A lógica *fuzzy* é a lógica do raciocínio *aproximado*. Esta compreende operações em conjuntos difusos incluindo igualdade, contenção, complementação, intersecção e união; é uma generalização da lógica convencional (de dois valores ou *crisp*).

A teoria *fuzzy* foi iniciada por Lotfi A. Zadeh em 1965 com seu artigo seminal *Fuzzy Sets*. De forma geral, os fundamentos da teoria *fuzzy* foi estabilizada em 1970. Com a introdução de vários novos conceitos, o papel da teoria *fuzzy* como um novo campo foi se tornando clara (WANG, 1999).

Em (SIVANANDAM et al., 2007) a lógica *fuzzy* é uma ferramenta matemática para lidar com a incerteza. Esta fornece uma técnica para lidar com imprecisão e granularidade de informações. A teoria *fuzzy* fornece um mecanismo para representar construções linguísticas como *muitos*, *baixos*, *médios*, *frequentemente*, *poucos*. Em geral, a lógica *fuzzy* fornece uma estrutura de inferência que permite capacidades de raciocínio humano adequadas.

### 2.1.1 Conjuntos *Fuzzy* e Variáveis Linguísticas

Seja  $U$  o universo de discurso, ou conjunto universal, o qual contém todos os possíveis elementos de interesse em cada contexto ou aplicação particular. O conjunto clássico (*crisp*)  $A$ , ou simplesmente um conjunto  $A$ , em um universo de discurso  $U$  pode ser definido listando todos os seus membros (o método de lista) ou especificando as propriedades que devem ser satisfeitas pelos membros do conjunto (o método regra). O método de lista pode ser utilizado por somente conjuntos finitos e é, portanto, de uso limitado. O método de regra é mais geral.

Existe ainda um terceiro método para definir o conjunto  $A$  – o método de pertinência, o qual introduz uma função de pertinência de zero a um para  $A$ , denotada por  $\mu_A(x)$ ,

dado por

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A \\ 0 & \text{if } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

O conjunto  $A$  é matematicamente equivalente a sua função de pertinência  $\mu_A(x)$  no sentido que conhecendo  $\mu_A(x)$  é o mesmo que conhecer  $A$ . A explicação de conjunto *fuzzy* é apresentada pela *Definição 2.1*.

*Definição 2.1:* Um conjunto *fuzzy* em um universo de discurso  $U$  é caracterizado pela função de pertinência  $\mu_A(x)$  que toma valores no intervalo  $[0, 1]$  (WANG, 1999).

Em outras palavras a função de pertinência de um conjunto clássico pode ter apenas dois valores – zero ou um, enquanto a função de pertinência de um conjunto *fuzzy* é uma função contínua com intervalo  $[0, 1]$ .

Um conjunto *fuzzy* em  $U$  pode ser representado como um conjunto de pares ordenados de um elemento genérico  $x$  e seu valor de pertinência, que é dado por

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\} \quad (2.2)$$

Quando  $U$  é contínuo,  $A$  é comumente escrito como

$$A = \int_U \mu_A(x)/x, \quad (2.3)$$

sendo que o sinal de integral não denota integração, denota a coleção de todos os pontos  $x \in U$  associados à função de pertinência  $\mu_A(x)$ . Quando  $U$  é discreto,  $A$  é comumente escrito como

$$A = \sum_U \mu_A(x)/x, \quad (2.4)$$

sendo que o símbolo do somatório não representa a operação aritmética de soma, mas sim, a coleção de todos os pontos de  $x \in U$  associados à função  $\mu_A(x)$ .

Outra definição importante em lógica *fuzzy* são as variáveis linguísticas dada pela *Definição 2.2*.

*Definição 2.2:* Se uma variável pode tomar palavras em linguagem natural como seus valores, é chamada de uma variável linguística, no qual as palavras são caracterizadas por conjuntos *fuzzy* definidos no universo de discurso em que a variável é definida. Uma variável linguística é caracterizada por  $(X, T, U, M)$  (WANG, 1999), sendo que

- $X$  é o nome da variável linguística.

- $T$  é o conjunto de valores linguísticos que  $X$  pode tomar.
- $U$  é o domínio físico atual no qual a variável linguística  $X$  toma seus valores quantitativos (*crisp*).
- $M$  é uma regra semântica que relaciona cada valor linguístico em  $T$  com um conjunto *fuzzy* em  $U$ .

As variáveis linguísticas são os elementos fundamentais na representação do conhecimento humano. Quando utiliza-se sensores para medir uma variável, ele fornece números, quando pede-se que especialistas humanos avaliem uma variável, eles fornecem palavras. Portanto, introduzindo o conceito de variáveis linguísticas, pode-se formular descrições vagas em linguagem natural em termos matemáticos precisos.

### 2.1.2 Proposições *Fuzzy*

Existem dois tipos de proposições *fuzzy*: proposições atômicas e as proposições compostas. Uma proposição atômica é uma afirmação simples  $x$  é  $A$ , sendo  $x$  uma variável linguística, e  $A$  é um valor linguístico de  $x$  (isto é,  $A$  é um conjunto *fuzzy* definido no domínio de  $x$ ). Uma proposição *fuzzy* composta é uma composição de proposições *fuzzy* atômicas usando os conectivos “e”, “ou”, e “não” no qual representa uma interseção *fuzzy*, união *fuzzy*, e complemento *fuzzy*, respectivamente (WANG, 1999).

As proposições *fuzzy* podem ser entendidas como relações *fuzzy*, e essas relações são também representadas por funções de pertinência, da seguinte forma:

Para o conectivo “e” utiliza-se a interseção *fuzzy*. Especificamente, se  $x$  e  $y$  são variáveis linguísticas no domínio físico  $U$  e  $V$ , e  $A$  e  $B$  são conjuntos *fuzzy* em  $U$  e  $V$ , respectivamente, portanto a proposição *fuzzy* composta dada por

$$x \text{ é } A \text{ e } y \text{ é } B$$

é interpretada como a relação *fuzzy*  $A \cap B \in (U \times V)$  com função de pertinência dada por

$$\mu_{A \cap B}(x, y) = t[\mu_A(x), \mu_B(y)], \quad (2.5)$$

sendo  $t : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  qualquer *norma-t* (WANG, 1999).

Para o conectivo “ou” utiliza-se a união *fuzzy*. Especificamente, a proposição *fuzzy* composta dada por

$$x \text{ é } A \text{ ou } y \text{ é } B,$$

é interpretada como uma relação *fuzzy*  $A \cap B \in (U \times V)$  com função de pertinência dada por

$$\mu_{A \cap B}(x, y) = s[\mu_A(x), \mu_B(y)], \quad (2.6)$$

sendo  $s : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$  qualquer *norma-s* (WANG, 1999).

Para o conectivo “não” utiliza-se o complemento *fuzzy*. Isto é, troca-se  $A$  pelo seu valor negado, esta relação é dada por

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.7)$$

## 2.2 Normas Brasileiras de Qualidade do Ambiente

A qualidade e salubridade dos ambientes devem estar de acordo com critérios objetivos estabelecidos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e demais órgãos de regulamentação tais como a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). A seguir serão apontadas as normas utilizadas no presente trabalho para a determinação do Índice de Qualidade do Ambiente - IQA, este índice utilizará as seguintes grandezas para avaliação: temperatura, umidade, iluminância, ruído, dióxido de carbono e poeira. As normas foram pesquisadas com base nas características do ambiente do estudo de caso: o laboratório de pesquisa LCP (Laboratório de Controle de Processos).

### 2.2.1 NR17-Ergonomia

A norma NR17 de ergonomia será utilizada para determinar os níveis de temperatura e umidade adequadas para o LCP, a descrição desta norma é realizada a seguir.

“A NR17 é uma norma regulamentadora que visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente” (MTPS, 1990).

Na *Seção 17.5.2* desta norma tem-se que nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: sala de controle, laboratórios, escritórios, sala de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas as seguintes condições de conforto:

a) níveis de ruído de acordo com o estabelecido na NBR 10152, norma brasileira registrada no INMETRO;

- b) índice de temperatura efetiva entre 20 °C (vinte) e 23 °C (vinte e três graus Celsius);
- c) velocidade do ar não superior a 0,75m/s;
- d) umidade relativa do ar não inferior a 40 (quarenta) por cento.

### 2.2.2 Resolução 09-ANVISA

A Resolução 09, de 16 de janeiro de 2003 da ANVISA será utilizada para determinar o nível máximo de temperatura, umidade, dióxido de carbono e poeira. A descrição desta norma é apresentada a seguir.

“Esta resolução estabelece os padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, considerando a preocupação com a saúde, a segurança, o bem-estar e o conforto dos ocupantes dos ambientes climatizados; considerando o atual estágio de conhecimento da comunidade científica internacional, na área de qualidade do ar ambiental interior, que estabelece padrões referenciais e/ou orientações para esse controle” (ANVISA, 2003).

Os valores máximos recomendáveis para contaminação química são:

- a) 1000 ppm de dióxido de carbono - ( $CO_2$ ), como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar.
- b) 80  $\mu g/m^3$  de aerodispersóides totais no ar (poeira), como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado.

A faixa recomendável de operação das temperaturas de bulbo seco, nas condições internas para verão, deverá variar de 23 °C a 26 °C, com exceção de ambientes de arte que deverão operar entre 21 °C e 23 °C. A faixa máxima de operação deverá variar de 26,5 °C a 27 °C, com exceção das áreas de acesso que poderão operar até 28 °C. A seleção da faixa depende da finalidade e do local da instalação. Nas condições internas para inverno, a faixa recomendável de operação deverá variar de 20 °C a 22 °C.

A faixa recomendável de operação da umidade relativa, nas condições internas para verão, deverá variar de 40% a 65%, com exceção de ambientes de arte que deverão operar entre 40% e 55% durante todo o ano. O valor máximo de operação deverá ser de 65%, com exceção das áreas de acesso que poderão operar até 70%. A seleção da faixa depende da finalidade e do local da instalação. Nas condições internas para inverno, a faixa recomendável de operação deverá variar de 35% a 65%.

### 2.2.3 Acústica-Níveis de Pressão Sonora em Ambientes Internos a Edificações

A ABNT NBR 10152:2017 indica os níveis adequados de pressão sonora em ambiente internos a edificação e será utilizada para determinar o nível máximo de ruído para o LCP.

Esta norma é apresentada a seguir.

“Esta norma estabelece os procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, bem como os valores de referência para a avaliação dos resultados em função da finalidade de uso do ambiente. O ruído em ambientes internos a edificações deve ser avaliado conforme prescrito nesta norma” (ABNT, 2017).

Com base na Tabela 3 da norma NBR 10152 - *Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com suas finalidades de uso*, tem-se:

*Para fins educacionais-sala de aula:* entre 35 dB e 40 dB.

#### 2.2.4 Iluminação de Ambientes de Trabalho Parte 1: Interior

A NBR ISO/CIE 8995-1: 2013 determina a iluminação de ambientes de trabalho, com esta norma será determinado o nível mínimo de iluminância para o ambiente conforme mostra a descrição a seguir.

“Esta Norma especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho” (ABNT, 2013).

Com base no item planejamento dos ambientes (áreas), tarefas e atividades com a especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor, as atividades executadas no LCP estão classificadas de acordo com a seguinte atividade da norma:

*Construções educacionais - Salas de aplicação e laboratórios:* Iluminância 500 lux

No presente estudo é considerado apenas a iluminância não levando em consideração os outros elementos tais como limitação de ofuscamento e qualidade da cor.

Esta norma apresenta apenas os valores mínimos. Portanto, para um melhor índice de qualidade do ambiente é utilizada também a norma a seguir para definição do limite máximo de iluminância do ambiente.

#### 2.2.5 Iluminância de Interiores

A NBR 5413: 1992 determina a iluminância de interiores e será utilizada para determinar os níveis máximos de iluminância para o laboratório. A seguir tem-se a descrição desta norma.

“Esta Norma estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras” (ABNT, 1992).

Com base na consulta da Tabela 1 da norma NBR 5413 - *Iluminância por classe*

de tarefas visuais, as atividades do LCP são classificadas da seguinte forma até chegar-se ao valor estipulado pela coluna de iluminância.

1) A classe que engloba o ambiente de estudo de caso é dada pela *Classe B*: Iluminação geral para área de trabalho.

2) A partir desta classe tem-se que o tipo de atividade é *Tipo de atividade*: Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.

3) Logo o nível adequado de iluminância com base nesta atividade é *Iluminância (lux)*: 500-750-1000.

A Tabela 2 da norma NBR5413 - *Fatores determinantes da iluminância adequada*, é utilizada no procedimento da seleção da iluminância: se esta será inferior do grupo, média ou superior. Portanto, para a máxima condição tem-se 1000 lux.

## 2.3 Rede de Sensores

Uma rede de sensores é uma infraestrutura composta de elementos de medição, computação e comunicação que dão ao administrador a capacidade de instrumentar, observar e reagir a eventos e fenômenos em um ambiente específico.

As redes de sensores são compostas de um grande número de nós de sensores que são implantados para coletivamente monitorar e reportar qualquer fenômeno de interesse. Em uma rede de sensores, a camada física especifica a interface elétrica e mecânica para o meio de transmissão e pode ser com fio, sem fio, ou uma combinação de ambos. As redes de sensores são um superconjunto de WSN e, portanto, compartilham alguns atributos em comum que são integrais para todos os sistemas de rede de sensores (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016).

Para a construção de uma rede de sensores sem fio, existem quatro componentes básicos que são (SOHRABY; MINOLI; ZNATI, 2007):

- Uma montagem dos sensores distribuída ou localizada;
- Uma rede interconectada;
- Uma base central, que possa fazer a recepção das informações, dados capturados (podendo ser um *gateway* ligado a um *broker*);
- Um conjunto de recursos computacionais na base central para realizar um tratamento dos dados colhidos, utilizando um *software*, para consultar os dados ou minerar os dados. Neste contexto, os nós de sensores e a parte computacional são fundamentais para a construção de uma rede de sensores.

As redes de sensores têm sido utilizadas nas mais diversas áreas como: militar, saúde, monitoramento do ambiente e do *habitat*, e em casas. Entre essas aplicações as que estão mais alinhadas com a proposta do presente trabalho são: a) Aplicação no monitoramento do ambiente: inclui detecção química e biológica, monitoramento em larga escala e exploração de terras e massas de água, detecção de inundações, monitoramento do ar, terra, e poluição da água. b) Aplicação em saúde: inclui monitoramento em tempo real da psicologia humana, monitoramento de pacientes e médicos em hospitais, monitoramento da administração de drogas, monitoramento do nível de glicose no sangue, monitoramento dos órgãos, detectores de câncer, entre outros. c) Aplicações em casas: as redes de sensores tem sido aplicadas em residências para criar casas inteligentes e melhorar a qualidade de vida dos seus habitantes. d) Recentemente, um novo paradigma de computação, chamado ‘inteligência do ambiente’ emergiu com o objetivo de combinar as redes de sensores e a inteligência computacional para recriar espaços de convivência inteligente e seguros para humanos.

As WSN não têm topologias que são características para LAN, tais como barramento, anel, ou estrela. São principalmente redes *ad hoc* (nenhuma configuração anterior ou infraestrutura de suporte é necessária) implantadas aleatoriamente no campo, dependendo principalmente do padrão IEEE 802.15.4 amplamente adotado para dispositivos embarcados.

As redes de sensores sem fio são divididas em duas categorias C1WSN e C2WSN, neste trabalho é desenvolvida a segunda categoria. Esta categoria apresenta sistemas de ponto-a-ponto ou multiponto (*starbased*), a conectividade é *wireless* (rádio) que permite um salto entre os *sinks* com *gateway* que é um roteador estático da rede *wireless*. Neste trabalho há uma rota de comunicação entre os nós sensores com o roteador sem fio, e que por sua vez tem apenas uma rota com roteador terrestre (SOHRABY; MINOLI; ZNATI, 2007).

### 2.3.1 Nó de Sensores

Nós de sensores são implantados em um domínio ou área, que é chamado de campo de detecção. Cada um desses nós de sensores normalmente tem a capacidade de coletar dados do campo de detecção e, em alguns casos, pode analisar ou rotear os dados para o nó de destino. Um nó de sensores normalmente é composto dos seguintes componentes (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016):

- Sensores e atuadores (único elemento ou conjunto )
- Unidade de processamento (e.g microcontrolador )
- Unidade de comunicação (rádio transmissor ou outros dispositivos de comunicação )

- Unidade de potência
- outras unidades dependentes de aplicação

Nós de sensores são formados de uma variedade de sensores (às vezes construídos em um módulo separado chamado de módulo sensor ou placa do sensor), um microcontrolador ou microprocessador para comunicação *on-board* e processamento de sinal, memória, transceptor de rádio com antena para comunicação com nós vizinhos, fonte de alimentação e suporte a circuitos e dispositivos, conforme é apresentado na Figura 1.

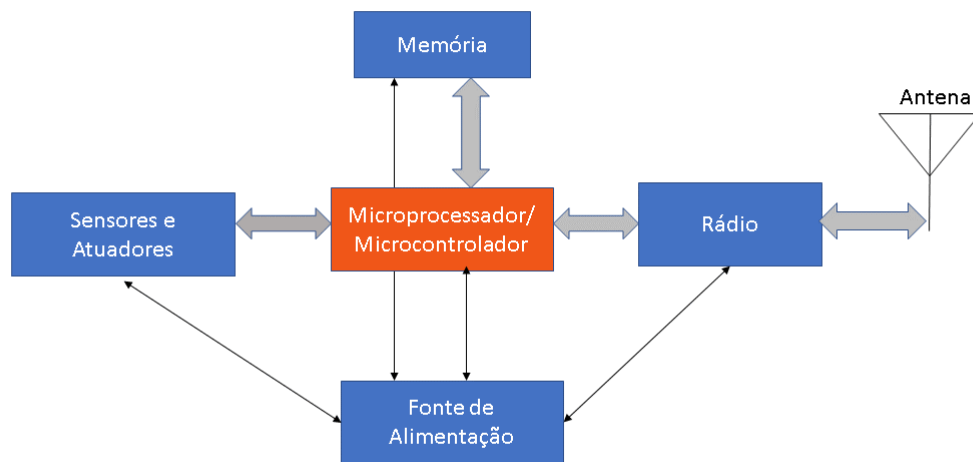


Figura 1 – Arquitetura do nó de sensor sem fio. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016) adaptada

### 2.3.2 Topologia de WSNs

A topologia de uma WSN se refere como os nós são arranjados com a rede. Embora as redes de sensores sejam compostas de sensores que são miniaturizados, pervasivos, e coordenados, o princípio geral da topologia de WSN são os mesmos para qualquer outra rede. As topologias mais comuns são estrela, malha e estrela-malha híbrida (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016).

- **Topologia Estrela:** Nesta topologia, os nós são organizados na forma de uma estrela com a estação base como o centro da estrela. Os nós de sensores transmitem dados pela estação base e não podem trocar mensagens diretamente entre si. Essa topologia oferece baixo consumo de energia em comparação com outras topologias

de sensores sem fio. No entanto, a estação base não pode se comunicar com um nó que esteja fora do intervalo. O fato dessa topologia depender de um único nó para gerenciar a rede a expõe a uma falha de ponto único, que afeta negativamente a confiabilidade geral da rede, ou seja, a rede não é muito robusta para falhas de nós individuais, conforme é apresentada na Figura 2.

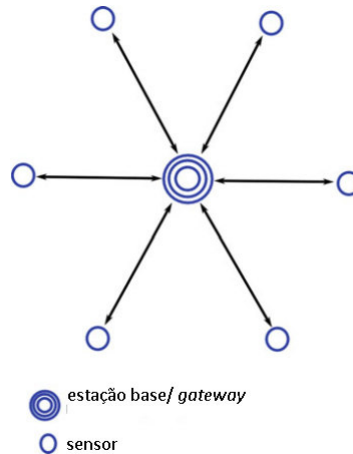


Figura 2 – Topologia Estrela. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016)

- **Topologia Malha:** Uma WSN com uma topologia de malha, conforme apresentada na Figura 3, possui nós de sensores que comunicam dados entre si. Isso significa que, se um nó de sensor desejar enviar dados para um nó fora do intervalo, ele poderá usar outro nó como um recurso de comunicação intermediário. Uma vantagem dessa topologia é que, se um nó de sensor falhar, a comunicação é possível com outros nós que estão dentro do intervalo de comunicação. Uma grande desvantagem é que essa topologia utiliza mais energia devido à transmissão redundante de dado.

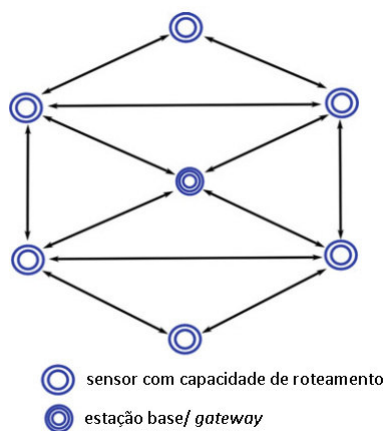


Figura 3 – Topologia de Malha. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016)

- **Topologia Estrela-Malha Híbrida:** Uma WSN com uma topologia de malha estrela possui atributos de topologias de estrela e de malha. Por um lado, essa

topologia aproveita o baixo consumo de energia presente na topologia em estrela. Enquanto, por outro, tira proveito da redundância de dados presente na topologia de malha para garantir que os dados cheguem ao seu destino. Na implementação dessa topologia, os nós na borda da rede são geralmente nós de baixa energia, enquanto os nós no centro da malha têm maior poder (e, em alguns casos, podem ser conectados à rede elétrica), já que normalmente avançam mensagens entre um grande número de nós e servem como nós de *gateway* conforme é apresentado na Figura 4

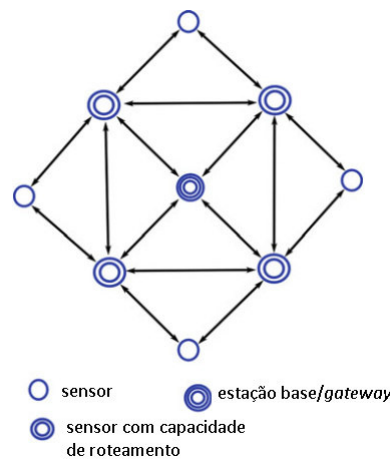


Figura 4 – Topologia de Estrela-Malha Híbrida. Fonte: (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016)

### 2.3.3 Comentários do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos e métodos que são utilizados no desenvolvimento desta pesquisa em Sistemas Inteligentes. A lógica *fuzzy* associada às normas brasileiras determinam a qualidade do ambiente, a partir de métricas que estabelecem graus de tolerâncias para utilização dos ambientes internos para o desenvolvimento de atividades que envolvem a participação direta dos seres humanos. A rede de sensores possibilita mensurar as grandezas do ambiente.

---

## CAPÍTULO 3

---

# MODELOS INTELIGENTES PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AMBIENTE

A metodologia e procedimentos para o desenvolvimento dos três modelos inteligentes para o monitoramento da qualidade do ambiente é apresentada neste Capítulo. O primeiro modelo baseia-se em funções de pertinência para o cálculo do índice de qualidade. O segundo consiste no modelo do sistema *fuzzy*, onde são descritas as regras *fuzzy* e demais características deste sistema. O modelo da rede de sensores representa cada componente da rede e a estrutura utilizada.

Na seção modelo de funções para cálculo do índice de qualidade apresenta-se o desenvolvimento, no contexto de aplicação, da função de pertinência do tipo II e da função de pertinência do tipo Z. Na seção modelo do sistema fuzzy, aborda-se a *fuzzificação* e o sistema de inferência *fuzzy*. Os principais componentes do nó de sensores, tais como: sensores, microcontrolador e unidade de comunicação, são abordados na seção que trata a respeito do modelo da rede de sensores.

### 3.1 Modelo de Funções para Cálculo do Índice de Qualidade

O objetivo do projeto é formular o IQA baseado nas normas brasileiras descritas no Capítulo 2. Para isto, o projeto é desenvolvido em dois estágios, como apresentado na Figura 5: o primeiro estágio consiste na formulação do modelo matemático do IQA baseado na Seção 2.2, o modelo utiliza a função de pertinência da lógica *fuzzy*. Este

índice é formulado para as seguintes grandezas que interferem na qualidade do ambiente: temperatura, umidade, luz e dióxido de carbono.

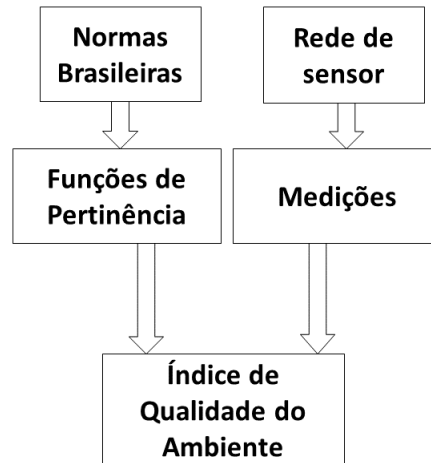


Figura 5 – Metodologia para o desenvolvimento do projeto

Como apresentado, é necessário verificar se as grandezas do ambiente atendem as especificações normativas. Os sensores são os componentes capazes de capturar estas grandezas físicas. Portanto, o segundo estágio da Figura 5 é o projeto da rede de sensores. As medidas desses sensores podem ser comunicadas (enviadas) para uma base central para monitoramento por meio de uma rede de sensores, como visto na Seção 2.3.

O IQA é um valor que representa quão próximo da norma estão as grandezas medidas pelos sensores num dado instante, de forma não binária, mas variando conforme o valor da grandeza  $x$  (temperatura, umidade, etc.), este é desenvolvido com base das normas brasileiras descritas na Seção 2.2.

Ao invés de apenas informar se a grandeza medida atende as especificações normativas, o índice varia de zero a um. Desenvolve-se, portanto, um modelo que descreve o comportamento matemático das variáveis. Este modelo é descrito por funções de pertinência provenientes da lógica *fuzzy*.

### 3.1.1 Função de Pertinência Tipo $\pi$

Para a temperatura, umidade e luz é utilizada a função tipo  $\pi$ , cujos pontos são estabelecidos de acordo com os limites aceitáveis nas especificações normativas.

A função de pertinência é calculada nos pontos determinados pelo vetor  $x$ . Os parâmetros  $a$  e  $d$  localizam os “pés” da curva, enquanto  $b$  e  $c$  localizam os “ombros”. A

função é dada por

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - 2\left(\frac{x-c}{d-c}\right)^2, & c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2\left(\frac{x-d}{d-c}\right)^2, & \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (3.1)$$

Para cada grandeza os pontos  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  da Equação (3.1) são escolhidos com base nas normas. O valor máximo do índice, valor um, é obtido quando  $x$  encontra-se entre os pontos  $b$  e  $c$ . O comportamento da função em cada ponto é apresentado nas Figuras 6 a 8.

A temperatura apresenta maior índice entre 20 °C (ponto  $b$ ) e 23 °C (ponto  $c$ ) com base em MTPS (1990) é o valor para condições internas de conforto. Na Resolução 09 da ANVISA (2003), no verão a temperatura deverá variar de 23 °C a 26 °C. O ponto  $d$  da Equação (3.1) é escolhido com o valor de 26 °C que é o máximo das duas normas. Este valor especifica que não atende a norma em 100% (valor 0). O ponto  $a$  é escolhido por indução. Como o ponto  $d$  localiza-se 3 graus a mais, então o ponto  $a$  localiza-se 3 graus a menos. Sendo, portanto, 17 °C conforme apresentado na Figura 6.

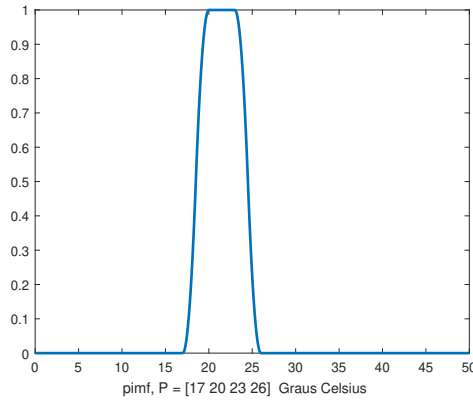


Figura 6 – Função de pertinência da temperatura

O maior índice de umidade localiza-se entre 40% (ponto  $b$ ) da Equação (3.1) com base na MTPS (1990). Esta norma só estabelece o limite inferior. É definido 65% (ponto  $c$ ) com base na Resolução 09 da ANVISA (2003) já que este é o valor máximo para ambientes internos. O ponto  $d$  é escolhido como 10% a mais do que o permitido (75%). O ponto  $a$  é definido como 10% a menos (30%) conforme apresentado na Figura 7.

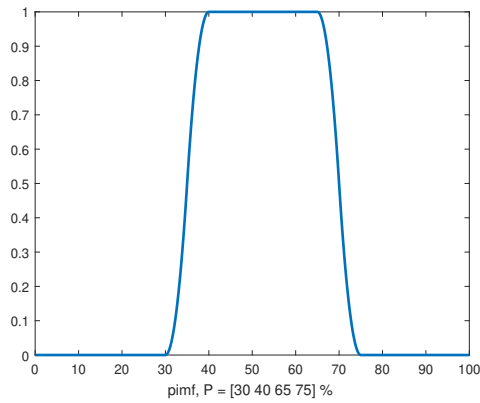


Figura 7 – Função de pertinência da umidade

O ponto  $b$  (500 lux) da Equação (3.1) do índice de iluminância é determinado com base na norma ABNT (2013), esta determina apenas o valor mínimo. Porém um local com iluminação muito forte pode causar incômodo, desta forma utiliza-se também a norma ABNT (1992) para escolher o limite de 1000 lux como o ponto  $c$ . O ponto  $d$  é escolhido como 500 lux a mais e o ponto  $a$  como 100 lux a menos do que o normativo conforme apresentado na Figura 8.

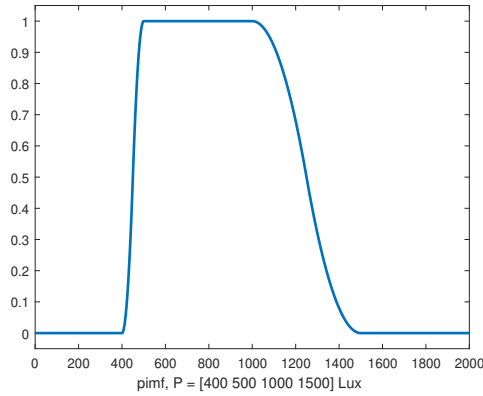


Figura 8 – Função de pertinência da iluminância

### 3.1.2 Função de Pertinência Tipo Z

Para o dióxido de carbono, poeira e ruído a função de pertinência é dada pela função forma de z. Os parâmetros  $a$  e  $b$  se localizam nos extremos da porção inclinada da curva dada por

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (3.2)$$

O comportamento da função em cada ponto, modelado de acordo com a Equação (3.2), é apresentado nas Figuras 9 a 11. Para essas funções apenas o valor máximo (ponto  $a$ ) permitido é normativo e o ponto  $b$  é considerado a tolerância para as especificações normativas.

Para o dióxido de carbono conforme ANVISA (2003), o ponto  $a$  é 1000 ppm que é o valor máximo normativo. O  $b$  considera-se 100 ppm a mais: 1100 ppm, conforme apresentado na Figura 9.

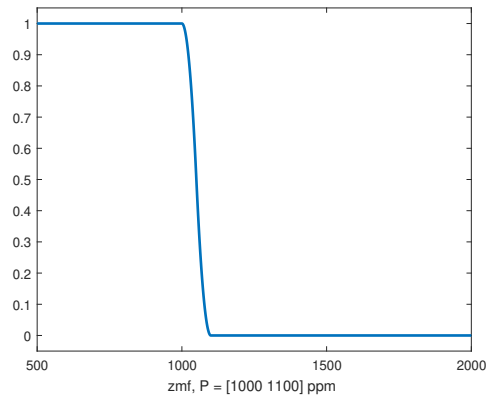


Figura 9 – Função de pertinência do dióxido de carbono

Para o ruído conforme especificado na norma ABNT (2017), o ponto  $a$  é 40 dB que é o valor máximo. No ponto  $b$  da Equação (3.2), considera-se 5 dB a mais: 45 dB, conforme apresentado na Figura 10.

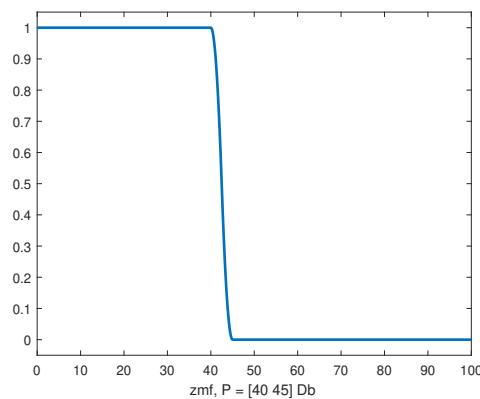


Figura 10 – Função de pertinência do ruído

Para a poeira conforme ANVISA (2003) o ponto  $a$  é  $80 \mu g/m^3$ , este é o valor máximo especificado. O ponto  $b$  da Equação (3.2) é  $10 \mu g/m^3$  a mais:  $90 \mu g/m^3$ , conforme apresentado na Figura 11.

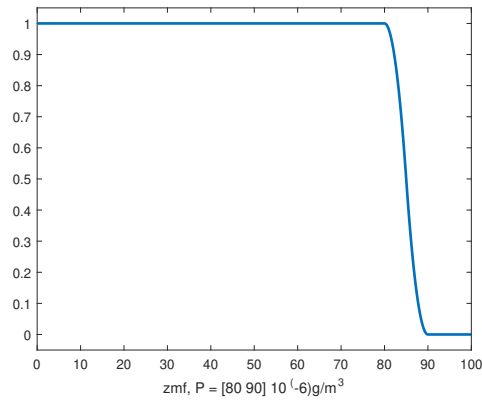


Figura 11 – Função de pertinência da poeira

Os pontos da norma discutidos nesta seção são resumidos pela Tabela 1. Os pontos são obtidos com base nas especificações normativas do Capítulo 2 que viabilizaram as funções de pertinência citadas.

Tabela 1 – Limite dos índices com base nas normas

| Variáveis                           | $a$  | $b$  | $c$  | $d$  |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )  | 17   | 20   | 23   | 26   |
| Umidade (%)                         | 30   | 40   | 65   | 75   |
| Iluminância (lux)                   | 400  | 500  | 1000 | 1500 |
| Dióxido de Carbono (ppm)            | 1000 | 1100 |      |      |
| Ruído (dB)                          | 40   | 45   |      |      |
| Poeira ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 80   | 90   |      |      |

Os IQA's para cada medida são utilizados para o cálculo do Índice Médio do Ambiente - IMA. Este índice informa se o ambiente atende as especificações normativas considerando todas as medidas (temperatura, umidade, gás e luz) como um índice global. O IMA é calculado baseado na média aritmética de todos os índices, de acordo com a equação que é dada por

$$IMA = \frac{\sum_{i=1}^n IQA(i)}{n}, \quad (3.3)$$

sendo  $n$  o número de grandezas medidas no ambiente.

## 3.2 Modelo do Sistema *Fuzzy*

O sistema *fuzzy* desenvolvido é o do tipo Mandani, este tem o objetivo de avaliar o nível de qualidade do ambiente de acordo com o nível de cada grandeza monitorada. Nesta seção são apresentadas a fuzzificação (SHAW; SIMÕES, 1999) que explica como

cada função de pertinência é obtida e o sistema de inferência *fuzzy* que explica como as regras são desenvolvidas.

### 3.2.1 Fuzzificação

A fuzzificação é o processo de transformar valores *crisp* em variáveis linguísticas *fuzzy*. A função de pertinência é utilizada para associar o grau para cada variável linguística. A seleção do número de funções de pertinência e seus valores iniciais são baseados no processo de conhecimento e intuição. Uma função de pertinência tem valor entre 0 e 1 ao longo de um intervalo de variáveis *crisp*. O número de funções de pertinência pode variar para proporcionar a resolução necessária. O número de regras pode crescer exponencialmente conforme o número de funções de pertinência cresce (MANJUNATHA; VERMA; SRIVIDYA, 2008).

No algoritmo da qualidade do ambiente, a temperatura, umidade, luz, gás, ruído e poeira são as variáveis de entrada do sistema *fuzzy*, e o ambiente é a variável de saída.

Para a temperatura, umidade e luz, as funções de pertinência são *low*, *med* e *high*. O *low* significa que o ambiente está muito frio ou pouco úmido ou pouco iluminado com base na norma. O *high* significa que o ambiente está muito quente ou muito úmido ou muito iluminado. O *med* significa que está com os valores agradáveis e atende as especificações normativas. Para o  $CO_2$ , ruído e poeira as funções de pertinência são *low* e *high*. O *low* significa que o valor do  $CO_2$ , ruído ou poeira atendem as especificações normativas e o *high* significa que o valor não atende as especificações.

As funções de pertinência para o nível de qualidade do ambiente são *vlow*, *low*, *med*, *high* e *vhigh*, onde *vlow* representa a situação menos saudável para os ocupantes e *vhigh* é o mais saudável.

### 3.2.2 Sistema de Inferência Fuzzy

O método mais comum utilizado numa técnica de inferência *fuzzy* é o Mandani. As bases de regras *fuzzy* conduzem o sistema de inferência para produzir saída *fuzzy*, o quais são defuzzificados (SHAW; SIMÕES, 1999) para obter a saída do sistema.

As regras do sistema são estabelecidas com base na Tabela 2. Quando a temperatura ou umidade ou luz não atendem as especificações normativas, referem-se a *low* ou *high* (não média). Para o ruído ou poeira ou  $CO_2$  quando estes não atendem as especificações referem-se a *high*.

Tabela 2 – Regras *Fuzzy*

| Quantidade de variáveis<br>que não atendem as<br>especificações normativas | Saída        |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 0                                                                          | <i>vhigh</i> |
| 1                                                                          | <i>high</i>  |
| 2                                                                          | <i>med</i>   |
| 3                                                                          | <i>med</i>   |
| 4                                                                          | <i>low</i>   |
| 5                                                                          | <i>vlow</i>  |
| 6                                                                          | <i>vlow</i>  |

Algumas regras aplicadas nesta etapa são apresentadas a seguir:

1. Se (a temperatura não é média) e (a umidade não é média) e (a luz não é média) e (o  $CO_2$  é alto) e (o ruído é alto) e (a poeira é alta) então (o ambiente é muito baixo)
2. Se (a temperatura não é média) e (a umidade é média) e (a luz não é média) e (o  $CO_2$  é alto) e (o ruído é alto) e (a poeira é baixa) então (o ambiente é baixo)
3. Se (a temperatura é média) e (a umidade é média) e (a luz é média) e (o  $CO_2$  é alto) e (o ruído é alto) e (a poeira é alta) então (o ambiente é médio)

Após as regras desenvolvidas, a próxima etapa é definir o método de defuzzificação (SHAW; SIMÕES, 1999), para este trabalho é utilizado o centroide.

### 3.3 Modelo da Rede de Sensores

Primeiramente para melhor explicação do modelo da rede define-se *gateway* e estação base.

**Gateway/Estação Base:** O *gateway* ou a estação base para comunicação sem fio fornece coleta de dados do sensor em um banco de dados. O transceptor de rádio da estação base está se comunicando com os nós sensores no campo. A estação base é um sistema independente com um chassi que é contra um ambiente inóspito. O *gateway*/estação base fornece conexão de *gateway* com outras redes. Se possível, a estação base é conectada à *Internet*, permitindo assim algum monitoramento remoto do sistema e aquisição de dados. Esta pode executar aplicativos de *software* de banco de dados para o gerenciamento de dados de detecção. O subsistema da estação base pode hospedar qualquer aplicativo de interface de usuário acessível pela *Internet* ou localmente na estação base (SELMIC; PHOHA; SERWADDA, 2016).

Para fins de monitoramento da qualidade do ambiente de pesquisa do laboratório, o sistema proposto consiste em uma rede de sensores composta por três nós. A rede

desenvolvida é baseada no modelo de estrela com três *sinks* “ponto a ponto”, neste modelo os sensores são organizados na forma de uma estrela, tendo a base central como um *gateway* que transmite o seu dado para um servidor. De forma generalista, tem-se esse processo esquematizado pelo diagrama de blocos da Figura 12. Os nós de sensores transmitem os dados diretamente para o *gateway* (roteador), não tem interoperabilidade entre os nós de sensores e os sensores, portanto é uma rede não competitiva. Quando comparado com outras topologias, uma das principais prescrições desta rede é o baixo consumo de energia.

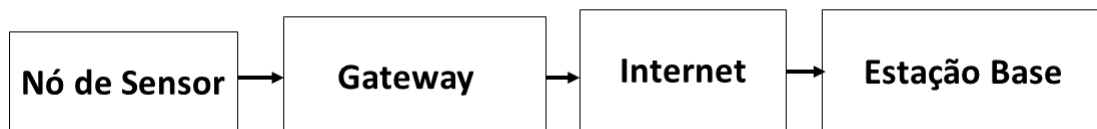


Figura 12 – Diagrama de blocos da rede de sensores

Cada nó de sensores é composto por sensor de temperatura, umidade, gás, ruído, luz e poeira, conforme apresentado na Figura 13. Os sensores são conectados a um *Arduino Uno* que envia as aquisições para a *Internet*, por meio da ESP-01. O *gateway* é o roteador do laboratório, que recebe as aquisições de sinais de cada nó de sensores. As medições da rede são enviadas para o *ThingSpeak* (Servidor de Rede), que é uma plataforma de IoT, e são processadas em um computador que é estação base (Servidor de Aplicação).

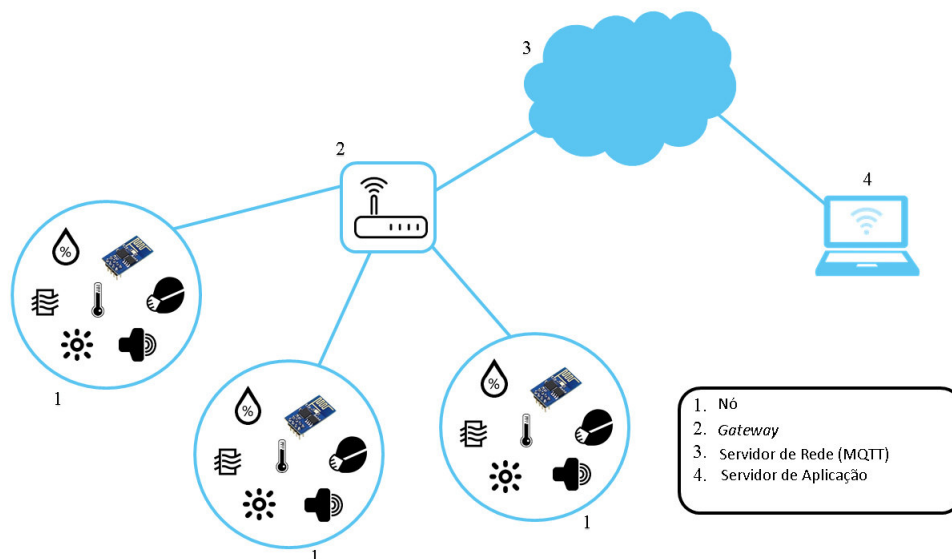


Figura 13 – Disposição da rede de sensores

O *ThingSpeak<sup>TM</sup>* é um serviço de plataforma analítica da IoT que permite agregar, visualizar e analisar fluxos de dados ao vivo na nuvem. Este fornece visualizações

instantâneas de dados postados por seus dispositivos no *ThingSpeak*. Com a capacidade de executar o código *MATLAB*® pode-se realizar a análise e o processamento *online* dos dados conforme eles são recebidos. É frequentemente utilizado para prototipagem e verificação de conceito de sistemas IoT que exigem análise (THINGSPEAK, 2018).

A hierarquia da rede e a explicação de cada componente da WSN são apresentadas na Figura 14.

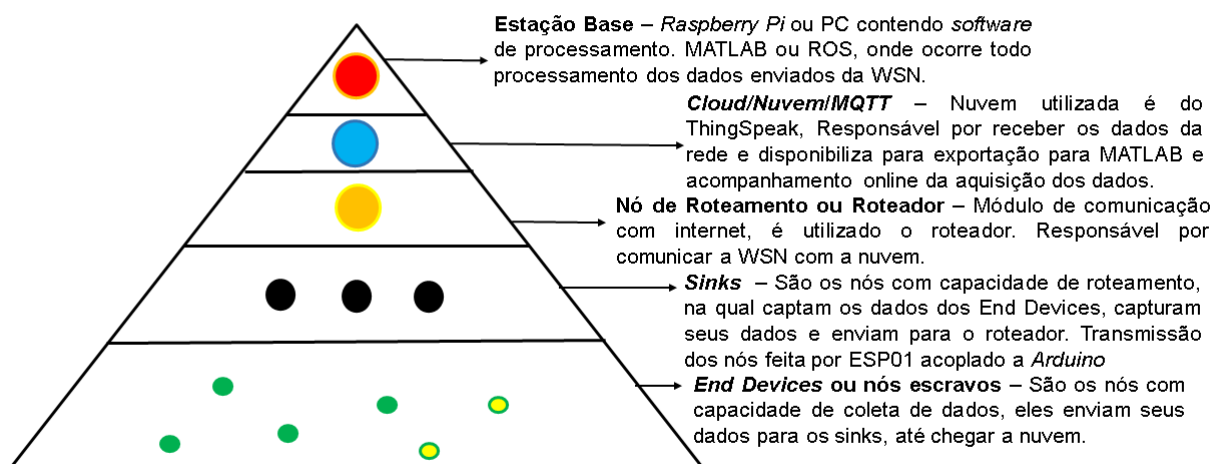


Figura 14 – Hierarquia da rede de sensores

A comunicação entre os componentes da rede é apresentada na Figura 15. Existe a comunicação apenas entre os *sinks*, porém os *sinks* ainda não armazenam aquisições de sinais um dos outros, mas se comunicam entre si. Essa comunicação possibilita saber se os *sinks* estão adquirindo ou enviando as medições para a nuvem. Os *sinks* possuem modo cliente configurado.

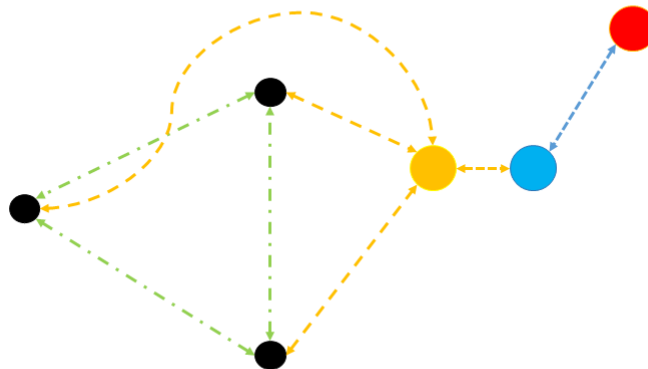


Figura 15 – Esquemático da rede de sensores

### 3.3.1 Componentes do Nó de Sensores

Os componentes do nó de sensores são compostos por sensores, microcontrolador, unidade de comunicação e alimentação, conforme descrição da Seção 2.3.1

#### 3.3.1.1 Sensores

As principais características de funcionamento, faixa de operação e especificações técnicas dos sensores são apresentadas nesta seção. Maiores informações são encontradas nas folhas de dados, livros e manuais de sensores e instrumentação. Cada nó de sensores do sistema abordado é composto pelos sensores de temperatura, umidade, luz, gás, poeira e ruído.

- Sensor de Temperatura e Umidade

O módulo do sensor digital de temperatura e umidade DHT11 pode fornecer um sinal digital calibrado de saída de temperatura e umidade. Aplicação de uma tecnologia dedicada de coleta de módulos digitais e tecnologia de detecção de temperatura e umidade. O sensor inclui uma sensação resistiva de componentes úmidos e dispositivos de medição de temperatura NTC (*Negative Temperature Coefficient*) e conectados a um microcontrolador de 8 bits de alto desempenho (AOSONG, 2019).

- Sensor de Luz

O LDR (*Light Dependent Resistor*) é um resistor dependente de luz ou fotorresistência, cuja resistência varia conforme a intensidade da luz (iluminamento) que incide sobre ele. O módulo do sensor de luz que é composto por um sensor LDR possui uma saída digital e analógica, que podem ser conectadas diretamente ao *Arduino*.

Quando a intensidade de luz está abaixo do valor ajustado, a saída do sensor fica em estado alto, e quando a intensidade de luz ultrapassa a faixa, a saída fica em estado baixo. Este valor pode ser ajustado por meio do potenciômetro presente no sensor que regulará a saída digital D0. Pode-se obter informações sobre a variação de luz no sensor utilizando a saída analógica A0 do módulo. O comparador presente no módulo é apresentado na folha de dados em Fairchild (2019).

- Sensor de Gás

Sensor de Gás MQ-135 para Gases Tóxicos é um módulo capaz de detectar vários tipos de gases tóxicos como amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico, e também fumaça ou álcool (HANWEI, 2019b).

O Sensor de Gás MQ-2 Inflamável e Fumaça é capaz de detectar concentrações de gases combustíveis e fumaça no ar. Quando a concentração de gases fica acima do nível ajustado pelo potenciômetro, a saída digital D0 fica em estado alto. Se abaixo do nível, fica em estado baixo. Para ter uma resolução melhor e medir a variação da concentração dos gases no ar, é possível utilizar a saída analógica A0 e conectar a um conversor AD, como o presente no *Arduino* e *Raspberry Pi* (HANWEI, 2019a).

- Sensor de Poeira

Módulo Sensor de Poeira e Fumaça DSM501A trata-se de um pequeno e eficiente sensor detector de poeira e fumaça para *Arduino*, responsável por identificar partículas de tamanho compacto, em geral, detecta poeiras finas em partículas tão pequenas quanto  $1\ \mu\text{m}$  (micrômetro) e partículas que flutuam em um espaço de até  $30\ \text{m}^3$ .

Por meio da entrada forçada de ar recolhido do ambiente, mede a dispersão refletida nas partículas de luzes, sendo esta medição convertida em sinal na saída PWM (*Pulse Width Modulation*).

Entre as pequenas partículas detectáveis pelo Sensor de Poeira para *Arduino* destacam-se a poeira, o pólen, o ácaro, os germes, e a fumaça de cigarro, que são causas conhecidas para as doenças respiratórias e alergias (SAMYOUNG S&C CO. LTD., 2018).

- Sensor de Ruído

O objetivo do Sensor de Som KY-038 é medir a intensidade sonora do ambiente ao seu redor, variando o estado de sua saída digital caso detectado um sinal sonoro.

O limite de detecção pode ser ajustado por meio do potenciômetro presente no sensor que regula a saída digital D0. Contudo, para ter uma resolução melhor, é possível utilizar a saída analógica A0 e conectar a um conversor AD, como a presente no *Arduino*, por exemplo (VELLEMAN, 2019).

### 3.3.1.2 Microcontrolador

A Unidade de Processamento do nó de sensores é o microcontrolador ATmega328 presente na plataforma de prototipagem eletrônica *Arduino*. *Arduino* é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em um hardware e *software* fáceis de utilizar. A placa *Arduino* realiza o sensoriamento do ambiente recebendo entradas de vários sensores, e afeta o seu redor controlando luzes, motores e outros atuadores. Diz-se ao *Arduino* o que este deve executar, escrevendo o código na linguagem de programação C e utilizando o ambiente de desenvolvimento do próprio *Arduino* (ARDUINO, 2018). Optou-se pelo uso do *Arduino* devido ao baixo custo e facilidade de implementação desta plataforma.

### 3.3.1.3 Unidade de Comunicação

A Unidade de comunicação do nó de sensores é o módulo *WiFi* ESP8266 ESP-01. Este módulo possibilita conectar o microcontrolador a uma conexão *WiFi* de forma fácil, eficaz e a um baixo preço. Suporta as redes 802.11 b/g/n, muito utilizada atualmente, podendo trabalhar como um Ponto de Acesso (*Access Point*) ou com uma Estação (*Station*), enviando e recebendo dados (ESPRESSIF SYSTEMS, 2019).

As seguintes características são destacadas da folha de dados: é utilizada para aplicações em rede de sensores e é uma tecnologia de baixo consumo, com três modos de operação ativa, *sleep* e *deep sleep*. No modo *sleep*, consome menos que 12  $\mu\text{A}$  e menos potência 1 mW ou 0.5 mW.

A alimentação de cada nó é realizada por meio de uma fonte de alimentação de 9 V.

## 3.3.2 Comentários do Capítulo

Neste Capítulo foi apresentada a metodologia para desenvolvimento das funções baseadas na lógica *fuzzy*, estas funções são elaboradas a partir das normas brasileiras. O índice médio indica a qualidade do ambiente levando em consideração os índices individuais para cada grandeza. O sistema *fuzzy* proposto determina a qualidade do ambiente com base nas funções de pertinência desenvolvidas para cada grandeza do ambiente. A rede de sensores utilizada neste trabalho é uma rede de topologia estrela que possui seis variáveis de sensoriamento.

---

## CAPÍTULO 4

---

# RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS MODELOS INTELIGENTES

Os resultados experimentais dos modelos inteligentes, propostos no Capítulo 3, que baseiam-se nas abordagens de lógica *fuzzy* e redes de sensores do Capítulo 2 são apresentados neste capítulo, sendo organizado em três seções principais que abordam tópicos relacionados com : 1) Ambiente do estudo de caso que é um laboratório de pesquisa com três salas, 2) Índice de qualidade utilizando funções que baseiam-em na lógica *fuzzy*, e 3) Sistema *fuzzy* associado a rede de sensores que são componentes do sistema de monitoramento proposto.

Inicialmente é apresentado o local utilizado como ambiente de estudo de caso para o desenvolvimento da metodologia proposta. Em seguida, são apresentados os resultados experimentais dos três modelos desenvolvidos no Capítulo 3 para monitoramento da qualidade do ambiente. Na seção referente ao índice de qualidade utilizando funções *fuzzy*, tópicos que são propostos; a) Aquisição de sinais do sensores, b) Funções de pertinência online, c) Índice médio do ambiente, e d) Sistema proposto no ambiente de um laboratório. Na seção dedicada a aplicação do sistema *fuzzy* associado à rede de sensores para monitoramento da qualidade do conforto de ambientes, aborda-se os principais tópicos que apresentam aspectos teóricos e de implementação do sistema, que são a) Funções de pertinência, b) Base de regras fuzzy, c) Aquisição de medidas dos sensores, d) Implantação da rede, e e) Aplicação do sistema *fuzzy* às medidas dos sensores. O modelo da rede de sensores apresentado no Capítulo 3 é utilizado em ambos os modelos *fuzzy*. Estes modelos utilizam as aquisições de sinais da rede de sensores para implementação dos índices de qualidade e do sistema *fuzzy*.

Ainda, os resultados apresentados levam em consideração as funções baseadas na lógica *fuzzy* para os índices de qualidade e os esquemas de alerta para os usuários. Os resultados obtidos são provenientes do modelo do sistema *fuzzy*, ie, as funções de pertinência de entrada e saída e a base de regras facultam a classificação do ambiente como saudável ou não saudável.

## 4.1 Ambiente do Estudo de Caso

O local escolhido para monitoramento da qualidade do ambiente é o Laboratório de Controle de Processos - LCP, localizado no Bloco 04, sala 201 do CCET-Centro de Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão. A área total é de 50  $m^2$ . Um nó de sensores é alocado em cada subespaço do laboratório conforme apresentado na Figura 16.

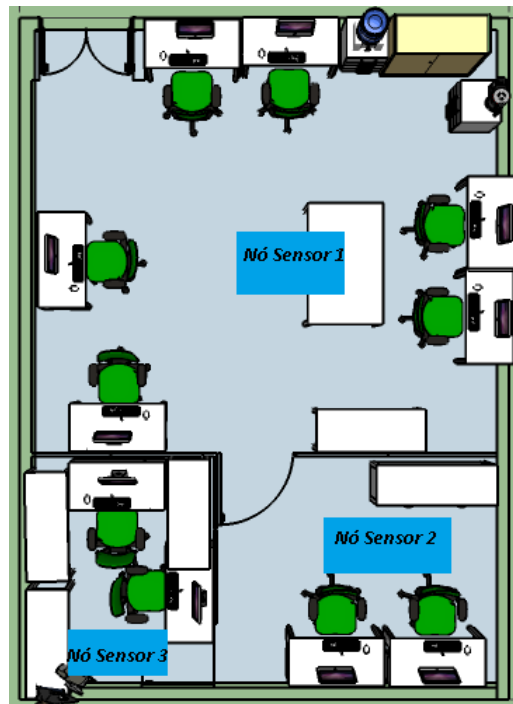


Figura 16 – Planta do laboratório apresentando a localização dos nós de sensores

Cada nó possui a estrutura apresentada na Figura 1 do Capítulo 2 e estes nós estão interligados à rede de sensores de acordo com a Figura 13. Toda a arquitetura é realizada sem fio e com a topologia estrela devido a maior simplicidade e menor consumo de energia desta topologia. A cobertura dos nós é apresentada na Figura 17, a explicação de cada símbolo é vista na Figura 14.

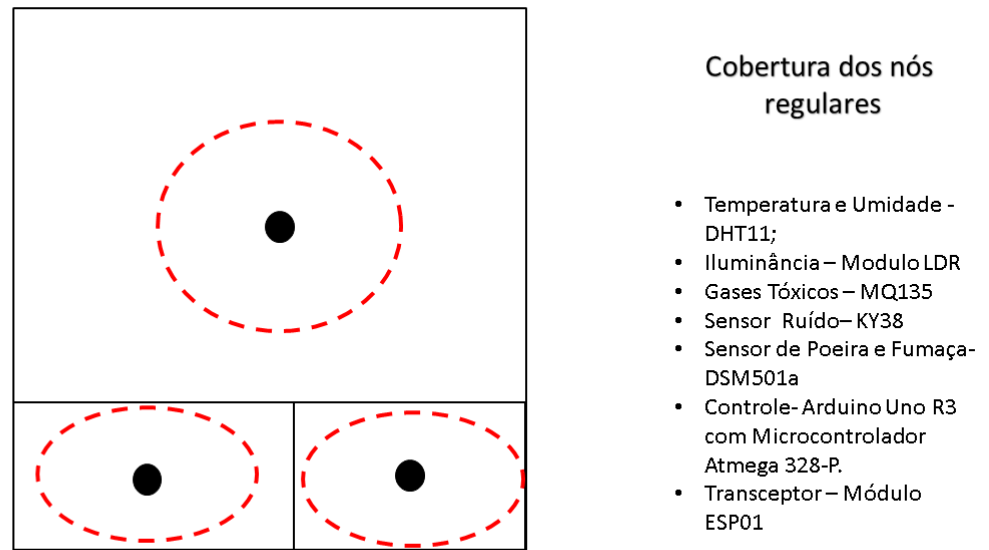


Figura 17 – Cobertura dos nós de sensores no ambiente do laboratório da Figura 16

## 4.2 Índice de Qualidade Utilizando Funções com Base na Lógica Fuzzy

Nesta seção são apresentados os resultados do modelo desenvolvido na Seção 3.1. Apresentam-se as aquisições de sinais do sensor, em que nesta etapa é explicado como as medições são realizadas. Em seguida, apresentam-se as funções de pertinência *online* para construção dos IQA, a partir das funções desenvolvidas na Seção 3.1. O IMA é obtido a partir dos IQA individuais para cada grandeza medida. Por fim, o sistema de monitoramento proposto para o laboratório é apresentado.

### 4.2.1 Aquisição de Sinais dos Sensores

Os experimentos são realizados com o sensor DHT11 de temperatura e umidade, o sensor de luz LDR, o sensor de gás MQ-02, estes são ligados a um *Arduino Uno* e a ESP8266 conforme apresentado na Figura 18. As linhas pontilhadas desta figura delimitam cada bloco da Figura 12, em que o *gateway* não está ilustrado, porém como explicado este é o roteador do laboratório. Esta montagem está relacionada com a disposição da rede apresentada na Figura 13.

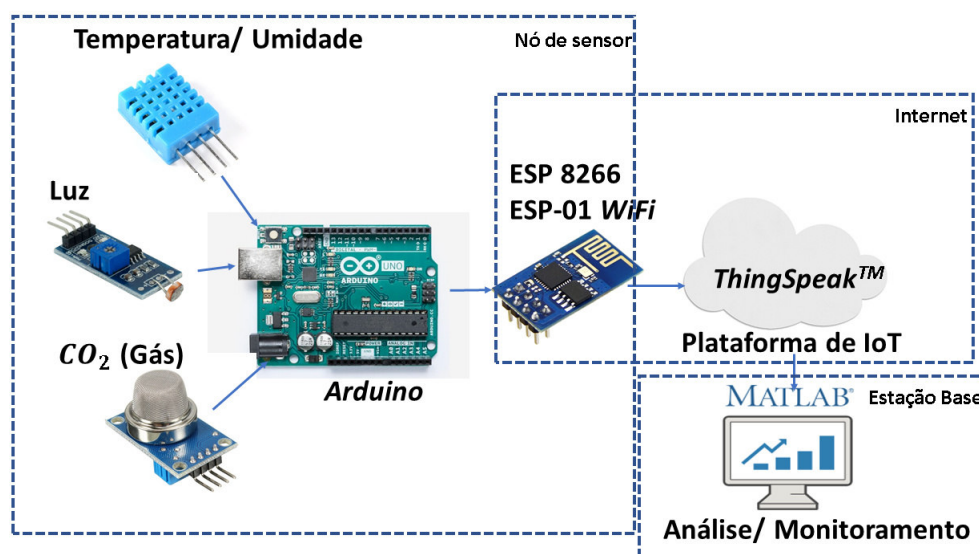


Figura 18 – Esquema do nó de sensores

As medições do nó de sensores são enviadas para o *ThingSpeak*. Na Figura 19 é apresentada a tela com os gráficos para cada sensor. Primeiramente é definido um canal para armazenar as aquisições de sinais dos sensores do laboratório LCP, neste canal são definidos quatro campos: temperatura, umidade, dióxido de carbono, e iluminância. No microcontrolador são inseridas as rotinas para envio das aquisições de sinais recebidos dos sensores, estas rotinas contemplam o uso da ESP-01 como antena para envio sem fio destas aquisições para a *Internet*.

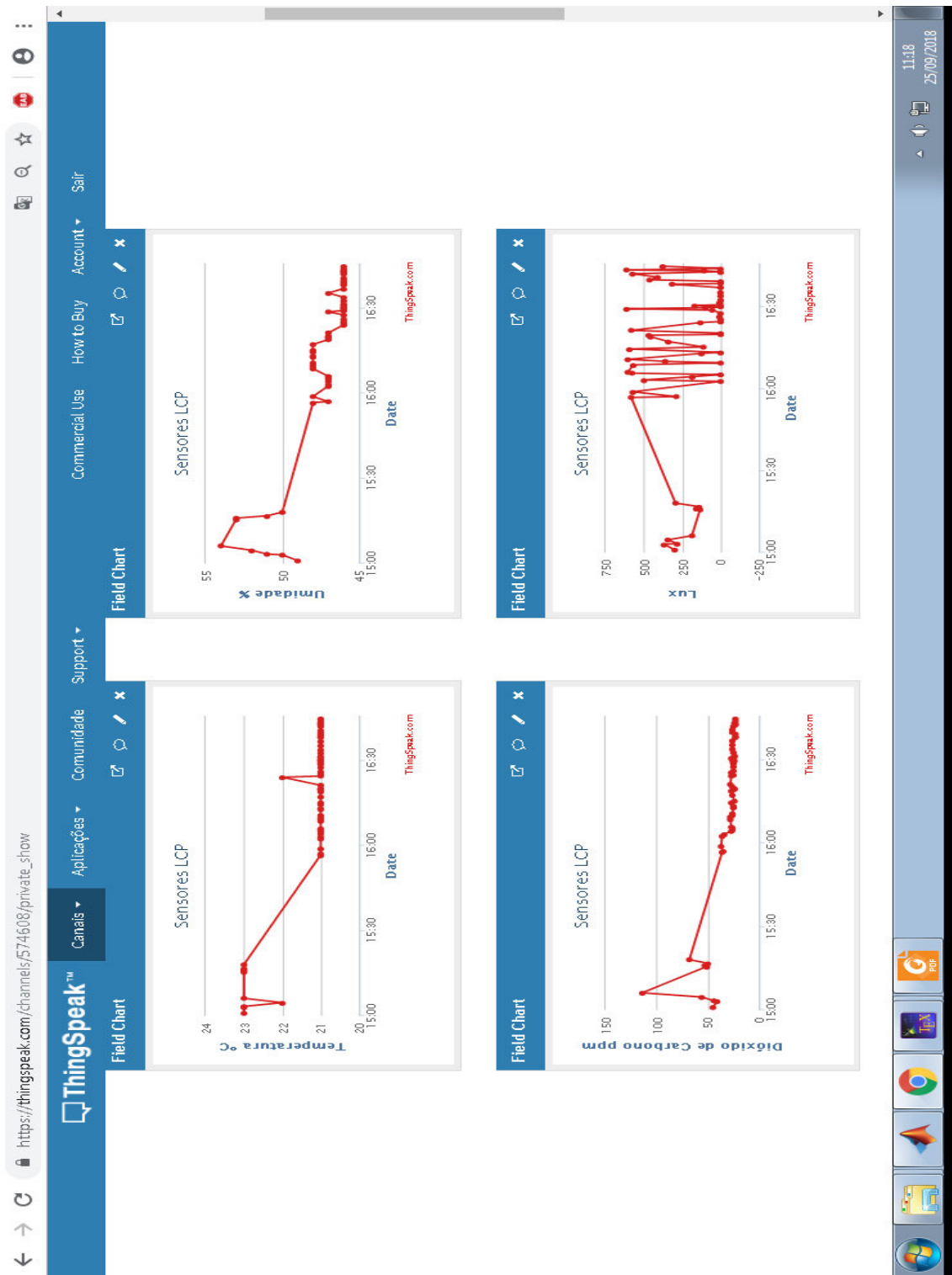


Figura 19 – Medições dos sensores no canal do *ThingSpeak*

As aquisições de sinais do *ThingSpeak* são lidas pelo *MATLAB*<sup>®</sup> por meio da chamada da função *ThingSpeakRead*. Neste programa utilizou-se uma API (*Application Programming Interface* em português Interface de Programação de Aplicativos) que é instalada no *MATLAB*<sup>®</sup> para o reconhecimento das funções de leitura. Os experimentos são processados durante 24 horas, com um intervalo de 15 segundos entre as aquisições,

tempo padrão de atualização do *ThingSpeak*. Para este experimento, são escolhidas as 200 últimas aquisições, estas são apresentadas nas Figuras 20 a 23.

Sob condições normais a temperatura do ambiente varia de 21 °C a 27 °C, conforme apresentado na Figura 20. Considerando esta medição no período da tarde e sob condições normais em algumas medições a temperatura não atende as especificações normativas.

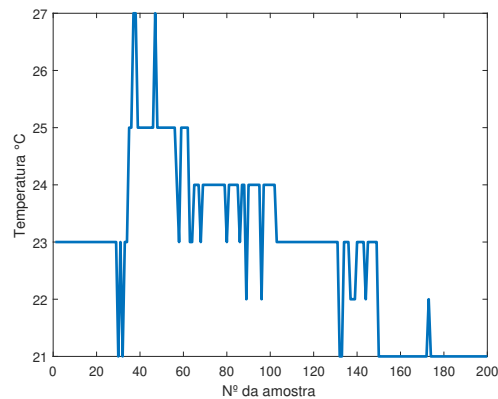


Figura 20 – Medição do sensor de temperatura

A umidade varia entre 42% e 55%, sob condições normais, portanto esta permanece atendendo as especificações normativas ao longo da aquisição, conforme apresentado na Figura 21.

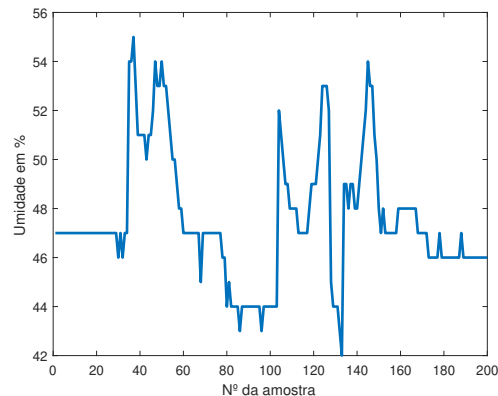


Figura 21 – Medições do sensor de umidade

A iluminância varia muito durante a medição, de 0 a 680 lux conforme apresentado na Figura 22. Esta variação é provocada pelo erro de calibração do sensor, e também para salientar que a metodologia aplicada pode ser utilizada em situações de falha do sensor.

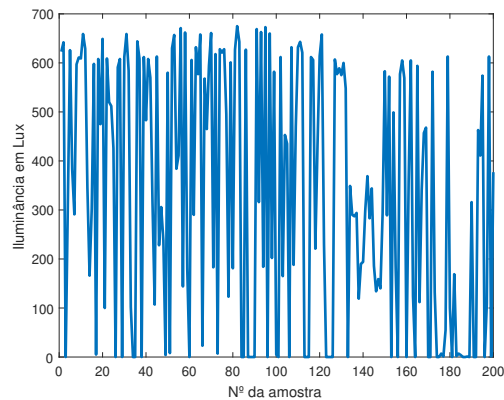


Figura 22 – Medições do sensor de luz

A quantidade de dióxido de carbono sob condições normais na maior parte das medições varia de 200 ppm a 400 ppm, conforme apresentado na Figura 23. Na medição 145 realiza-se a inserção de fumaça próximo ao sensor para aumentar o nível de dióxido de carbono, neste ponto há um pico na medição do sensor que passa a medir 1140 ppm.

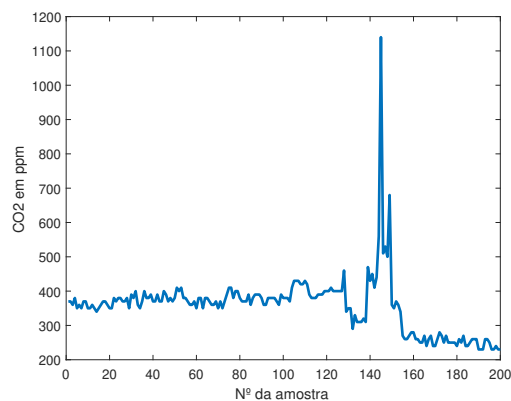


Figura 23 – Medições do sensor de gás

A aproximação da fumaça ao sensor de gás provoca aumento na temperatura uma vez que o sensor de gás está conectado próximo ao sensor de temperatura no *Arduino*. A perturbação é realizada para expor o sistema a diferentes condições de operação e testar o modelo desenvolvido.

Considerando a variação de temperatura ao longo de 24 horas, e sob condições normais, obtém-se um gráfico similar ao da Figura 24. Este gráfico foi obtido com base na previsão do comportamento da temperatura ao longo do dia e com base na temperatura média da cidade durante a noite. Entre as 8h e 20h, que são os horários que o laboratório está ocupado, a temperatura é mais baixa e mais agradável por conta do ar condicionado. Durante a noite quando os aparelhos de ar condicionado são desligados a temperatura é elevada por se tratar de um local fechado. A temperatura permanece por volta da temperatura média da cidade durante a noite, em torno de 26 °C e 27 °C.

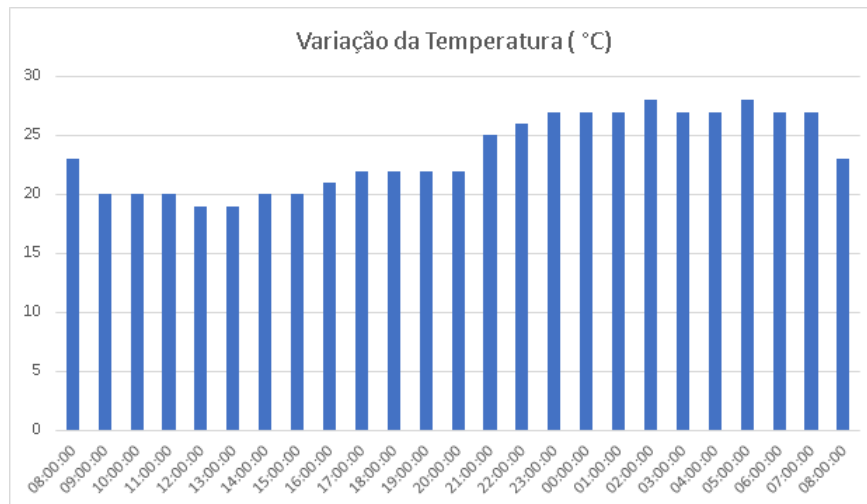


Figura 24 – Variação da temperatura ao longo de 24 horas para intervalos de 60 minutos

#### 4.2.2 Funções de Pertinência Online

Com as aquisições de sinais, aplica-se a função de pertinência nos pontos (aquisições dos sensores) para obtenção do IQA. O resultado do IQA juntamente com as funções de pertinência desenvolvidas na Seção 3.1 são aplicadas para avaliar o conforto do ambiente.

O IQA da temperatura é 1 na maioria das medições indicando que atende as especificações normativas. Em alguns momentos varia entre 0,77; 0,222 e 0, como pode ser observado na Figura 25.

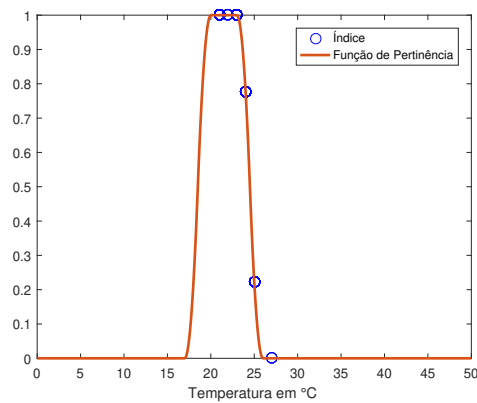


Figura 25 – Índice de qualidade de temperatura com as medições do sensor

A umidade permanece atendendo as especificações normativas ao longo da aquisição, portanto o índice é 1, como pode ser observado na Figura 26.

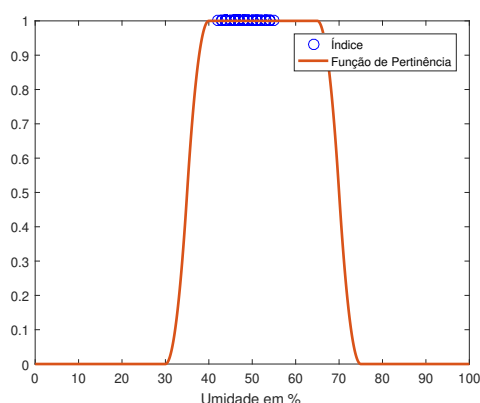


Figura 26 – Índice de qualidade de umidade com as medições do sensor

Em alguns pontos a iluminância não atende as especificações normativas (abaixo do limite de 500 lux). Desta forma, alguns índices são 0,8750; 0,1352; 0,7550, como pode ser observado na Figura 27.

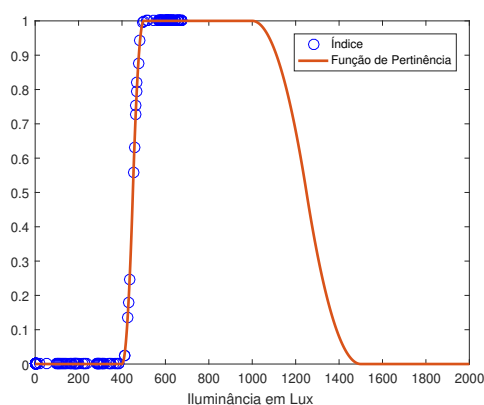


Figura 27 – Índice de qualidade de iluminância com as medições do sensor

Com o pico na quantidade de dióxido de carbono, causado pela inserção da fumaça, o índice de qualidade se torna 0, como pode ser observado na Figura 28.

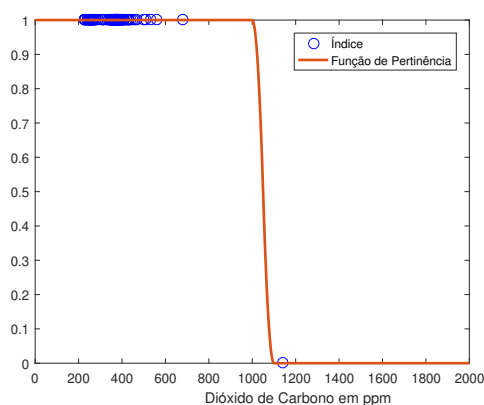


Figura 28 – Índice de qualidade do dióxido de carbono com as medições do sensor

### 4.2.3 O Índice Médio do Ambiente

Este índice informa se o ambiente atende as especificações normativas considerando todas as medições como um índice global. O IMA é calculado baseado na média aritmética de todos os índices, de acordo com a Equação (3.3). Portanto, o IMA é dado por

$$IMA = \frac{IQA_{temp} + IQA_{umi} + IQA_{ilum} + IQA_{CO_2}}{4} \quad (4.1)$$

Por meio da Equação (4.1) calcula-se o IMA para três amostras na Tabela 3. Cada amostra é calculada com base nas medições das Figuras 20, 21, 22 e 23. Na medição de número 10 todas as aquisições do ambiente atendem as especificações normativas, o IQA é individualmente igual a 1 portanto a média é 1. Nas amostras 65 e 145 algumas medidas não atendem as especificações normativas, portanto o IMA é menor que 1.

Tabela 3 – Cálculo do IMA

| Amostra         | 10      |     | 65      |        | 145      |     |
|-----------------|---------|-----|---------|--------|----------|-----|
|                 | Medição | IQA | Medição | IQA    | Medição  | IQA |
| Temperatura     | 23 °C   | 1   | 24 °C   | 0,7778 | 23 °C    | 1   |
| Umidade         | 47%     | 1   | 47%     | 1      | 54%      | 1   |
| CO <sub>2</sub> | 350 ppm | 1   | 380 ppm | 1      | 1140 ppm | 0   |
| Iluminância     | 609 lux | 1   | 658 lux | 1      | 186 lux  | 0   |
| IMA             |         | 1   |         | 0,9445 |          | 0,5 |

Na Figura 29 é apresentado o IMA para as últimas medições, a partir da tela do *ThingSpeak*. No *MATLAB*®, o IMA é calculado para cada amostra e em seguida os resultados são enviados para *ThingSpeak*, a partir da função de escrita *ThingSpeakWrite*.

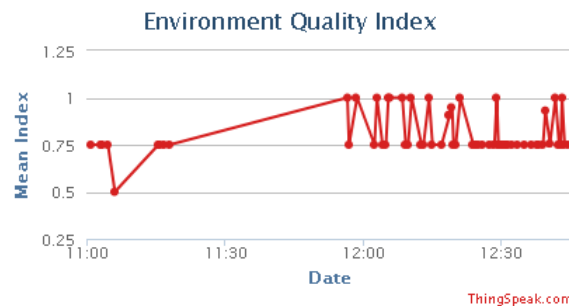


Figura 29 – Índice Médio do Ambiente

### 4.2.4 O Sistema de Monitoramento Proposto no Ambiente do Laboratório

Para um entendimento geral dos usuários, as interfaces do sistema de monitoramento propostas para o ambiente de laboratório são apresentadas na forma de medidores virtuais.

Tanto o IMA quanto o IQA individual para cada grandeza medida são classificados como ideal, razoável e crítico, de acordo com as Figura 30 que apresenta o índices médio e individuais do monitoramento do ambiente. As cores são utilizadas para chamar a atenção do usuário para a qualidade e a segurança do ambiente.

O monitoramento é especialmente importante em situações em que os usuários podem ser expostos a condições insalubres. Nas Figura 30a e 30b são apresentados os monitoramentos no *ThingSpeak* para o IMA e para cada um dos sensores. Estes medidores virtuais são destinados a alertar visualmente o usuário quando as medições ambientais são adequadas ou não. Na Figura 30b é apresentado o IMA calculado com base nas medições apontadas na Figura 30b. Neste exemplo, uma das medidas não atende às especificações normativas portanto, como calculado, o IMA é razoável.

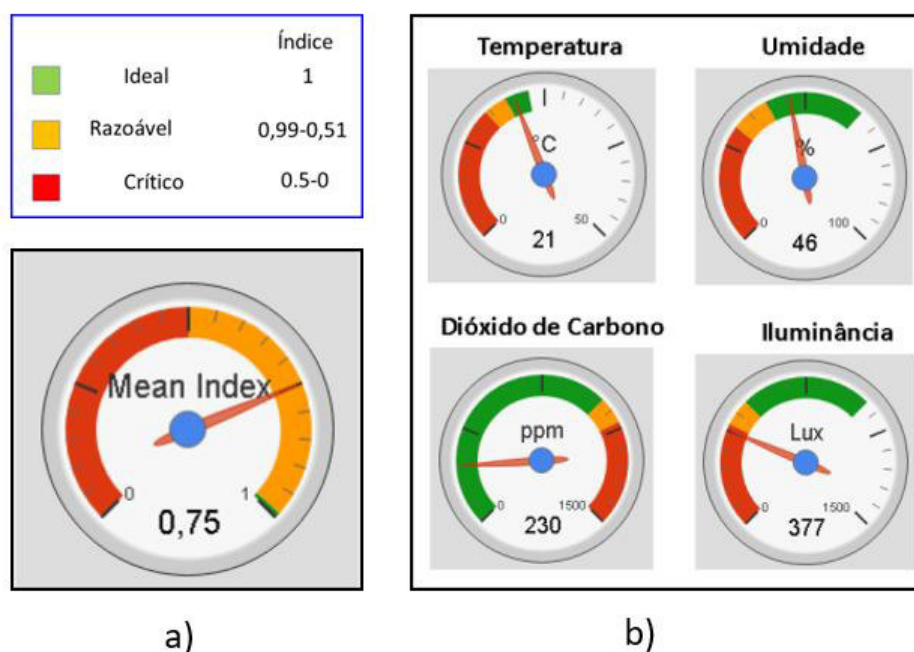


Figura 30 – Índices Médio e Individuais do Monitoramento do Ambientes

Esses índices podem ser utilizados para uma análise global do ambiente, bem como para alertar quando uma grandeza não atende fortemente as especificações normativas. Por exemplo, quando o IQA de iluminância indica 0,1, significa que não atende fortemente a norma e que uma ação deve ser executada, seja alertando ou tomando a decisão de reduzir uma lâmpada ao valor mínimo permitido.

No contexto do trabalho de Brdiczka, Crowley e Reignier (2009) e com base nas funções de pertinência desenvolvidas, os serviços são realizados de acordo com a Tabela 4 para cada função. Os serviços são realizados verificando se o ambiente está vazio ou com a presença de usuários executando atividades, tais como reunião, leitura ou experimentação. Para que a temperatura permaneça atendendo a norma, as ações devem ser executadas e,

além disso, se entrar em um nível crítico, emite um alerta. Se o laboratório estiver vazio, nenhuma ação é tomada.

Tabela 4 – Modelos de Situação

| Sensores    | Situação | Função               | Relação      | Serviço                                  |
|-------------|----------|----------------------|--------------|------------------------------------------|
| Temperatura | Presença | Ideal                | 20-23 °C     | Manter a temperatura estável             |
|             |          | Razoavelmente Frio   | 17,1-19,9 °C | Aumentar a temperatura                   |
|             |          | Razoavelmente Quente | 23,1-25,9 °C | Diminuir a temperatura                   |
|             |          | Criticamente Frio    | $\leq 17$ °C | Aumentar a temperatura e soar uma buzina |
|             |          | Criticamente Quente  | $\geq 26$ °C | Diminuir a temperatura e soar uma buzina |
|             | Vazio    |                      |              | Ar condicionado desligado                |

### 4.3 Sistema Fuzzy Aplicado à Rede de Sensores

Nesta seção são apresentados os resultados da metodologia desenvolvida na Seção 3.2 a uma rede de sensores. Apresentam-se as funções de pertinências, base de regras, aquisição de sinais dos sensores, implantação da rede e aplicação do sistema *fuzzy* às medições dos sensores.

#### 4.3.1 Funções de Pertinência

Com base na metodologia desenvolvida na Seção 3.2 as entradas do sistema são dadas pelas funções de pertinência. A função de pertinência da temperatura apresentada na Figura 31, é constituída da função gaussiana para representar o conjunto *fuzzy* ‘médio’ (*med*), e da trapezoidal para representar os conjuntos *fuzzy* ‘baixo’ (*low*) e ‘alto’ (*high*). O conjunto *fuzzy* para a temperatura ‘médio’ representa o intervalo de maior conforto térmico para os ocupantes. A temperatura agradável encontra-se em torno de 20 °C e 26 °C conforme a MTPS (1990) e ANVISA (2003).

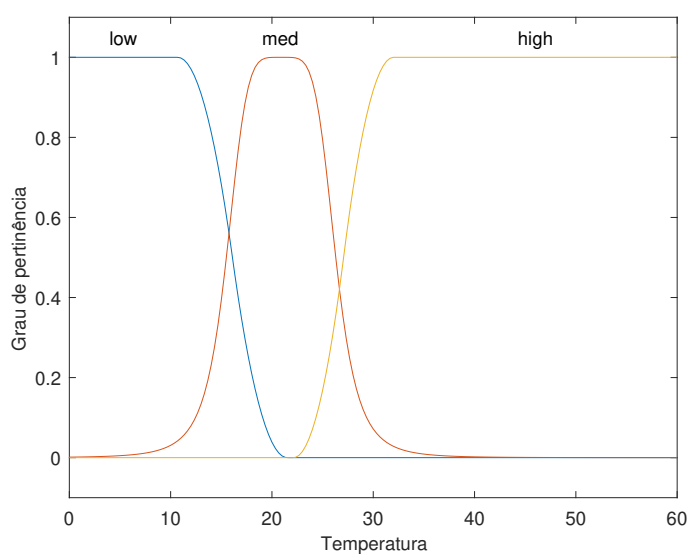


Figura 31 – Função de pertinência da temperatura em °C

Da mesma forma para a umidade apresentada na Figura 32, ‘médio’ representa os valores que proporcionam maior conforto com base nas normas ANVISA (2003) e MTPS (1990). Este valor encontra-se em torno de 40% e 65%. O conjunto ‘baixo’ representa a umidade abaixo das especificações normativas sendo, portanto, um ambiente seco. O conjunto ‘alto’ representa um nível elevado de umidade.

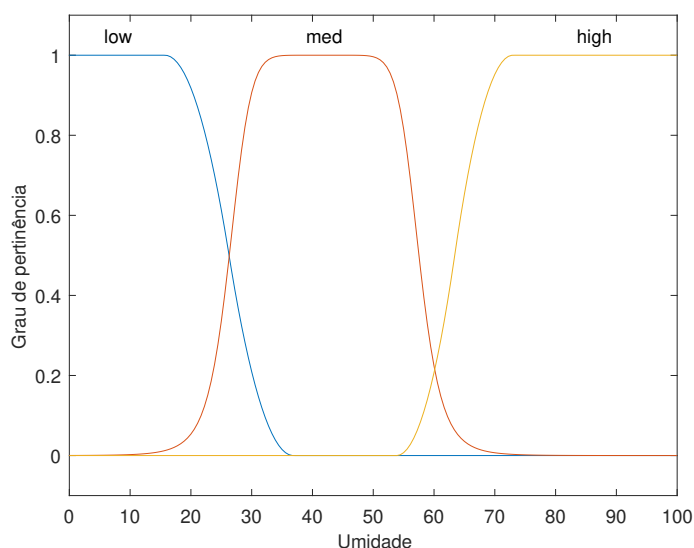


Figura 32 – Função de pertinência da umidade em %

Na Figura 33 são apresentados os valores ideais de iluminância que são definidos com base na norma ABNT (2013) para o valor mínimo representado por ‘baixo’ e com base na norma ABNT (1992) para o valor máximo representado por ‘alto’. A partir de

ambas as normas, é definido o conjunto *fuzzy* ‘médio’ que representa o limite agradável para maior conforto, encontrando-se entre 500 lux e 1000 lux.

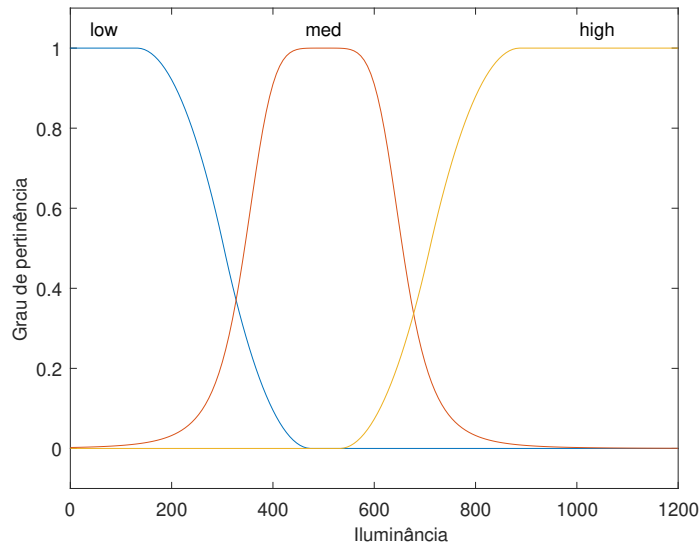


Figura 33 – Função de pertinência da iluminância em lux

A função de pertinência para o dióxido de carbono da Figura 34 é representado pelo conjunto *fuzzy* ‘baixo’ e ‘alto’ uma vez que, conforme a norma ANVISA (2003), acima de 1000 ppm é considerado inadequado. Consequentemente ‘baixo’ representa o nível desejável. Com o conjunto *fuzzy* é realizada uma transição em volta do limite máximo estabelecido. Essa transição impacta no cálculo do valor de saída do sistema *fuzzy* após considerar cada função de pertinência.

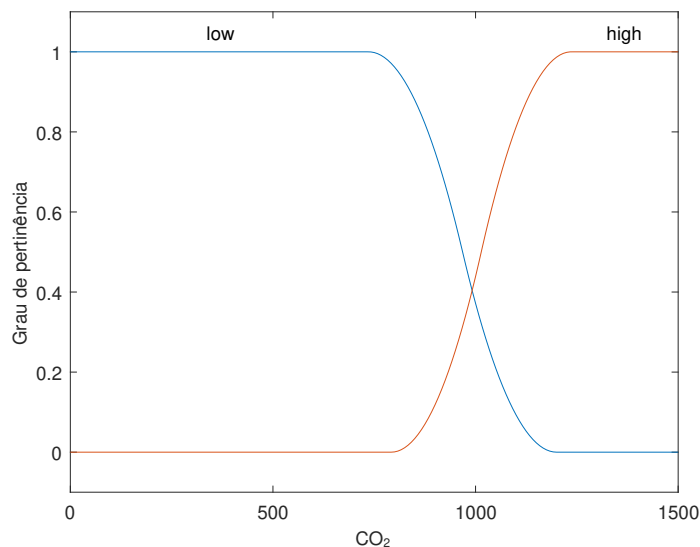


Figura 34 – Função de pertinência do dióxido de carbono em ppm

A mesma lógica é aplicada para a avaliação dos níveis de poeira e ruído. Para a poeira, na Figura 35, o limite aceitável é de  $80 \mu g/m^3$  conforme é apresentado na norma ANVISA (2003). Apenas o valor máximo de poeira é avaliado, uma vez que quanto menor for a concentração de partículas de poeira melhor será para os usuários do ambiente. A partir desta colocação são definidos os conjuntos ‘baixo’ para representar o nível que atende as especificações normativas e ‘alto’ para representar o nível que não atende.

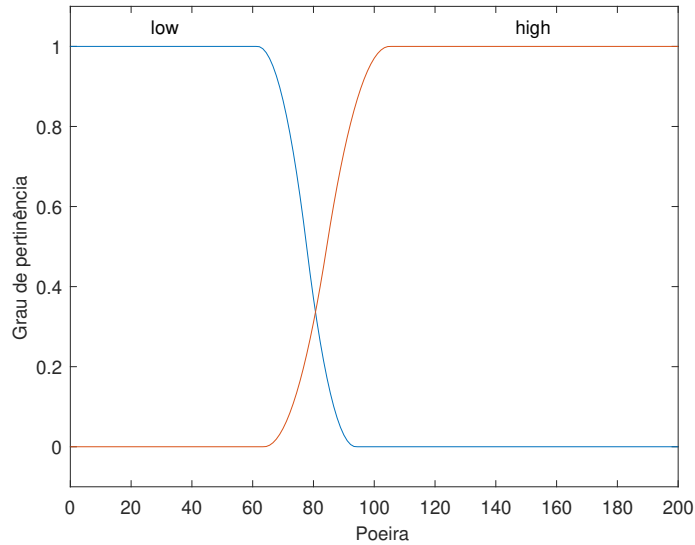


Figura 35 – Função de pertinência da poeira em  $\mu g/m^3$

O limite aceitável para o ruído é 45 dB conforme a norma ABNT (2017). Na Figura 36 são definidos apenas dois conjuntos ‘baixo’ e ‘alto’ e esses conjuntos cruzam-se em torno do ponto que representa o valor especificado na norma. Não é definido um terceiro conjunto pois não há um valor mínimo na norma, apenas um valor máximo. Quanto mais silencioso for o ambiente melhor é para a concentração em locais como laboratórios.

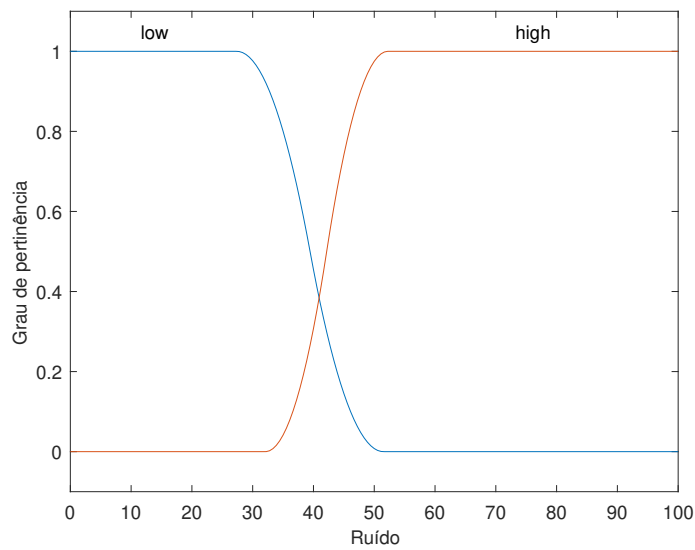


Figura 36 – Função de pertinência do ruído em dB

A função de pertinência da variável de saída com relação a qualidade do ambiente é apresentada na Figura 37. Estes conjuntos são definidos para melhor representar os níveis da qualidade do ambiente. Sendo que ‘muito baixo’ (*vlow*) representa o nível crítico da qualidade do ambiente, quando todas as grandezas medidas não atendem as especificações normativas. O conjunto ‘muito alto’ (*vhigh*) representa o nível de qualidade máximo quando todas as grandezas atendem as especificações normativas.

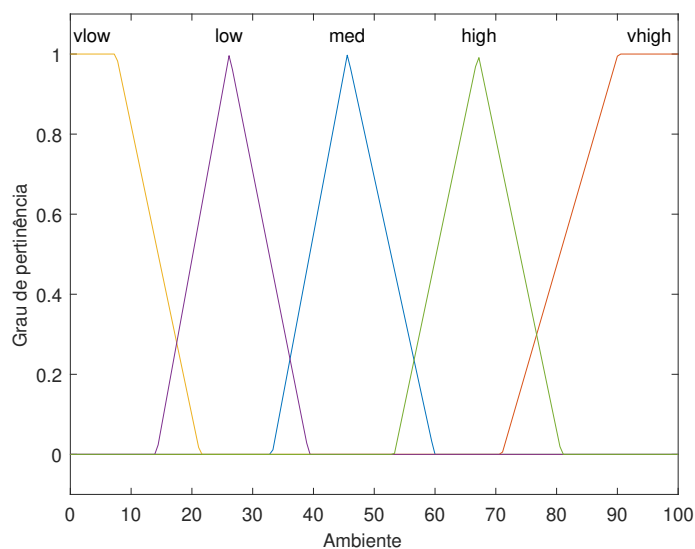


Figura 37 – Função de pertinência da saída

### 4.3.2 Base de Regras

As regras *fuzzy* utilizadas para a obtenção do nível de qualidade do ambiente são apresentadas na Figura 38. Na linha vertical são apresentadas as medições dos sensores e na horizontal as regras. Estas regras são implementadas conforme a explicação do modelo do sistema *fuzzy* na Seção 3.2.

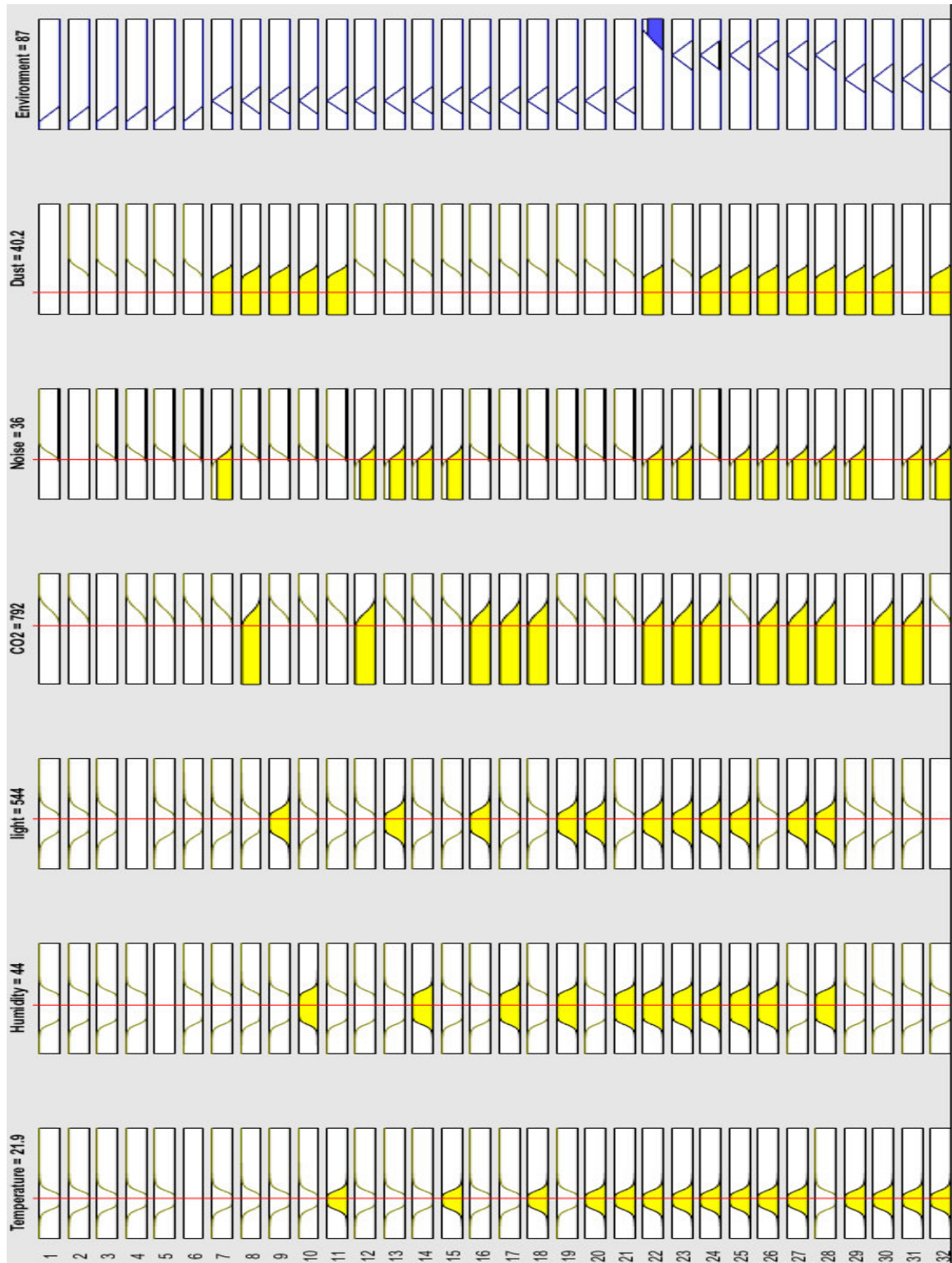


Figura 38 – Regras *fuzzy*

As regras *fuzzy* da Figura 38 são desenvolvidas com base na Tabela 2 que é constituída por uma coluna que representa a quantidade de variáveis que não atendem as especificações normativas e para cada linha desta coluna tem-se a saída esperada, sendo essas *vhigh*, *high*, *med*, *low* e *vlow*. Nesta figura parte das regras são apresentadas, ao todo o sistema consiste de 61 regras. O grande número de regras se dá pelas diversas combinações possíveis ao se considerar cada função de pertinência e cada conjunto *fuzzy* ativo. O objetivo desta lógica é englobar todas as possibilidades do ambiente para definição da qualidade do mesmo. Todas as regras do sistema *fuzzy* são apresentadas no Apêndice A, com base nas regras tem-se que:

- Da regra 1 a 6 todas as saídas são *vlow*.
- Da regra 7 a 21 as saídas são *low*.
- Na regra 22 todas as grandezas medidas atendem as especificações normativas. Portanto o ambiente possui o valor de 87 que significa um nível alto *vhigh*, uma vez que todas as funções de pertinência avaliadas atendem as especificações normativas. Este resultado final é multiplicado por 10 para melhor noção de qualidade e evitar pequenos números para avaliação.
- Da regra 23 a 28 as saídas são *high*.
- Da regra 29 a 61 as saídas são *med*.

### 4.3.3 Aquisição de Medidas dos Sensores

Cada nó de sensores envia as leituras para um canal do *ThingSpeak*. Todas as aquisições de sinais dos nós são enviadas simultaneamente para a plataforma de IoT. Cada nó de sensores é alocado em um subespaço do LCP, conforme apresentado na planta do laboratório na Figura 16.

Na Figura 39 são apresentadas as aquisições de sinais obtidas no Nó de Sensores 1 que é alocado no subespaço 1 do laboratório. A identificação para este nó é dada por *Sensor Node1 ID*: 604650 e está disponibilizado em <https://thingspeak.com/channels/604650>.



Figura 39 – Leitura do *ThingSpeak* para Canal 1

Na Figura 40 são apresentadas as aquisições de sinais obtidas no Nó de Sensores 2 que é alocado no subespaço 2. A identificação para este nó é dada por *Sensor Node2 ID*: 616464 e está disponibilizado em <https://thingspeak.com/channels/616464>.



Figura 40 – Leitura do *ThingSpeak* para Canal 2

Na Figura 41 são apresentadas as aquisições de sinais obtidas no Nó de Sensores 3 que é alocado no subespaço 3. A identificação para este nó é dada por *Sensor Node3 ID:616480* e está disponibilizado em <https://thingspeak.com/channels/616480>.



Figura 41 – Leitura do *ThingSpeak* para Canal 3

Maiores detalhes dos instrumentos de medição utilizados para calibração dos sensores são descritos no Apêndice B.

#### 4.3.4 Implantação da Rede

Com base na pesquisa bibliográfica desenvolvida, tem-se que a topologia de rede que melhor se aplica a necessidade deste projeto é a topologia estrela. O circuito contendo cinco sensores e capturando seis variáveis é implementado em uma *protoboard*, as medições são enviadas para a nuvem por meio do transmissor *Wireless ESP01*. Um dos nós da rede

de sensores é apresentado na Figura 42, ilustrando-se a implementação do circuito em uma *protoboard*.

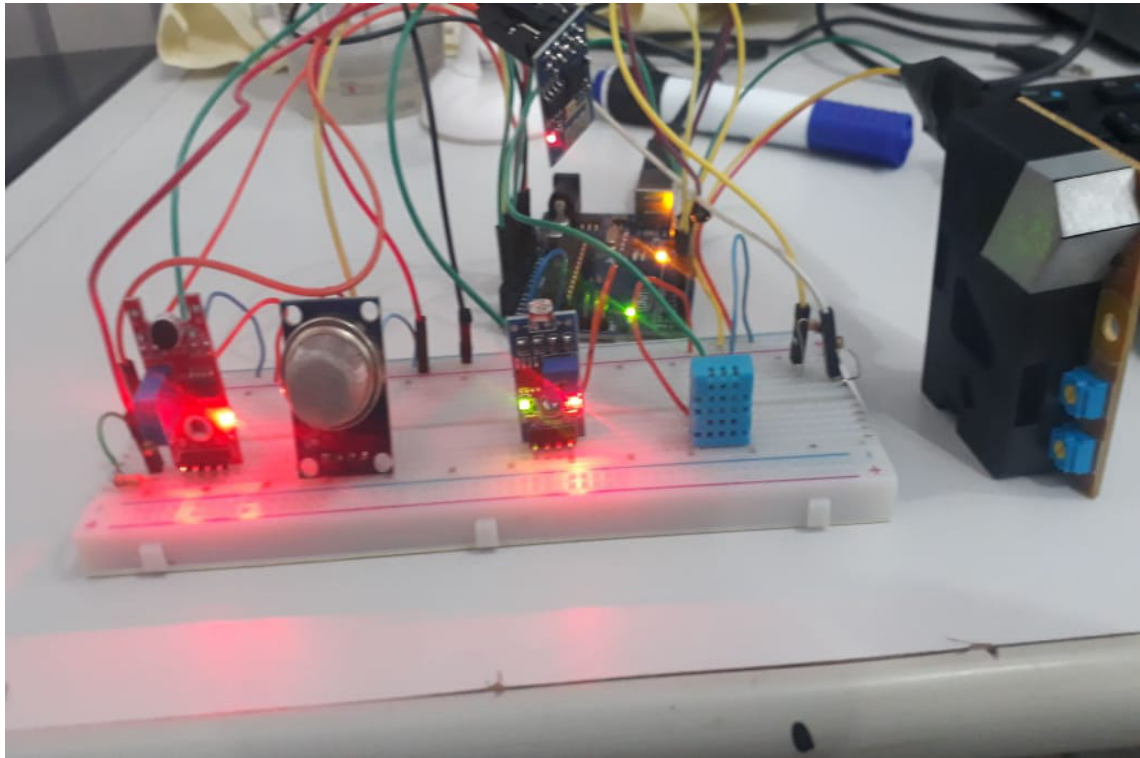


Figura 42 – Implementação do nó de sensores

#### 4.3.5 Aplicação do Sistema *Fuzzy* às Medidas dos Sensores

Os experimentos com o sistema *fuzzy* são realizados a partir da aquisição dos sinais da rede de sensores. Algumas amostras dos conjuntos de medições são selecionadas para demonstrar a aplicação do sistema *fuzzy* às aquisições da rede, estas amostras são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado de amostras no Sistema *Fuzzy*

| No. | Temp(°C) | Umi(%) | Luz(lux) | CO2(ppm) | Ruído(dB) | Poeira( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Qualidade |
|-----|----------|--------|----------|----------|-----------|------------------------------------|-----------|
| 1   | 30       | 22,17  | 422,6    | 750      | 50        | 100                                | 30,1      |
| 2   | 22,17    | 44,78  | 464,3    | 1220     | 16,96     | 54,78                              | 67        |
| 3   | 21,13    | 40,43  | 558,3    | 554,3    | 16,96     | 28,7                               | 89,6      |
| 4   | 37,83    | 71,74  | 182,6    | 1259     | 55,22     | 129,6                              | 7,63      |

Analisando a Tabela 5 tem-se que

- Na amostra 1, as grandezas adequadas são: iluminância e  $\text{CO}_2$  e inadequadas são: temperatura, umidade, ruído, poeira. Desta forma, a qualidade obtém um valor de 30 que pelas funções de pertinência de saída da Figura 37 é um nível baixo (*low*).

- Na amostra 2, apenas o  $CO_2$  não atende as especificações normativas, portanto obtém-se o nível alto (*high*).
- Na amostra 3, todas as grandezas atendem as normas. A qualidade obtém o valor de 89,6 que é o nível muito alto (*vhigh*), portanto o ambiente é saudável.
- Já para a amostra 4 todas as grandezas não atendem as especificações normativas. O nível muito baixo (*vlow*) é atingido, portanto o ambiente não é saudável.

#### 4.3.6 Comentários do Capítulo

Os resultados provenientes das metodologias desenvolvidas no Capítulo 3 foram apresentados neste capítulo. O modelo de funções baseadas em lógica *fuzzy* é aplicado a um nó de sensores com quatro grandezas medidas: temperatura, umidade, iluminância e dióxido de carbono. Com base nas funções de pertinência desta etapa, o modelo do sistema *fuzzy* é desenvolvido com uma variedade de regras para melhor representar o nível de qualidade do ambiente. Este sistema é aplicado a uma rede de sensores composta de três nós *sinks* com um total de seis grandezas medidas. Além das grandezas do primeiro modelo, adiciona-se a medição do sensor de poeira e ruído. O que difere o primeiro modelo do segundo é o tamanho da rede e quantidade de sensores em cada nó. As métricas para aferir a qualidade do ambiente são obtidas em ambos modelos, no primeiro utiliza-se as funções baseadas na lógica *fuzzy*, enquanto no segundo desenvolve-se o sistema *fuzzy*.

---

## CAPÍTULO 5

---

### CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentam-se a conclusão e comentários gerais da dissertação juntamente com suas principais contribuições. Ainda, citam-se sugestões para desenvolvimentos de trabalhos futuros.

Nos modelos matemáticos baseados na lógica *fuzzy* foram normalizados os valores das quatro grandezas diferentes avaliadas temperatura, umidade, gás e iluminância. Desta forma foi possível avaliar o índice individual de cada grandeza e calcular um índice médio do ambiente como um todo. Estes índices proporcionam uma medida de quão próximo os valores medidos pelos sensores estão das especificações das normas brasileiras. A rede de sensores realizou o monitoramento das grandezas do ambiente, isto é importante para proporcionar o melhor nível de conforto e saúde em locais tais como laboratório, pois níveis inadequados podem causar falta de concentração, mal-estar, além de outras doenças para os seus ocupantes. Portanto, a partir dos índices um esquema gráfico de alerta foi criado para informar os usuários dos laboratórios das condições atuais.

O índice foi desenvolvido para um laboratório de pesquisa mas pode ser aplicado para qualquer outro ambiente modificando limites aceitáveis de acordo com as normas específicas do local.

No segundo modelo abordado, a rede de sensores sem fio proporcionou as medições necessárias para a aplicação no sistema *fuzzy* desenvolvido que classifica a qualidade do ambiente. A lógica *fuzzy* forneceu a quantificação da qualidade do ambiente com base nas normas brasileiras. As funções de pertinência determinaram o nível de temperatura, umidade, iluminância, dióxido de carbono, ruído e poeira, estas funções foram desenvolvidas com base nos valores estipulados pelas normas ocupacionais de saúde e segurança, de modo que represente todo o universo de cada medida. A partir do conjunto de regras *fuzzy*,

a qualidade do ambiente foi quantificada em *vlow*, *low*, *med*, *high* e *vhigh*.

A escolha do tipo de rede de sensores e topologia foi realizada com base na simplicidade da aplicação, uma vez que cada nó de sensores recebe as medições de cinco tipos de sensores, tentou-se reduzir o esforço do microcontrolador utilizando a topologia estrela. Uma dificuldade encontrada foi o uso do sensor KY-038 na medição do ruído do ambiente e do sensor de poeira Dsm501a que apresentaram dificuldade na calibração. Optou-se por realizar a aquisição de sinais pelo *ThingSpeak* para proporcionar a interação do usuário com o ambiente na nuvem no contexto da IoT, uma ferramenta muito comum nos dias atuais.

## 5.1 Contribuições

As principais contribuições desta pesquisa estão em torno dos seguintes contextos:

- Desenvolvimento de índices da qualidade do ambiente a partir de normas brasileiras utilizando um modelo de funções baseado na lógica *fuzzy*.
- Desenvolvimento de procedimento para obtenção de funções matemáticas baseadas em lógica *fuzzy* para cada grandeza medida.
- Implementação de uma rede sensores para monitoramento da qualidade do ambiente utilizando um modelo que baseia-se na lógica *fuzzy*.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, enumera-se os seguintes tópicos:

- Inclusão de atuadores na rede para automatizar a tomada de decisão dos índices quando estes atingirem um nível crítico.
- Inclusão de maior quantidade de nós na rede de sensores para obter mais aquisições de sinais do ambiente.
- Desenvolvimento de uma plataforma *online* de monitoramento com base nos índices obtidos que priorize a segurança e vigilância do ambiente.

---

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *RE 09*: Resolução, de 16 de janeiro de 2003. Brasil, 2003. 14 p. Citado 7 vezes nas páginas 26, 35, 37, 57, 58, 59 e 60.
- AGHEMO, C.; BLASO, L.; PELLEGRINO, A. Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 43, p. 10–22, 2014. Citado na página 18.
- AOSONG. *Sensor DHT11*. 2019. Disponível em: <<https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT11.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019. Citado na página 43.
- ARDUINO. *What is Arduino?* 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc>>. Acesso em: 19 set. 2018. Citado na página 45.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5413*: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992. 13 p. Citado 3 vezes nas páginas 27, 36 e 58.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/CIE 8995-1:2013*: Iluminação de ambientes de trabalho parte 1:interior. Rio de Janeiro, 2013. 46 p. Citado 3 vezes nas páginas 27, 36 e 58.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 10152*: Acústica-níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017. 4 p. Citado 3 vezes nas páginas 27, 37 e 60.
- BHUNIA, S. S.; DHAR, S. K.; MUKHERJEE, N. ihealth: A fuzzy approach for provisioning intelligent health-care system in smart city. In: IEEE. *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2014 IEEE 10th International Conference on. [S.l.], 2014. p. 187–193. Citado na página 18.
- BRDICZKA, O.; CROWLEY, J. L.; REIGNIER, P. Learning situation models in a smart home. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, IEEE, v. 39, n. 1, p. 56–63, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 56.
- EBERHART, R. C.; SHI, Y. *Computational Intelligence*. First edition. Burlington: Morgan Kaufmann, 2007. Citado na página 21.

- ESPRESSIF SYSTEMS. *Módulo WiFi ESP8266 ESP-01*. 2019. Disponível em: <[https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ESP8266\\_Specifications\\_English.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ESP8266_Specifications_English.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2019. Citado na página 45.
- FAIRCHILD. *Comparador LM393*. 2019. Disponível em: <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/LM2903.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019. Citado na página 44.
- FERREIRA, A. M. da C.; CARDOSO, M. Qualidade do ar interno e saúde em escolas. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 40, n. 3, p. 259–268, 2014. Citado na página 16.
- HANWEI. *Sensor de Gás MQ02*. 2019. Disponível em: <<https://www.mouser.com/ds/2/321/605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019. Citado na página 44.
- HANWEI. *Sensor de Gás MQ135*. 2019. Disponível em: <<https://www.datasheetspdf.com/pdf/605076/Hanwei/MQ-135/1>>. Acesso em: 11 abr. 2019. Citado na página 44.
- MANJUNATHA, P.; VERMA, A.; SRIVIDYA, A. Multi-sensor data fusion in cluster based wireless sensor networks using fuzzy logic method. In: IEEE. *Industrial and Information Systems, 2008. ICIIS 2008. IEEE Region 10 and the Third international Conference on*. [S.l.], 2008. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 39.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. *NR 17: Ergonomia*. Brasília, 1990. 14 p. Citado 4 vezes nas páginas 25, 35, 57 e 58.
- OSUWA, A. A.; EKHORAGBON, E. B.; FAT, L. T. Application of artificial intelligence in internet of things. In: IEEE. *2017 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*. [S.l.], 2017. p. 169–173. Citado na página 17.
- PARIKH, P. P.; KANABAR, M. G.; SIDHU, T. S. Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications. In: IEEE. *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*. [S.l.], 2010. p. 1–7. Citado na página 15.
- SAMYOUNG S&C CO. LTD. *Dust Sensor Module P/N DSM501*. 2018. Disponível em: <<http://www.samyongsnc.com/products/3-1%20Specification%20DSM501.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2018. Citado na página 44.
- SELMIC, R. R.; PHOHA, V. V.; SERWADDA, A. *Wireless Sensor Networks: Security, Coverage, and Localization*. [S.l.]: SPRINGER, 2016. Citado 8 vezes nas páginas 9, 17, 28, 29, 30, 31, 32 e 40.
- SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. *Controle e modelagem Fuzzy*. [S.l.]: Edgar Blücher, 1999. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 40.
- SILVA, A. R. da; JÚNIOR, J.; SILVA, I. Rede de sensores para controle inteligente de ambientes. In: *8º SBCUP-Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva-XXXVI CSBC-Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado na página 17.
- SIVANANDAM, S. et al. *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. [S.l.]: Springer, 2007. v. 1. Citado na página 22.

SOHRABY, K.; MINOLI, D.; ZNATI, T. *Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.

TARIQ, M. et al. Smart grid standards for home and building automation. In: IEEE. *Power System Technology (POWERCON), 2012 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 18.

THINGSPEAK. *Learn About ThingSpeak*. 2018. Disponível em: <<https://thingspeak.com/pages/learn-more>>. Acesso em: 19 set. 2018. Citado na página 42.

VELLEMAN. *Sensor de Som KY-038 Microfone*. 2019. Disponível em: <<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/sound-sensor-module-arduino-datasheet.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019. Citado na página 44.

WANG, L.-X. *A course in fuzzy systems*. [S.l.]: Prentice-Hall press, USA, 1999. Citado 4 vezes nas páginas 22, 23, 24 e 25.

---

---

# APÊNDICE A

---

## REGRAS *FUZZY*

- [illegible]

22. If (Temperatura is med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is vhigh) (1)
23. If (Temperatura is med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is high) (1)
24. If (Temperatura is med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is high) (1)
25. If (Temperatura is med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is high) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is high) (1)
26. If (Temperatura is med) and (Umidade is med) and (Iluminância is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is high) (1)
27. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is high) (1)
28. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is high) (1)
29. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is not med) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
30. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is not med) and (CO2 is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
31. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) then (Ambiente is med) (1)
32. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (CO2 is high) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
33. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
34. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is high) and (Ruído is low) then (Ambiente is med) (1)
35. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
36. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
37. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (Ruído is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
38. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is high) then (Ambiente is med) (1)
39. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is med) (1)
40. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (Ruído is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is med) (1)
41. If (Temperatura is med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is med) (1)
42. If (Temperatura is not med) and (Umidade is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
43. If (Temperatura is not med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)

44. If (Temperatura is not med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
45. If (Temperatura is not med) and (Umidade is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) then (Ambiente is med) (1)
46. If (Temperatura is not med) and (Iluminância is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
47. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is not med) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
48. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is not med) and (CO2 is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
49. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is not med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) then (Ambiente is med) (1)
50. If (Temperatura is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is high) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
51. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (CO2 is high) and (Ruído is low) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
52. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
53. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is high) and (Ruído is low) then (Ambiente is med) (1)
54. If (Temperatura is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
55. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (CO2 is low) and (Ruído is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
56. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (Ruído is high) and (Poeira is low) then (Ambiente is med) (1)
57. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is high) then (Ambiente is med) (1)
58. If (Temperatura is not med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is med) (1)
59. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (CO2 is low) and (Ruído is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is med) (1)
60. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (Ruído is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is med) (1)
61. If (Temperatura is not med) and (Umidade is med) and (Iluminância is med) and (CO2 is low) and (Poeira is high) then (Ambiente is med) (1)

## APÊNDICE B

### INSTRUMENTOS PARA CALIBRAÇÃO

Os instrumentos certificados decibelímetro, higrômetro e luxímetro foram utilizados para a calibração dos sensores. Nas tabelas deste apêndice são apresentadas as principais características técnicas desses instrumentos, para mais informações deve-se consultar o manual do fabricante. O decibelímetro e suas características técnicas são apresentados na Figura 43 e Tabela 6. Este instrumento é utilizado para a calibração do sensor de som KY-038 na implementação da rede.



Figura 43 – Mini Decibelímetro Digital

| Decibelímetro Digital Hth-911 Hikari Profissional |                                |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|
| Display                                           | Duplo 4 Dígitos                |
| Frequência                                        | 31,5 Hz~8 kHz                  |
| Temperatura                                       | -20 °C~70 °C<br>(-4 °F~158 °F) |
| Nível Sonoro                                      | 35 dB~130 dB                   |
| Indicação <i>Hi/Lo</i>                            | Sim                            |
| Função <i>Fast/Slow</i>                           | Sim                            |
| Ponderação                                        | A                              |
| Função MAX/MIN                                    | Sim                            |
| <i>Data Hold</i>                                  | Sim                            |
| Indicação de Sobrefaixa                           | Sim                            |
| <i>Auto Power Off</i>                             | Sim                            |
| Alimentação                                       | 3xPilhas 1,5 V(AAA)            |
| Indicação de Bateria Fraca                        | Sim                            |
| Dimensões                                         | 144x56x30,5 mm                 |
| Peso (Aprox)                                      | 103 g                          |

Tabela 6 – Características técnicas do decibelímetro

O higrômetro e suas características técnicas são apresentados na Figura 44 e Tabela

7 respectivamente. Este instrumento é utilizado para calibrar o sensor de temperatura e umidade DHT11 na implementação da rede.



Figura 44 – Mini Termo Higrômetro Digital

| Higrômetro Digital Hth-913 Hikari Profissional |                                  |
|------------------------------------------------|----------------------------------|
| Display                                        | Duplo 4 Dígitos                  |
| Ponto de Orvalho                               | -20 °C ~70 °C<br>(-4 °F ~158 °F) |
| Temperatura                                    | -20 °C ~70 °C<br>(-4 °F ~158 °F) |
| Temperatura de Bulbo Úmido                     | -20 °C ~70 °C<br>(-4 °F ~158 °F) |
| Umidade Relativa                               | 1RH% ~99 RH%                     |
| Função MAX/MIN                                 | Sim                              |
| Data Hold                                      | Sim                              |
| Indicação de Sobre faixa                       | Sim                              |
| Auto Desligamento                              | Sim                              |
| Alimentação                                    | 3xPilhas 1,5 V (AAA)             |
| Indicação de Bateria Fraca                     | Sim                              |
| Dimensões/ Peso (Aprox)                        | 168x56x30,5 mm/100 g             |

Tabela 7 – Características técnicas do higrômetro

O luxímetro e suas características técnicas são apresentados na Figura 45 e Tabela 8 respectivamente, sendo CIE a curva de resposta do olho humano. Este instrumento é utilizado como referência para a calibração do sensor de luz LDR na implementação da rede.



Figura 45 – Luxímetro Digital

| Luxímetro INSTRUTHERM - LD 400 |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Faixa de Medição               | 200,2000,20000,200000 lux   |
| Conversão                      | 1 fc=10,76lux               |
| Resposta Espectral             | foto CIE                    |
| Precisão Espectral             | f' 1<6%                     |
| Resposta Cosseno               | f' 2<2%                     |
| Precisão                       | 3%+10 dígitos (<10000 lux)  |
|                                | 4% +10 dígitos (>10000 lux) |

Tabela 8 – Características técnicas do luxímetro

---

---

## ANEXO A

---

ARTIGO PUBLICADO RELACIONADO  
AO TEMA DA DISSERTAÇÃO

# Function Models Associated Sensor Networks Fusion to Monitor the Quality of the Environment in Accordance with the Brazilian Technical Standards

Geiza Gomes Mendonça<sup>1</sup> and João Viana da Fonseca Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering  
Federal University of Maranhão (UFMA) – São Luís, MA – Brazil

geiza.gomes@dee.ufma.br, joao.fonseca@ufma.br

**Abstract.** *Sensor networks are important because they are able to collectively monitor and report any measurable phenomena of interest. The objective of this work is to present the formulation of the mathematical model for the environment quality index according to Brazilian standards, ABNT and ANVISA. The index is a value that ranges from zero to one and is calculated according to membership functions. The importance of the index comes from the need to monitor the work environment or study so that they are always according to standards, ensuring comfort and health. The tests are performed for temperature, humidity, gas and light sensors, using the star topology to assembly the sensor network. As a result, the mean index of the environment is composed to evaluate its quality, this index is used to display a graphic alert scheme that informs the lab's conditions to the users.*

## 1. Introduction

A wireless sensor network (WSN) is a system that consists of multiple sensing elements distributed spatially with a specific objective to measure different physical quantities and communicate those measurements between themselves and the central gateway. These sensing elements (sensors) are used to observe and instrument several physical and environmental conditions such as motion, pressure, temperature, sound, etc [Selmic et al. 2016].

The deployment of smart home and building automation systems are getting popular with the advancement in Information and Communication Technology. The work of [Tariq et al. 2012] reviews the main smart grid standards proposed by different organizations for home and building automation in terms of different function fields. The results of an experimental case study of ten offices in Torino (Italy), in which a custom-design building automation and control system has been designed to control both the lighting plants and the air conditioning system [Aghemo et al. 2014]. Also involving the environment [Silva et al. 2016]. In general, laboratories or labs are workplaces that provide controlled conditions for experiments and measurements to be performed. For this reason, controlling temperature and humidity is an important requirement that needs to be achieved in order to guarantee the reproducibility of processes carried out in laboratories.

The quality of the environment is very important for health. The purpose of [Conceição Ferreira and Cardoso 2014] is to determine if there is an association between indoor air quality in schools and the prevalence of allergic and respiratory diseases in the

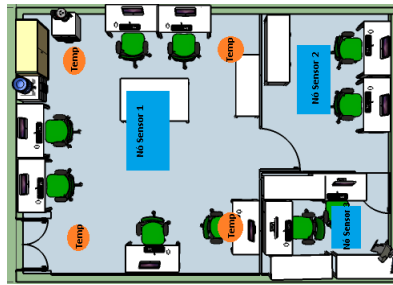
children who attend them. It is evaluated 1,019 students from 51 elementary schools in the city of Coimbra, Portugal. There is a statistically significant association between lack of concentration in children and exposure to high  $CO_2$  levels.

The objective of this work is to present the formulation of the mathematical model for the environment quality index according to Brazilian standards. The index is a value that ranges from zero to one and is calculated according to membership functions. The importance of the index comes from the need to monitor the work environment or study so that they are always according to standards, ensuring comfort and health. The tests are performed for temperature, humidity, gas and light sensors, using the star topology to assembly the sensor network.

The paper is organized as follows: Section 2 summarizes the proposed sensor network architecture. Section 3 summarizes the Brazilian standards consulted for the development of the environmental quality index, Section 4 describes the methodology of the project and the mathematical Fuzzy models. Section 5 shows the results and analyses of the environmental quality index for each of the sensors. Finally, the conclusion is presented in Section 6.

## 2. The proposed Sensor Network Architecture

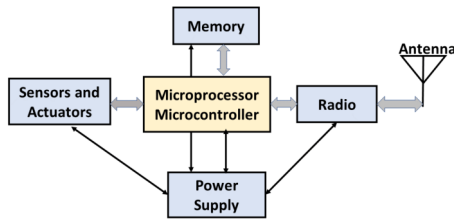
The sensor network is deployed in environment that is as research laboratory. The chosen place layout is presented in Figure 1 is the Process Control Laboratory (LCP-lab), the total area is  $50m^2$ , each room of the laboratory has a sensor node. Each sensor node of the LCP-lab that is represented in Figure 1 has the structure shown in Figures 2 and 3. In Space 1, besides the sensor node will contain four temperature sensors.



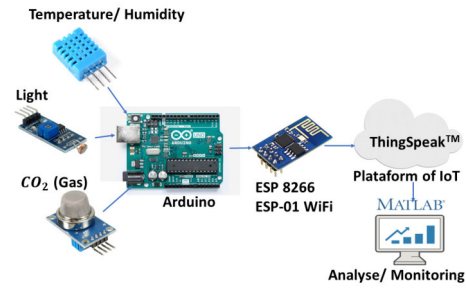
**Figure 1. Laboratory Plant showing the location of sensor nodes**

Sensor networks are composed of a large number of sensor nodes that are deployed to collectively monitor and report any phenomena of interest. Sensor networks are a superset of WSNs (Wireless Sensor Network) and, as such, share some common attributes that are integral to all sensor network systems [Selmic et al. 2016]. For this work the sensor node consists of those components on Figure 2, except for the actuators. Sensors of temperature, humidity, light and gas are used, those are connected to an *Arduino<sup>TM</sup>* microcontroller, which captures the data and through ESP8266 (radio and antenna), sends the data collected from the sensors to the *Internet* using the service platform of IoT *ThingSpeak* [ThingSpeak 2018], as seen in Figure 3.

The topology of a WSN refers to how the nodes are arranged within the network. The most common topologies are star, mesh and star-mesh hybrids topologies [Selmic et al. 2016]. For our purpose, the star topology is chosen to support our project



**Figure 2. Wireless sensor node architecture.**[Selmic et al. 2016]



**Figure 3. Proposed system architecture**

objectives, the nodes are organized in the form of a star with the base station as the hub of the star. Sensor nodes broadcast data through the base station, and cannot directly exchange messages between each other. This topology offers low power usage as compared to other wireless sensor topologies. However, the base station cannot communicate with a node that is out of range. The sensor node is connected in a star topology, due to the simplicity and low power usage of this topology. The base station is the computer machine as is seen in Figure 3.

### 3. Brazilian Standards of Environment Quality

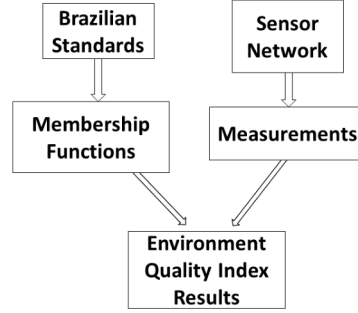
In the present work, the test environment is a research laboratory, so all the rules of this section were searched for use in a laboratory environment or another that most resembles this one. The quality and salubrity of the environments should be in accordance with objective criteria established by the ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) and other regulatory organizations such as ANVISA (National Agency for Sanitary Surveillance). The following standards will be used for the determination of the environment quality index.

The **N17-Ergonomics** establish that at workplaces where activities that require constant intellectual solicitation and attention are performed, such as: control room, laboratories, offices, development room or project analysis, among others. The LCP fits this pattern and the following comfort conditions are recommended: effective temperature index between 20°C and 23°C and relative humidity of not less than 40% [MTPS 1990]. The **Resolution 9, January 16<sup>th</sup> 2003-ANVISA** [ANVISA 2003] establishes the Reference Standards for Indoor Air Quality in Artificially Air-conditioned Environments for Public and Collective Use. The recommended maximum chemical contamination values are : 1000 ppm (particles per million) of carbon dioxide - ( $CO_2$ ), as an indicator of external air renewal, recommended for comfort and well-being.  $80 \mu g/m^3$  of total aerodispesoids in the air (dust), as an indicator of the degree of purity of the air and cleaning of the air-conditioned environment. The recommended operating range of Dry Bulb Temperatures, in indoor conditions are: for Summer, between 23°C and 26°C and for Winter, between 20°C and 22°C. The recommended operating range of Relative Humidity are: for Summer, between 40% and 65% and for Winter, between 35% a 65%.

### 4. Fuzzy Logic Models to Environment Quality Evaluation

The objective of the project is to establish an environmental quality index based on Brazilian standards. For this, the project is divided into two stages, as show the Figure 4: the

first one consists in the formulation of the mathematical model of the environment quality index based on Section 3, the model uses the membership functions of the Fuzzy Logic [Eberhart et al. 2007]. This index is formulated for the following quantities that interfere with the quality of the environment: temperature, humidity, light, carbon dioxide.



**Figure 4. Methodology of the project**

As it is worked with environmental magnitudes it is necessary to verify whether they are in or out of the standards. Sensors are the components capable of capturing these physical quantities. Therefore, the second stage is the design of the sensor network. Through a network, the measurements of these sensors can be communicated to a central base for monitoring, as seen in Section 2.

The quality index of the environment is a value that represents how close to the standard are the quantities measured by the sensors at a given moment, in a non-binary way but varying according to the value of  $x$  (temperature, humidity, light, carbon dioxide). It is developed based on the Brazilian standards described in Section 3.

Rather than just informing whether the measured quantity is within or out the range defined in the standard, the index ranges from zero to one. Therefore, a model that describes the mathematical behavior of the variables is developed. This model is described by membership functions derived from Fuzzy Logic [Eberhart et al. 2007].

#### 4.1. The $\pi$ -shaped Membership Function

The  $\pi$ -shaped membership function (*pimf*) is used for temperature, humidity and light, whose points is established according to the acceptable limits from the standards. The membership function is calculated at the points determined by the vector  $x$ . The parameters  $a$  and  $d$  locate the “feet” of the curve, while  $b$  and  $c$  locate the “shoulders”. The function is given by:

$$f(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - 2\left(\frac{x-c}{d-c}\right)^2, & c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2\left(\frac{x-d}{d-c}\right)^2, & \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$$

Each magnitude points  $a$ ,  $b$ ,  $c$  and  $d$  are chosen based on the rules. The maximum value of the index is one and it is obtained when  $x$  is between  $b$  and  $c$ .

The temperature has a higher index between 20°C (point  $b$ ) and 23°C (point  $c$ ), based on standard [MTPS 1990] this is the value for indoor comfort conditions. However on [ANVISA 2003] for summer should vary from 23°C to 26°C, therefore the point  $d$  is chosen 26°C which is the maximum value of the two standards, that point  $d$  will be 100% out of the range limit (value 0). The point  $a$  is chosen by induction, since point  $d$  is located 3 degrees more, then the point  $a$  is located 3 degrees less, and therefore is 17°C.

The highest humidity index is located between 40% (point  $b$ ) based on the NR17, it only establishes the lower limit and 65% (point  $c$ ) based on Resolution 9 (ANVISA) since this is the maximum value for indoor environment. Point  $d$  is chosen as 10% more than allowed (75%) and point  $a$  as 10% less (30%).

The point  $b$ -500 lux of the illuminance index is determined based on [ABNT 2013], which determines only the minimum value. However, a place with very strong illumination can cause annoyance, this way [ABNT 1992] is also used to choose the limit of 1000 lux as point  $c$ . Point  $d$  is chosen as 500 lux more and point  $a$  as 100 lux less than normative.

#### 4.2. Z-shaped Membership Function

The *Z-shaped membership function* ( $zmf$ ) is used for carbon dioxide. Parameters  $a$  and  $b$  are located at the extremes of the sloping portion of the curve given by:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

For this function only the maximum value (point  $a$ ) allowed is normative. For the carbon dioxide, the point  $a$  is 1000 ppm and  $b$  is considered to be 100 ppm more: 1100 ppm. The points of the standard discussed in this section are summarized by Table 1.

**Table 1. Standard Range Index**

|                   | $a$  | $b$  | $c$  | $d$  |
|-------------------|------|------|------|------|
| Temperature (°C)  | 17   | 20   | 23   | 26   |
| Humidity (%)      | 30   | 40   | 65   | 75   |
| Illuminance (lux) | 400  | 500  | 1000 | 1500 |
| Gas (ppm)         | 1000 | 1100 |      |      |

#### 4.3. The Environment Quality Index

The quality indexes for each measure are used for the calculation of the general index of the environment. This informs if the environment is within the standard considering all measures (temperature, humidity, gas, light) as a global index. The so called Mean Index

is calculated based on the arithmetic mean of all indexes, according to the equation given by

$$MeanIndex = \frac{\sum_{i=1}^n Index(i)}{n},$$

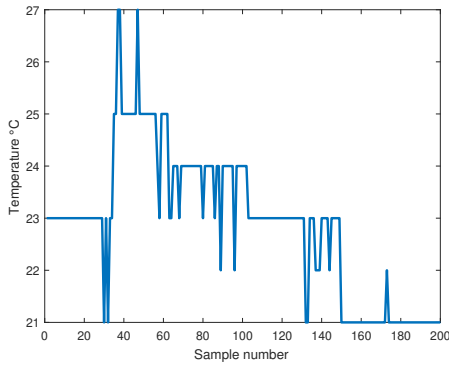
where  $n$  is the number of measured values in the environment.

## 5. Validation Experiments

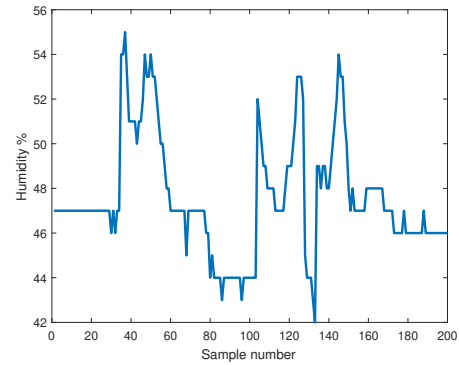
The sensors data acquisition, measurement-membership functions, mean index and the proposed monitoring system of the laboratory environment are the main topic that are presented in this section. Experiments are performed with the DHT11 temperature and humidity sensor, the LDR light sensor and the MQ-02 gas sensor, which are connected to an Arduino Uno and ESP8266 as shown in Figure 3.

### 5.1. Sensor Data Acquisition

The data of the *ThingSpeak<sup>TM</sup>* is read by the *MATLAB<sup>®</sup>* through the call of the *ThingSpeakRead*. The experiment ran for a full day, with a reading interval of 15 seconds. For this demonstration, the last 200 measurements are chosen, these are shown in the Figures 5 and 6. Under normal conditions the ambient temperature ranges from 21°C to 27°C degrees, Figure 5. The humidity ranged between 42% and 55%, under normal conditions, so it remains within the standard range throughout the measurement, Figure 6.



**Figure 5. Temperature sensor**



**Figure 6. Humidity sensor**

In similar manner of measurements obtained from humidity and temperature sensors of Figures 5 and 6, the light sensor and gas sensor is installed to measure the illuminance and carbon dioxide levels of the environment. The illuminance varies greatly during the measurement, ranges from 0 to 680 lux. The amount of carbon dioxide under normal conditions obtains an index equal to 1 with most of the measurement ranging from 200 ppm to 400 ppm. In the measurement 145 the insertion of smoke is carried out near the sensor to raise the carbon dioxide, at this point there is a peak in sensor measurement that starts to measure 1140 ppm. Although the behavior of illuminance and carbon dioxide levels are not presented the illuminance and gas membership functions are shown in this section.

## 5.2. Online Membership Funcions

The Sensor data of the measurements the membership function is applied in the points (data of the sensors) to obtain the index of quality. The result of the environmental quality index together with the membership functions developed on Section 4.1 are shown on Figures 7, 8.

The temperature quality index is 1 most often indicating that it is within the standard range. In some varies between 0.77, 0.222 and 0, as seen in Figure 7. The humidity remains within the standard range throughout the measurement, so the index is 1 as seen in Figure 8. In some points the illuminance it is out of the standard range (below the

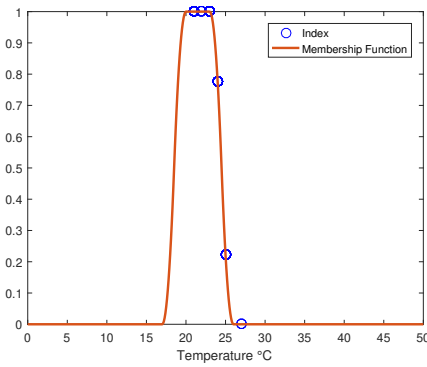


Figure 7. Temperature index

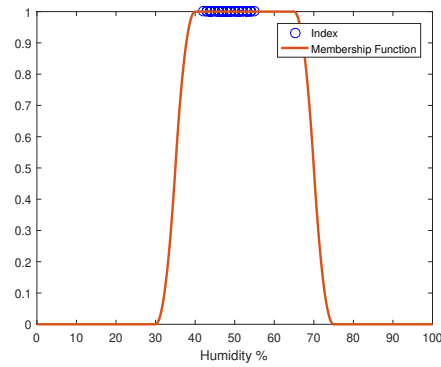


Figure 8. Humidity index

lower limit of 500 lux). This way, some index is 0.8750, 0.1352, 0.7550 as seen in Figure 9. With the peak of the amount of carbon dioxide caused by the insertion of smoke, the quality index becomes 0 as seen in Figure 10.

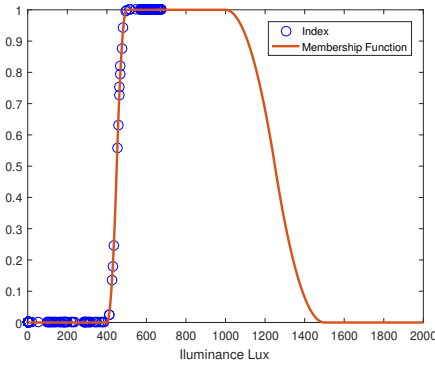


Figure 9. Illuminance index

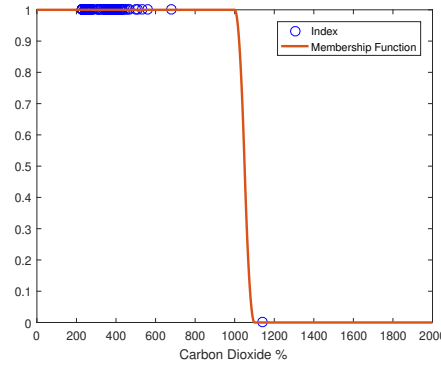


Figure 10. Gas index

## 5.3. The Mean Index of the Environment

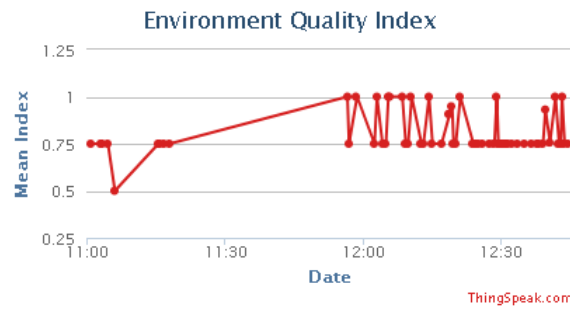
According to Section 4.1, the Mean Index for the measurements of the environment is given by

$$MeanIndex = \frac{TempIndex + UmiIndex + IllumIndex + GasIndex}{4}$$

Table 2 shows the calculated Mean Index for three samples. Each sample was performed based on the measurements of Figures 5, 6. In the sample of number 10 all the measurements of the environment are according the standard, the index of each one individually is equal to 1 therefore the average is 1. In samples 65 and 145 some measurements were out the standard, therefore the average index was less than 1. The Figure 11 shows the average index for the latest measurements.

**Table 2. Mean Index Calculation**

| Sample      | 10      |       | 65      |         | 145      |       |
|-------------|---------|-------|---------|---------|----------|-------|
|             | Meas    | Index | Meas    | Index   | Meas     | Index |
| Temperature | 23°C    | 1     | 24°C    | 0.7778  | 23°C     | 1     |
| Humidity    | 47%     | 1     | 47%     | 1       | 54%      | 1     |
| Gas         | 350 ppm | 1     | 380 ppm | 1       | 1140 ppm | 0     |
| Illuminance | 609 lux | 1     | 658 lux | 1       | 186 lux  | 0     |
| Mean Index  |         | =1    |         | =0.9445 |          | =0.5  |



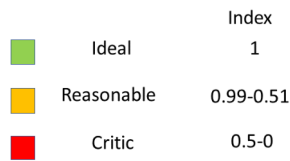
**Figure 11. Environment Quality Index**

#### 5.4. The Proposed Monitoring System of the Lab Environment

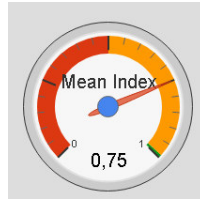
To a general users understanding of what the systems is doing, the proposed monitoring system interfaces of the lab environment is presented in form of virtual meters. Both the Mean Index and the individual index for each magnitude are classified as ideal, reasonable and critical according to Figure 12. The colors are used to draw user's attention to the quality and security of the environment.

Monitoring is especially important in situations where users may be exposed to unhealthy conditions. Figures 13 and 14 show the *ThingSpeak* monitoring for the mean index and for each of the sensors. These graphs are intended to visually alert the user when environmental measurements are adequate or not. Figure 13 shows the average index calculated based on the measurements pointed out in Figure 14. In this example one of the measurements is out the standard therefore, as calculated the mean index is reasonable.

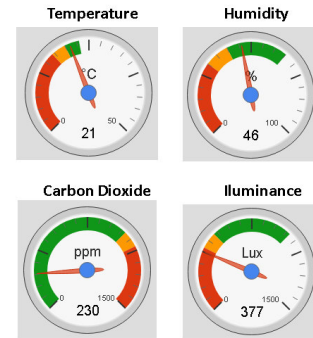
These indexes can be used for a global analysis of the environment, as well as to alert when a quantity is too out of the standard. For example, when an illuminance index indicates 0.1, it means that it is already far out of the standard and that an action must be



**Figure 12. Quality Index Classification**



**Figure 13. Mean Index Graph**



**Figure 14. ThingSpeak Monitoring**

performed, either by alerting or making the decision to dim a lamp to the minimum value allowed.

In this context, based on the membership functions developed, services are performed according to the Table 3 for each role. Services are performed by checking whether the environment is empty or with the presence of users performing activities such as meeting, reading, or experimenting. In order for the temperature to remain within the standard the actions must be performed and in addition if it enters a critical level it issues an alert. If the laboratory is empty, no action is taken.

**Table 3. Situation models**

| Sensors | Situation | Role            | Relation                  | Service                                 |
|---------|-----------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Temp    | Presence  | Ideal           | 20-23°C                   | Keep the temperature stable             |
|         |           | Reasonable Cold | 17.1-19.9°C               | Increase temperature                    |
|         |           | Reasonable Hot  | 23.1-25.9°C               | Decrease temperature                    |
|         |           | Critic Cold     | $\leq 17^{\circ}\text{C}$ | Increase temperature and sound a buzzer |
|         |           | Critic Hot      | $\geq 26^{\circ}\text{C}$ | Decrease temperature and sound a buzzer |
|         | Empty     |                 |                           | Air conditioning off                    |

## 6. Conclusion

The mathematical models based on fuzzy logic performed a normalization of the four different variables evaluated – temperature, humidity, gas and light, in order to evaluate the individual index of each quantity and to calculate a global mean index of the environment. Those indexes provided a measure of how close the value measured by the sensors is to the Brazilian standards. The sensor network provided monitoring of quantities in the environment, this is important to provide the best level of comfort and health in places such as laboratory, since out of adequate levels may present lack of concentration, malaise, among other illness to their occupants. Therefore from the indexes a graphic alert scheme

was created to inform the laboratory users of the current conditions. The index was developed for a research laboratory but can be applied to any other environment by modifying acceptable limits according to the standard for the specific site. For future work it is intended to include the dust and noise sensors in the evaluation of the quality index. It is also intended to include actuators in the network to automate the indexes when those are at a critical level.

## Acknowledgment

The authors would like to thank the Federal University of Maranhão (UFMA), the Graduate Program in Electrical Engineering (PPGEE), the Laboratory of Integrated Systems and Intelligent Control (LABSECI) especially to the Automation Engineer Yan Ferreira da Silva due to the support in the assembly, the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and CNPq by the financial aid. Due to infra structure support, the authors are thanked to Maranhão State Agency (FAPEMA) to the research support.

## References

- Ministério do Trabalho e Emprego - MTPS (1990). NR 17: Ergonomia, Brasília. 14 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1992). NBR 5413: Iluminância de interiores, Rio de Janeiro. 13 p.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (2003). RE 09: Resolução de 16 de janeiro de 2003, Brasil. 14 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2013). NBR ISO/CIE 8995-1:2013: Iluminação de ambientes de trabalho parte 1:interior, Rio de Janeiro. 46 p
- ThingSpeak (2018). Learn about thingspeak. Disponível em: <https://thingspeak.com/pages/learn-more>. Acesso em: 19 set. 2018.
- Aghemo, C., Blaso, L., and Pellegrino, A. (2014). Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices. *Automation in Construction*, 43:10–22.
- Conceição Ferreira, A. M. da. and Cardoso, M. (2014). Qualidade do ar interno e saúde em escolas. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 40(3):259–268.
- Eberhart, R. C., and Shi, Y. (2007). *Computational Intelligence*. Morgan Kaufmann, Burlington, first eedtion edition.
- Selmic, R. R., Phoha, V. V., and Serwadda, A. (2016). *Wireless Sensor Networks: Security, Coverage, and Localization*. SPRINGER.
- Silva, A. R. da., Júnior, J., and Silva, I. (2016). Rede de sensores para controle inteligente de ambientes. In *8º SBCUP-Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva-XXXVI CSBC-Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*.
- Tariq, M., Zhou, Z., Wu, J., Macuha, M., and Sato, T. (2012). Smart grid standards for home and building automation. In *Power System Technology (POWERCON), 2012 IEEE International Conference on*, pages 1–6. IEEE.