

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS,  
AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIAS**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE REDES  
TELECOMUNICAÇÕES**

**MATEUS LEANDRO PAULINO**

**MONITORAMENTO E GESTÃO DE VARIÁVEIS EM  
AMBIENTE FECHADO POR MEIO DE REDE DE  
SENSORES SEM FIO (RSSF)**

**CAMPINAS  
2017**

MATEUS LEANDRO PAULINO

MONITORAMENTO E GESTÃO DE VARIÁVEIS EM  
AMBIENTE FECHADO POR MEIO DE REDE DE  
SENSORES SEM FIO (RSSF)

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, na área de concentração de Gestão de Redes e Serviços, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho  
Coorientador: Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho

CAMPINAS  
2017

Ficha catalográfica elaborado por Marluce Barbosa – CRB 8/7313  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.3851 Paulino, Mateus Leandro.  
P328m Monitoramento e gestão de variáveis em ambiente fechado por meio de rede de sensores sem fio (RSSF) / Mateus Leandro Paulino. - Campinas: PUC-Campinas, 2017.  
112p.

Orientador: Marcius Fabius Henriques de Carvalho.  
Coorientador: Omar Carvalho Branquinho.  
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.  
Inclui bibliografia.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Automação residencial. 3. Ar - Análise. 4. Ar - Controle de qualidade. 5. Engenharia elétrica. I. Carvalho, Marcius Fabius Henriques de. II. Branquinho, Omar Carvalho. III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

22.ed. CDD – t621.3851

# MATEUS LEANDRO PAULINO

## Monitoramento e Gestão de Variáveis em Ambiente Fechado por Meio de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.  
Orientador: Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho

Dissertação defendida e aprovada em 29 de novembro de 2017 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



---

Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho  
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



---

Prof. Dr. Ildeberto Aparecido Rodello  
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Dedico este trabalho aos meus PAIS e AVÓS  
pela educação e exemplo de conduta, em  
especial meu avô Octávio Fagnoli (in  
memoriam), Mecânico de Bicicletas que  
apesar de sua pouca escolaridade, sempre  
me falava da importância de nunca parar de  
estudar para ser alguém na vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Deus Todo Poderoso, que merece meus primeiros agradecimentos, pois tem me dado folego de vida todos os dias e guardou a mim e minha família durante esses dois anos de viagens de Ribeirão Preto a Campinas-SP.

À minha esposa Andressa Cristina Pedersoli Paulino e filho Otávio Pedersoli Paulino, por me incentivarem a realizar esse sonho do mestrado. Incluo os nossos familiares e que muitas vezes deram apoio na minha ausência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho, uma pessoa de uma longanimidade, sempre transmitindo uma paz que lhe é peculiar, me habilitou a chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota que foi quem teve as ideias iniciais do projeto, lamento que o mundo tenha perdido uma mente brilhante, pessoa de destaque dentro do meio acadêmico prematuramente aos 41 anos.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho e o ex-aluno Raphael Montali da Assumpção pela ajuda com o Rádiuino.

Ao Prof. Dr. Frank Herman Behrens, amigo de turma José Ricardo Alves e colega de trabalho Jonis Maurin Ceará que me ajudaram com a eletrônica.

Ao amigo de turma Gustavo Iervolino Moraes e o pesquisador Ailton Gabi, pela ajuda com a calibração dos sensores.

Ao meu irmão Lucas José Paulino e meu amigo de trabalho Eduardo Alexandre Gula pela ajuda com as fotos e com o texto da dissertação.

Ao Prof. Dr. Dante Pinheiro Martinelli e ao Prof. Dr. Walter Belluzzo Júnior, diretor e vice-diretor da FEARP/USP, pela liberação da sala para realização dos testes.

Agradeço a todos os outros amigos de curso, bem como os professores e funcionários que desprenderam tempo e troca de experiências.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas, que concedeu meia bolsa durante o decorrer do curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações.

*“Quem é bom, que continue a fazer o bem, e quem é dedicado a Deus, que continue a ser dedicado a Deus”.*

**(Apocalipse 22.11b - NTLH)**

## RESUMO

PAULINO, Mateus Leandro. *Monitoramento e gestão de variáveis em ambiente fechado por meio de rede de sensores sem fio (RSSF)*. 2017. 112f. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes e Serviços, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

Na busca pelo conforto e qualidade de vida o homem tem permanecido mais de 90% do seu tempo em ambientes artificiais e estudos comprovam que muitas doenças graves estão ocorrendo por falta de um ambiente interno de qualidade. Além das consequências à saúde, é observada a queda de desempenho do ser humano na realização das tarefas cotidianas tais como atividade intelectual, laboral e outras. A literatura relata quatro fatores que mais impactam a qualidade de um ambiente: o Térmico (temperatura e umidade adequados a suas atividades), o Visual (intensidade correta de luminosidade), a Acústica (nível baixo de ruídos repetitivos) e a Qualidade do ar (níveis de gases e partículas de poluição adequadas no ar). Destaca-se com maior gravidade dois desses fatores que são invisíveis, o Térmico e a Qualidade do ar. No sentido de mitigar estes efeitos, é de suma importância, monitorar e atuar sobre os sistemas umidificação, aquecimento, ar-condicionado, troca de ar (ventilação) de forma automatizada, no sentido de garantir conforto e tranquilidade para os ocupantes de um ambiente fechado. O objetivo deste trabalho é propor um sistema para atuar sobre dois dos fatores acima relatados: o Conforto Térmico (temperatura e umidade) e Qualidade do Ar (concentração do gás CO<sub>2</sub>). No sentido de desenvolver uma tecnologia ao mesmo tempo eficiente e de baixo custo é proposto a utilização de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) para comunicação entre os equipamentos conectados em rede, a escolha de placas e sensores de baixo custo, uso de Infravermelho para envio de comandos aos dispositivos de ar-condicionado e umidificador, como também o desenvolvimento de um sistema supervisor para controle das ações e coleta de dados. Os testes aconteceram no laboratório de informática da FEARP/USP (Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto), foram apresentados os gráficos das grandezas coletadas, tabela com atividades do dia, Atuações e Alertas do sistema. O sistema apresentou boa operacionalidade e confiabilidade no tratamento das variáveis ambientais da sala.

Palavras Chave: Iot, RSSF, Smart Home, Qualidade do Ar Interno.

# ABSTRACT

PAULINO, Mateus Leandro. *Wireless sensor network (WSN) environmental variable monitoring and management*. 2017. 112f. Dissertation (Masters in Management of Telecommunication Networks) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Faculdade de Engenharia com ênfase em Telecomunicações, Campinas, 2017.

Searching for comfort and quality of life man has spent more than 90% of his time in artificial environments. Studies show that many serious diseases are occurring due to lack of a quality internal environment. In addition to the health consequences, a performance decrease in the accomplishment of daily tasks, such as intellectual, work and other activities is observed in the human being. The literature reports four factors that have the greatest effect on the quality of an environment: Thermal (temperature and humidity suited to its activities), Visual (correct intensity of luminosity), Acoustics (low repetitive noise level) and Air Quality (levels of gases and particulates in the air). Two of these invisible factors, the Thermal and the Air Quality, seriously stand out. In order to mitigate these effects, it is of the utmost importance to monitor and act on humidification, heating, air-conditioning, and automatic air exchange (ventilation) systems in order to guarantee comfort and tranquility for the occupants of a closed environment. The objective of this work is to propose a system to act on two of the above mentioned factors: Thermal Comfort (temperature and humidity) and Air Quality (CO<sub>2</sub> gas concentration). In order to develop a technology that is both efficient and inexpensive, it is proposed that a Wireless Sensor Network (WSN) be used for communication between networked equipment, the choice of low cost boards and sensors, and the use of Infrared for sending commands to air conditioning and humidifier devices. As well as the development of a supervisory system to control actions and data collection. The tests were carried out in the computer laboratory of FEARP / USP (Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto). The graphs of the quantities collected were presented, table with activities of the day, performances and Alerts of the system. The system presented good operability and reliability in the treatment of environmental variables of the room.

Descriptors: Iot, WSN, Smart Home, Air Quality – IAQ

# FIGURAS

Figura 1. Evolução do Dióxido de Carbono nos últimos anos .....	22
Figura 2. Áreas de atuação de IoT .....	27
Figura 3. Arquitetura de Telecomunicação Sem Fio .....	29
Figura 4. RSSF na topologia Ponto Multiponto (A) e Ponto a Ponto (B). .....	31
Figura 5. Imagem do BE900 e BE990 .....	33
Figura 6. Disposição visual do CC1101 .....	34
Figura 7. Modelos de mercado do RFBEE V1.1 (A) e RFBEE V1.2 (B) .....	36
Figura 8. Modelos de mercado do XBee .....	37
Figura 9. Minicomputador Raspberry Pi 3 - Modelo B .....	39
Figura 10. Disposição das 40 portas lógicas do Raspberry Pi .....	40
Figura 11. Modelo de pilha de protocolo utilizada pelo Rádiumino .....	42
Figura 12. Tela do Software Proteus .....	47
Figura 13. Nome Empregado ao Sistema .....	51
Figura 14. Ilustração da atuação do Sistema .....	52
Figura 15. Placa de desenvolvimento DK102 .....	53
Figura 16. Kit Xbee .....	54
Figura 17. Sensores de Temperatura e Umidade DHT11 e DHT22 .....	57
Figura 18. Sensores de Gás MG811(A), MH-Z19(B) e K-30(C) .....	58
Figura 19. Transdutores fotoelétricos ABT-30F(A), E18-D80NK(B), M18(C) e CX-441(D) .....	59
Figura 20. Aferição dos sensores no Instituto de Pesquisas Eldorado .....	62
Figura 21. Aferição do sensor de gás na FMRP .....	66
Figura 22. Montagem de Analisador Portátil de gás .....	67
Figura 23. Componentes do Nó Principal (Raspberry Pi) .....	71
Figura 24. Esquema da PCI criado no software Proteus .....	73
Figura 25. Desenho da PCI para produção .....	74
Figura 26. Componentes do Nó Sensor .....	75
Figura 27. Características do Ar-Condicionado e do Umidificador .....	77
Figura 28. Fluxograma Simplificado do Software em Python .....	78
Figura 29. Interação do Sistema e Tecnologias Areladas .....	84
Figura 30. Modelo conceitual gerado no Software MySQL Workbenck .....	86
Figura 31. Estrutura da Sala Estudada .....	89
Figura 32. Disposição dos equipamentos no Laboratório .....	90
Figura 33. Disposição do Nó Sensor no Laboratório .....	91
Figura 34. Página Home da Interface Web .....	92
Figura 35. Menu Administrativo .....	94
Figura 36. Página de Configuração .....	95
Figura 37. Página de Atuação .....	96
Figura 38. Envio de Comandos Manuais .....	97
Figura 39. Página de Alertas .....	98
Figura 40. Comparativo da leitura do Dióxido de Carbono .....	106

# TABELAS

Tabela 1. Comparativo do BE900 com BE990 .....	35
Tabela 2. Especificações do RFBEE V1.2 .....	36
Tabela 3. Modelos XBee .....	38
Tabela 4. Modelo de pacote RADIUINO para TCP/IP .....	42
Tabela 5. Tabela comparativa dos modelos de Transceptores para RSSF .....	54
Tabela 6. Tabela comparativa para a escolha do Sensor Analisador de Gás .....	58
Tabela 7. Tabela comparativa para a escolha do Transdutor Fotoelétrico.....	60
Tabela 8. Resumo obtido nas medidas de Umidade.....	63
Tabela 9. Resumo obtido nas medidas de Temperatura.....	65
Tabela 10. Custos do projeto .....	78
Tabela 11. Atuações e Alertas registrados no dia 20/10/2017 .....	99

# GRÁFICOS

Gráfico 1. Software Curve Expert Professional para sensor de umidade do Nó Sensor .....	63
Gráfico 2. Tela do gráfico exibido do Software Curve Expert Professional para sensor de umidade do Nó Principal .....	64
Gráfico 3. Gráfico das medidas obtidas no laboratório da FMRP/USP .....	68
Gráfico 4. Tela do gráfico exibido do Software Curve Expert Professional para sensor de gás do Analisador Portátil.....	69
Gráfico 5. Tela do gráfico exibido do Software Curve Expert Professional para sensor de gás do Nó Principal .....	70
Gráfico 6. Página dos gráficos exibidos na página de relatórios da Interface Web...	93
Gráfico 7. Temperatura interna e externa da sala no dia 20/10/2017 .....	101
Gráfico 8. Umidade interna e externa da sala no dia 20/10/2017.....	102
Gráfico 9. Dióxido de Carbono(CO <sub>2</sub> ) interno da sala no dia 20/10/2017 .....	103
Gráfico 10. RSSI e Pessoas da sala no dia 20/10/2017.....	105
Gráfico 11. CO <sub>2</sub> da sala nos dias 11, 17, 18 e 19/10/2017 .....	106

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RSSF	= Rede De Sensores Sem Fio
IAQ	= <i>Indoor Air Quality</i>
EPA	= <i>United States Environmental Protection Agency</i>
BRASINDOOR	= Sociedade Brasileira De Meio Ambiente E Controle Da Qualidade Do Ar De Interiores
ANVISA	= Agencia Nacional De Vigilância Sanitária
ASHRAE	= <i>American Society Of Heating, Refrigerating, And Air- Conditioning Engineers</i>
ISO	= <i>International Organization For Standardization</i>
ABNT	= Associação Brasileira De Normas Técnicas
IOT	= <i>Internet Of Things</i>
PCI	= Placa De Circuito Impresso
AMI	= <i>Ambient Intelligence</i>
WBAN	= <i>Wireless Body Area Network</i>
IEEE	= <i>Institute Of Electrical And Eletronics Engineers</i>
WPAN	= <i>Wireless Personal Area Network</i>
WLAN	= <i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	= <i>Wireless Local Area Network</i>
WWAN	= <i>Wireless Wide Area Network</i>
TERMISTORES	= <i>Thermally Sensitive Resistor</i>
ISM	= <i>Industrial, Scientific And Medical</i>
MHZ	= <i>Mega-Hertz</i>
MW	= <i>Megawatt</i>
DBM	= <i>Decibel-Milliwatts</i>
GPIO	= <i>General Purpose Input/Output</i>
RSSI	= <i>Received Signal Strength Indicator</i>
TCP/IP	= <i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i>
MAC	= <i>Media Access Control</i>
HTML	= <i>Hyper Text Markup Language</i>

W3C = *World Wide Web Consortium*  
CAD = *Computer-Aided Design*  
INMETRO = Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia  
GND = *Ground* (Terra Na Eletrônica)  
IDE = *Integrated Development Environment*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1.1 Contextualização e Justificativa do Trabalho</b> .....	18
<b>1.2 Objetivos</b> .....	23
<i>1.2.1 Objetivos Intermediários</i> .....	23
<b>1.3 Organização da Dissertação</b> .....	24
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	25
<b>2.1 Internet das Coisas</b> .....	25
<i>2.1.1 Pessoal e doméstico</i> .....	27
<i>2.1.2 Empresarial</i> .....	28
<i>2.1.3 Serviços de utilidade pública</i> .....	28
<i>2.1.4 Mobilidade</i> .....	28
<b>2.2 Smart Home</b> .....	29
<b>2.3 Sistema de Comunicação Sem Fio</b> .....	29
<b>2.4 Tipos de Transdutores</b> .....	31
<b>2.5 Equipamentos de RSSF</b> .....	32
<i>2.5.1 Dispositivo de Nó Sensor</i> .....	32
<i>2.5.2 Dispositivo de Gateway</i> .....	38
<i>2.5.3 Qualidade através do RSSI</i> .....	40
<b>2.6 Linguagens de Programação</b> .....	41
<i>2.6.1 Linguagem para os Dispositivos de Nó Sensor</i> .....	41
<i>2.6.2 Linguagem para o Dispositivo Gateway</i> .....	43
<i>2.6.3 Linguagem para Web</i> .....	44
<b>2.7 Banco de Dados</b> .....	45

2.7.1 Ferramenta de Administração do MySQL .....	46
<b>2.8 Ferramenta para Desenho de Circuito Eletrônico .....</b>	<b>46</b>
<b>2.9 Principais Trabalhos Referência.....</b>	<b>47</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
<b>3.1 Visão Geral do Sistema .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2 Escolha do Rádio .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3 Escolha dos Sensores e Transdutores .....</b>	<b>55</b>
<b>3.4 Calibração dos Sensores e Transdutores.....</b>	<b>60</b>
3.4.1 Transdutores de Temperatura/Umidade DHT22 .....	61
3.4.2 Sensor Analisador de Gás MH-Z19.....	66
<b>3.5 Desenvolvimento do Hardware .....</b>	<b>71</b>
3.5.1 Nó Principal.....	71
3.5.2 Nó Sensor .....	72
3.5.3 Demais Equipamentos .....	76
3.5.4 Custo Final do Projeto.....	77
<b>3.6 Lógica do Sistema .....</b>	<b>78</b>
<b>3.7 Desenvolvimento Software .....</b>	<b>84</b>
<b>3.8 Desenvolvimento Banco de Dados .....</b>	<b>85</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1 Caracterização do Ambiente .....</b>	<b>89</b>
<b>4.2 Localização dos Equipamentos .....</b>	<b>90</b>
<b>4.3 Apresentação dos Resultados .....</b>	<b>92</b>
4.3.1 Página Home .....	92
4.3.2 Páginas de Relatórios .....	93
4.3.3 Menu Administrativo.....	94
<b>4.4 Análise dos Resultados.....</b>	<b>98</b>

<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>107</b>
<b>5.1 Contribuições .....</b>	<b>107</b>
<b>5.2 Proposta para Trabalhos Futuros.....</b>	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização e Justificativa do Trabalho

O descuido com a natureza é notícia diária, com destaque para o aquecimento global e suas consequências, trazendo um elevado custo para todos os seres vivos do planeta. No sentido de mitigar estes efeitos, líderes das grandes nações estabelecem metas para diminuição da produção de gases poluentes que são lançados na atmosfera por fontes geradoras, como por exemplo, as indústrias. O ser humano tenta se adaptar a essas mudanças e infelizmente a fauna e flora muitas vezes continuam sofrendo consequências, pois a cada grau celsius a mais no planeta extinguem-se espécies (KUBISCH et al., 2015).

O termo “refugiado ambiental” ou “refugiado climático” surgiu do trânsito de pessoas de áreas mais afetadas ambientalmente para áreas mais amenas, incentivado pela inviabilidade por completo ou em parte da vida das pessoas em seu local de origem (MARQUES; DE OLIVEIRA, 2016). Um exemplo claro desse problema pode ser notado com as secas que a África e o Nordeste brasileiro passaram a enfrentar, causando o êxodo com graves consequências políticas, econômicas e sociais.

Por outro lado, ao longo da história, o homem usou sua inteligência em busca de adaptação e sobrevivência a climas hostis, obtendo o domínio de algumas ciências. A partir do surgimento do motor elétrico, um ambiente pôde ficar mais agradável com o advento do ventilador, proporcionando a diminuição da sensação térmica de calor; mais tarde, com a criação da refrigeração artificial, se alcançou temperaturas ainda mais adequadas. Infelizmente esse uso de ar-condicionado poderia ser evitado se houvesse um projeto arquitetônico priorizando a circulação natural do ar, como por exemplo, levando em conta que o ar quente sobe, se posicionando em janelas onde o vento passe pela edificação (efeito chaminé) provocando o resfriamento térmico, quem sabe também aproveitando a iluminação do sol, gerando economia de energia para a família (SOUZA; RODRIGUES, 2012).

Os materiais utilizados na construção de edificações, como por exemplo paredes e telhado, podem influenciar também no conforto interno do ambiente, deve-se pensar na região onde se localiza a obra, para evitar que o resultado final se

retenha o calor no verão e o frio no inverno, inversamente ao pretendido. (OLIVEIRA et al., 2009)

O estudo da *Indoor Air Quality* - IAQ (Qualidade do Ar Interno) é reconhecido como um fator importante para segurança da saúde e conforto dos ocupantes de um ambiente fechado (PITARMA et al., 2016). Esta questão torna-se mais relevante ao considerar-se que, hoje, a maioria das pessoas gasta mais de 90% do seu tempo em ambientes fechados, com climatização artificial. Esta situação é preocupante, e aponta graves problemas de saúde por doenças causadas por uma má qualidade do ar interno, podendo afetar negativamente, a qualidade de vida da pessoa no aspecto físico/mental. Ainda, de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (EPA, 2017), a exposição humana a poluentes do ar interno de um ambiente fechado pode ser muitas vezes maior do que os níveis de poluentes no ambiente ao ar livre, por acumular emissões geradas por acabamentos, mobiliários e pelas consequências das atividades diárias dos ocupantes. Esse órgão norte americano classifica os poluentes do ar interno como um dos principais riscos ambientais para a saúde pública, junto da poluição da água, do solo e outros. No sentido de entender e buscar soluções, a EPA criou um programa voluntário para estudo da qualidade do ar interno chamado AirPLUS que reúne construtores dispostos a seguirem à risca as especificações sugeridas pelo órgão norte americano, como por exemplo, incluir sistema de troca de ar, sistemas de controle de umidade, aquecimento e refrigeração do ambiente, bem como o uso de materiais de baixa emissão de poluentes contaminantes na edificação de um ambiente. A EPA também financiou casas a preços bem acessíveis para pessoas pobres com problemas crônicos de respiração.

Com a mesma perspectiva foi criada no Brasil, a Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle da Qualidade do Ar de Interiores – BRASINDOOR (BRASINDOOR, 2017), fundada na década de 90. Seu selo de qualidade atende a três categorias: produtos, serviços e ambientes. Cada categoria tem um conjunto de exigências que devem ser atendidas para obtenção do selo. Essa certificação é revista, anualmente, com visitas periódicas. A BRASINDOOR segue definições estabelecidas pela ANVISA (BRASIL, 2003), cabendo a ela apenas identificar produtos, serviços e ambientes, com o objetivo de proteger a saúde dos brasileiros.

Além das consequências à saúde, a eficiência produtiva de uma pessoa diminui à medida que o nível de desconforto é agravado. Segundo Pitarma et al. (2016), ao

se considerar uma empresa com muitos funcionários, será constatada uma menor eficiência por parte de cada um deles, tendo como consequência a perda de produtividade de toda a empresa, conduzindo-a a prejuízos desnecessários. Este é apenas um exemplo que motiva uma profunda análise do conforto em um ambiente de trabalho.

Segundo Bujdei e Moraru (2011), os quatro fatores mais importantes que podem reduzir a eficiência de uma pessoa no exercício de uma atividade intelectual, laboral ou outras cotidianas são:

- Térmico: descrito por parâmetros de temperatura, umidade e velocidade do ar. É um tipo muito importante de conforto, com alto impacto para a capacidade humana de realizar adequadamente suas atividades;
- Visual: a intensidade da luz e outros fatores podem influenciar na qualidade da visão;
- Acústico: o nível máximo de ruído ou barulho repetitivo considerado aceitável por uma pessoa para não perturbar as suas atividades;
- Qualidade do ar: inclui os parâmetros que caracterizam as condições do ar e são adequados para a respiração e a saúde humana (por exemplo, o nível de oxigênio, o nível de poluição).

Nesse contexto, monitorar e atuar sobre os sistemas de iluminação, aquecimento, ar condicionado, sistemas de ventilação além de desenvolvimento de tecnologias apropriadas, é buscar o conforto para os ocupantes de um ambiente fechado.

Fanger (1970), precursor dos estudos sobre Conforto Térmico (CT), afirma que a pessoa se sentirá confortável assim que assumir a neutralidade térmica. Esse autor influenciou as normas brasileiras, como também a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers), que é uma organização dedicada a orientar a indústria dos Estados Unidos na área de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado, segundo as normas publicadas na ISO – International Organization for Standardization 7730 de 2005 (ISO 7730, 2005).

Na maior parte do Brasil predomina o clima quente e úmido, gerando problemas de desconforto com a temperaturas elevadas. Segundo Ruas (1999), o calor é mais complicado para se resolver o problema do conforto do que o inverno, devido a facilidade de se obter uma roupa adequada para se aquecer o corpo. Além disso, há a questão individual, sendo o conforto térmico experimentado por uma pessoa é

subjetivo e difícil de ser quantificado, ou seja, se manifesta de forma diferente de um ser para outro. Por exemplo, uma pessoa pode avaliar um ambiente como adequado, confortável termicamente e agradável, mas outra classificá-lo como inadequado. Esta avaliação pode estar associada a metabolismo, atividades, roupas, etc. Independente disso as normas foram elaboradas procurando atender essas peculiaridades.

O Conforto Visual está ligado à tarefa que a pessoa está realizando e deve proporcionar a intensidade necessária de luz. Para um ambiente com uso de computador, deve-se equilibrar a luz da tela com a luz do ambiente, a fim de garantir o contraste necessário. Quando esse equilíbrio de luz não é respeitado, a pessoa se cansará mais rapidamente (BUJDEI; MORARU, 2011).

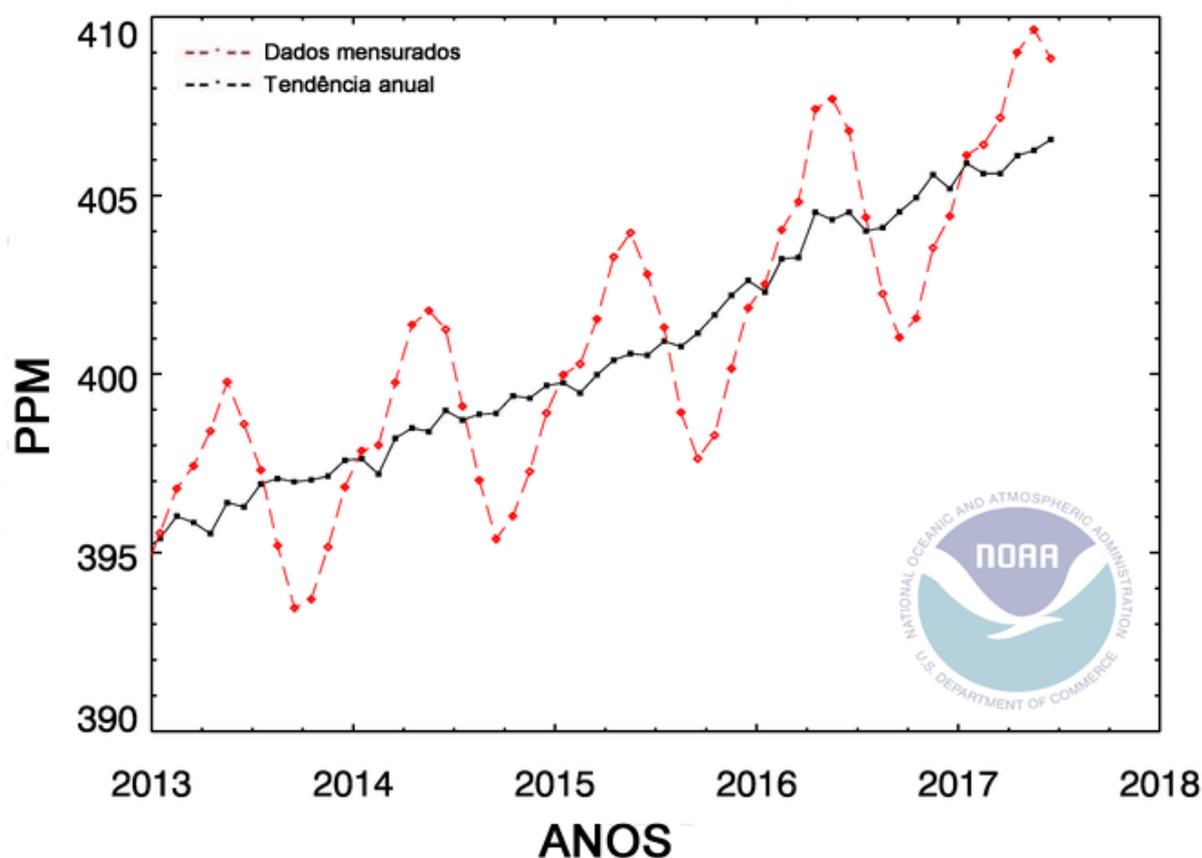
O Conforto Acústico é simplesmente o ruído a que uma pessoa está exposta, podendo causar distração e estresse. Os tipos de fonte de ruído podem ser externos, produzidos pelo trânsito, pessoas, etc. Ou, internos, fontes geradoras dentro do edifício, impressora, ar-condicionado, máquinas industriais, etc. Além dos problemas citados, o desconforto acústico pode gerar, também, rouquidão e aumento dos batimentos cardíacos (BUJDEI; MORARU, 2011).

Órgãos importantes nos EUA como por exemplo o *Illinois Department of Public Health* – IDPH (Departamento de Saúde Pública de Illinois) criou diretrizes baseadas no ASHRAE para determinar a qualidade do ar em um ambiente fechado e rigorosos sistemas para evitar ameaças por contaminantes biológicos. Por exemplo, a temperatura e umidade são controlados e acompanhados por serem fatores que influenciam fortemente a qualidade do ar. A Umidade Relativa do Ar é considerada aceitável se estiver no intervalo de 30 a 60%, independente da estação do ano. No inverno, é comum chegar a menos de 20% e, no verão, a umidade pode chegar facilmente a 60%. O excesso de umidade também pode trazer risco, pois pode aumentar os níveis de desenvolvimento de bactérias. Quanto à temperatura do ar, no verão, recomenda-se 23 a 26°C e, no inverno, de 20 a 24°C. O Dióxido de Carbono (CO<sup>2</sup>) é encontrado em todo ambiente, contudo pode estar em maior concentração em espaços fechados, com baixa ventilação. A concentração pode aumentar também, devido à quantidade de pessoas presentes no espaço e as atividades que elas realizam. O ASHRAE recomenda não se expor a uma concentração superior a 1.000 PPM (Partes Por Milhão), o que é um valor atingido sem muito esforço. Valores muito fora desta faixa podem causar problemas de saúde, como dor de cabeça, fadiga,

diferentes tipos de irritações, mas não representa um risco de vida iminente (BUJDEI; MORARU, 2011).

Elucidando melhor a questão do Dióxido de Carbono, os gases são mensurados em partes por milhão, o que quer dizer que se uma medição expressa em 400 PPM, significa hipoteticamente que em um armazenamento de um milhão de partes do ar seco atmosférico, 400 delas são de Dióxido de Carbono. O crescimento da participação do Dióxido de Carbono registrado nos últimos seis anos até Julho de 2017, acompanhado pelo Observatório Mauna Loa, do Havaí, pode ser observado na Figura 1. Nota-se um aumento das concentrações de Dióxido de Carbono na atmosfera devido à poluição (DLUGOKENCKY; TANS, 2017).

Figura 1. Evolução do Dióxido de Carbono nos últimos anos



Fonte: Adaptado de DLUGOKENCKY; TANS (2017)

Conforme observado na Figura 1, o gráfico vermelho mostra a variação de 400 a 410 PPM em local aberto, ou seja, ao ligar um sensor de Dióxido de Carbono calibrado, é provável que se obtenha um valor parecido com esses. Com relação às

normas brasileiras (ABNT NBR 16401-3, 2008), recomenda-se, no mínimo 1000 PPM, como concentração de dióxido de carbono aceitável para o ar interno. Essa norma ressalta que muitos interpretam equivocadamente essa questão, pois a literatura informa que a concentração mínima é de 300 PPM. Entretanto, deve-se levar em consideração que na prática é normal o valor oscilar entre 400 a 600 PPM. Contudo, esclarece que o ambiente satisfatório deve estar em torno de 700 PPM, abaixo do valor encontrado no ambiente aberto. A equação entre o mínimo informado pelo Observatório Mauna Loa de 400 PPM e o máximo de 700 descrito na norma pode-se definir que um ambiente interno deve ter no máximo de 1.100 PPM como valor limite satisfatório para o ser humano.

Com relação à temperatura e umidade ideal, as normas brasileiras recomendam que para a maioria das pessoas, estar entre 23 a 26 graus Celsius de temperatura, 40 a 65% de Umidade Relativa do Ar pode levar a uma sensação de conforto, ANVISA (2003).

Dentre os fatores de impacto ao desempenho de uma pessoa, o Térmico e o da Qualidade do Ar são os que mais causam danos, sendo assim, se justifica o desenvolvimento de um sistema que contribua para a gestão de um ambiente interno.

## **1.2 Objetivos**

Desenvolvimento de um sistema de baixo custo para o controle da Qualidade do Ar Interno (IAQ), considerando as variáveis: temperatura, umidade, CO<sub>2</sub> e número de usuários no sistema.

### *1.2.1 Objetivos Intermediários*

- Determinar o estado da arte do tema;
- Desenvolver um sistema RSSF que utiliza sensores para coleta de parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade, dióxido de carbono);
- Estabelecer os materiais de baixo custo para o desenvolvimento do hardware;
- Prever no sistema um identificador da presença e monitoramento do número de pessoas no ambiente;

- Utilizar um Portal Web como parte da implementação para a comunicação e controle, com boa usabilidade.

### **1.3 Organização da Dissertação**

O trabalho foi organizado da seguinte maneira:

No Capítulo 2 encontra-se a fundamentação teórica. O leitor encontrará um breve relato sobre IoT – Internet das Coisas e suas áreas; IoT aplicado a residências também conhecido por Smart Home; o conceito de funcionamento de uma RSSF – Rede de Sensores Sem Fio; uma breve explicação do funcionamento dos tipos de sensores e transdutores que serão utilizados no projeto; Dispositivos que compõem uma rede RSSF; Ferramentas de linguagem de programação e banco de dados; Software para desenho da PCI – Placa de Circuito Integrado e Trabalhos Semelhantes.

O Capítulo 3 descreve os materiais e métodos, começando por uma Visão geral do sistema e fluxo das informações e o processo para a escolha dos equipamentos para RSSF; Aquisição dos Sensores e Transdutores de Temperatura/Umidade, Dióxido de Carbono e Barreira; Montagem e Desenvolvimento dos Equipamentos de RSSF e seus custos; Lógica do Sistema, passos de coleta, análise, atuação e alertas; Desenvolvimento do Software e composição do banco de dados.

O Capítulo 4 relata os testes, com a caracterização do ambiente de estudos; Localização física dos equipamentos; Apresentação de tabela e gráficos com os dados coletados; Análise dos resultados.

Capítulo 5 faz uma breve conclusão pontuando os acertos e dificuldades encontradas; Sugere trabalhos que podem surgir futuramente baseado nos descobertas apresentadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tema está ligado diretamente ao conceito de Edifícios Inteligentes, que permeia os assuntos de Smart Home que um dos braços de atuação de Internet das Coisas, que serão tratados nesse Capítulo. Para o desenvolvimento desse trabalho foi necessário a compreensão dos seguintes itens:

- Sensores: conhecimento de como funciona uma coleta de dados por meio de sensores, ou seja, um breve estudo sobre eletrônica e placas com microcontroladores embarcados, capazes de capturar as informações geradas pelos sensores;
- Conectividade: entender o funcionamento de uma Rede de Sensores Sem Fio – RSSF, tipos de rádios comerciais para transportar a informação coletada pelos microcontroladores até um dispositivo que processa as informações;
- Software: ele fica instalado no dispositivo principal, muitas vezes usa a tecnologia de computação em nuvem, esse é responsável por estabelecer o algoritmo que poderá analisar a informação e devolver uma ação de atuação do sistema.

Esses assuntos serão aprofundados a seguir.

### 2.1 Internet das Coisas

Esse termo *Internet of Things* – IoT (Internet das Coisas) foi criado por Kevin Ashton, o pioneiro a montar uma rede de sensores a internet. O conceito tem como objetivo descrever a tecnologia em que os objetos da vida cotidiana, estariam interligados e, podendo ser acessados à distância, como também atuar de modo inteligente. As “coisas” são os principais atores no processo, uma vez que estão conectados, interagem entre si, num intercâmbio de informações, reagindo autonomamente aos eventos, unindo o mundo físico ao mundo digital (PEREIRA; OLIVEIRA, 2017).

Outras áreas que também evoluíram, como a Computação em Nuvem, provendo diversas ferramentas para integrar os dispositivos de IoT e seus dados e servindo como plataforma para análise e desenvolvimento de softwares para entrega aos usuários de dados tratados, transformados em informação e até mesmo em

ações. Outro seguimento importante foi o das redes de comunicação, recurso fundamental para o envio de dados a um local de concentração, que no caso é a Computação em Nuvem, tornando o sinal das redes mais presente em regiões metropolitanas e rurais, como por exemplo, Wi-fi, 4G-LTE, se caracterizando em uma plataforma essencial para o crescimento dessa tecnologia (GUBBI et al., 2013).

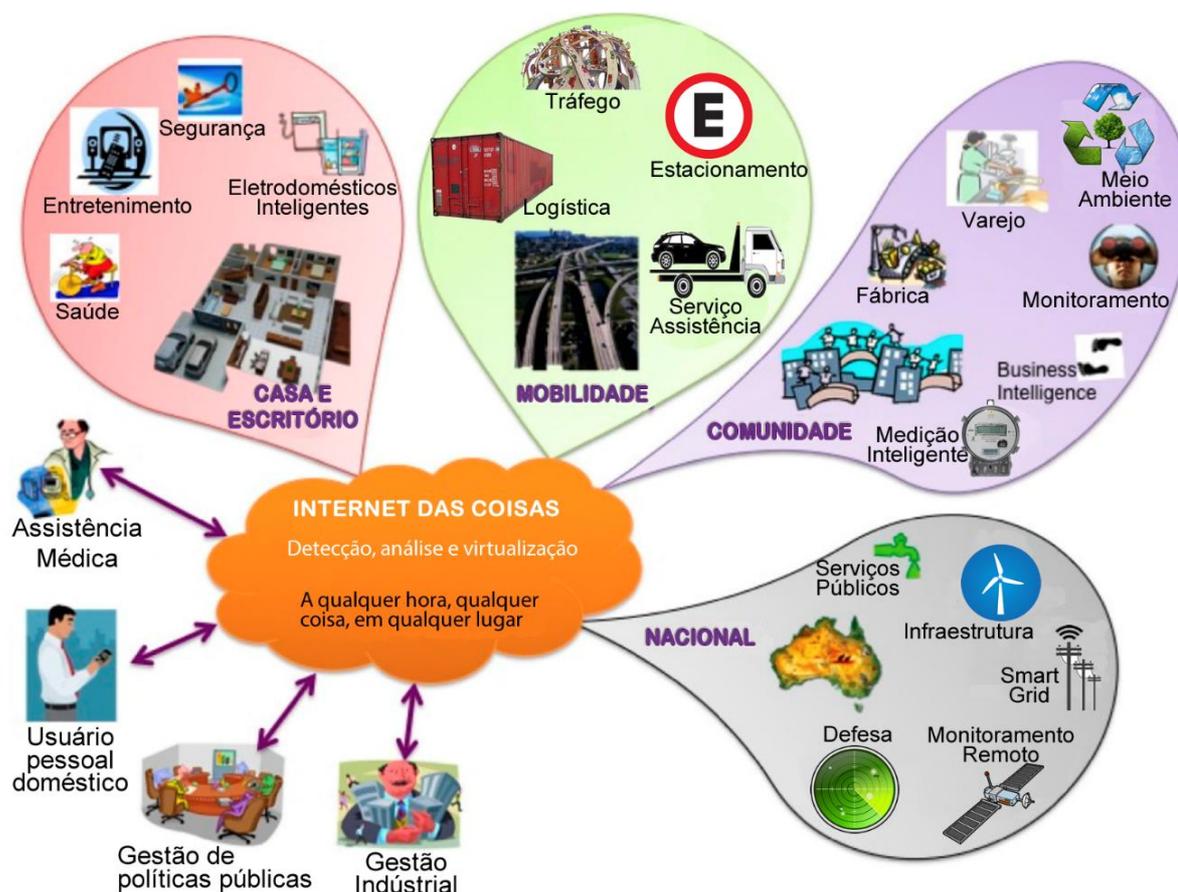
A IoT baseia-se, conceitualmente, nos fundamentos (MIORANDI et al, 2012):

- Ter uma identificação única dentro de sua cobertura;
- Ser capaz de se comunicar em uma determinada rede sem fio;
- Prover interação inteligente com outras entidades da rede, na capacidade de detecção e atuação;

A partir desses pilares, surge o desafio de desenvolver soluções tecnológicas para resolver problemas da vida real, a fim de construir produtos comercialmente viáveis (MIORANDI et al, 2012). As aplicações de Internet das Coisas podem ser categorizadas basicamente em quatro principais aplicações: 1- Indivíduo; 2- Comunidade; 3- Nacional; 4- Mobilidade (GUBBI et al., 2013).

A Figura 2 representa os níveis de atuação da IoT, por exemplo, Casa e Escritório estão mais voltados para o indivíduo; Comunidade está mais voltado para serviços na cidade ou região; Nacional são serviços que envolvem uma grande área ou país e Mobilidade pode envolver todos os outros, dependendo o nível de transporte.

Figura 2. Áreas de atuação de IoT



Fonte: Adaptado de GUBBI et al. (2013)

### 2.1.1 Pessoal e doméstico

Uma das aplicações é a coleta de dados de um indivíduo por sensores para o monitoramento da saúde. Pequenos sensores são conectados ao corpo humano para enviar parâmetros fisiológicos para o Smartphone via Bluetooth, a fim de serem processados por um software no aparelho de celular e propor ações para a melhoria de alguns índices coletados. Podem também enviar os dados para nuvem e torná-los disponíveis para os médicos acessarem e acompanharem esses dados. Outra aplicação é o controle remoto de determinados eletrodomésticos, que vai além de ligar ou desligar, permitindo a gestão do consumo energético. Como sistema de vigilância, o uso de câmeras tem crescido, sendo possível programar o sistema para disparar alertas tanto do monitoramento de pacientes em sua casa, como no tratamento de animais de estimação (GUBBI et al., 2013).

### *2.1.2 Empresarial*

Os prédios inteligentes vão além de liberar acesso a determinadas portas. Permitem, entre outras ações, informar em tempo real o número de pessoas que estão na empresa, gerenciar sistema de controle climático, controle da intensidade da iluminação, e outros controles dependendo do tipo de empresa ou indústria, disponibilizando inúmeras opções para o gestor (GUBBI et al., 2013).

### *2.1.3 Serviços de utilidade pública*

Nesse caso, são as informações que visam uma otimização e melhoria nos serviços prestados ao consumidor. Um exemplo de empresa de serviços públicos é o medidor inteligente de energia elétrica, uma tendência mundial, onde a Companhia do setor elétrico pode monitorar continuamente, tanto a qualidade da energia que se está fornecendo como a demanda. Uma vez que a empresa tem os dados de toda cidade é possível produzir um equilíbrio da carga, resultando no provimento de um serviço mais confiável e de melhor qualidade. Outro serviço de IoT se baseia em imagens de vídeo, infravermelho e microfone. Através de inúmeras aplicações é possível rastrear pessoas ou objetos, identificar atividades suspeitas, detectar intrusão no perímetro e outros. O acompanhamento da qualidade da água em rede metropolitana é uma aplicação importante, como também o monitoramento de vazão em dutos de esgoto. Para uso na agricultura, o monitoramento de irrigação, monitoramento dos parâmetros do solo e outras aplicações crescem a cada dia (GUBBI et al., 2013).

### *2.1.4 Mobilidade*

Transporte Público inteligente obtido pelo monitoramento de tráfego, o controle da poluição sonora e da qualidade do ar em um meio urbano se tornaram objetivos comuns do uso de IoT. Não apenas no transporte público, mas na logística e escoamento da cadeia produtiva assume papel significativo, por exemplo, quando acontece um congestionamento. As informações do trânsito em tempo real podem ser utilizadas pelo sistema para a determinação de ações como mudança no cronograma de entregas, redirecionando rotas, dinamizando o setor e contribuindo na redução de custos (GUBBI et al., 2013).

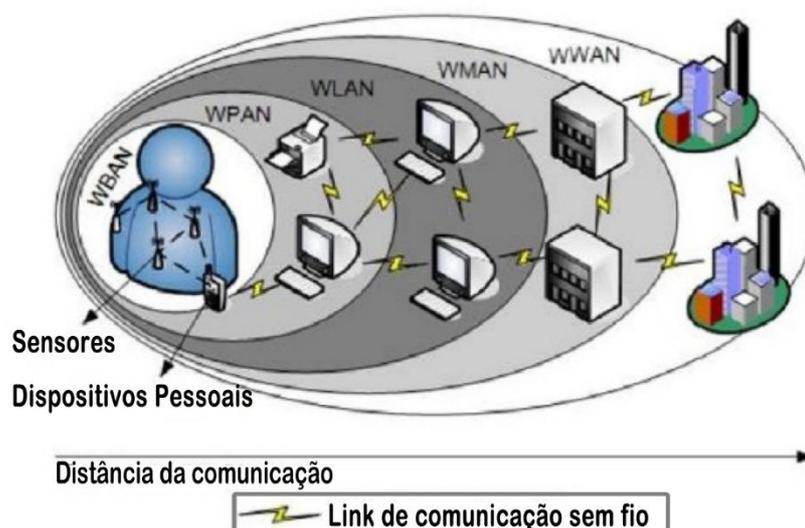
## 2.2 Smart Home

O conceito de casa inteligente começou na década de 70, com empresas fabricando produtos com funções básicas de automação residencial, como controle de iluminação e temperatura do ambiente. Cada fabricante dava um nome diferente, mas o que chamou mais a atenção e até marcou época foi o nome domótica, que veio do latim **domus** que significa casa, e do eslavo **robot** que significa “trabalhos forçados” ou “servo”. Com o passar dos anos a engenharia de instalações prediais foi se modernizando e o estudo sobre a relação do homem com a casa também. Com a participação de profissionais de diversas áreas no processo, técnicas foram se aprimorando e os dispositivos desenvolvidos se tornando menos invasivos para a gerência e dinamismo das interações dos ocupantes de um ambiente com os equipamentos eletrônicos interligados em rede. Hoje em dia o termo perdeu um pouco de popularidade, pois os fabricantes acreditam não ter apelo comercial, sendo substituído aos poucos pelo nome “Smart Home” ou Casa Inteligente, Ambientes Inteligentes - Aml (BOLZANI, 2010).

## 2.3 Sistema de Comunicação Sem Fio

A rede de comunicação pode ser complexa e se define por normas estabelecidas pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que definiu a arquitetura de rede sem fio, ilustrada na Figura 3 e descrita em tópicos, a seguir (POSTOLACHE, 2006).

Figura 3. Arquitetura de Telecomunicação Sem Fio



Fonte: SEMINARTOPICS (2017)

- WBAN (Wireless Body Area Network): Com a miniaturização dos dispositivos, foi possível a criação de uma rede de sensores anexados ao corpo, ou até mesmo implantados sob a pele. Uma WBAN funciona próxima ao corpo humano e sua faixa de comunicação está limitada a alguns metros, com valores típicos em torno de 1-2 metros (SEMINARTOPICS, 2017).
- WPAN (Wireless Personal Area Network): São todos dispositivos de tecnologia wireless de curto alcance, por exemplo, de 10 a 100 metros. Um exemplo dessa rede é o Bluetooth que conecta o celular ao rádio do carro. Enquanto um WBAN é dedicado à interconexão de dispositivos portáteis a uma pessoa, um WPAN é uma rede no ambiente ao redor da pessoa (SEMINARTOPICS, 2017).
- WLAN (Wireless Local Area Network): É uma rede voltada para conexão externa, ou seja, interligar as redes locais, voltada para atingir entre 100 a 300 metros
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network): Esse segmento é responsável por interligar toda área metropolitana, ou seja, trata-se de conexão banda larga para última milha, podendo alcançar até 6 km.
- WWAN (Wireless Wide Area Network): Esse grupo está voltado para redes de longa distância, compreendendo tecnologias de telecomunicações, serviços de voz e dados.

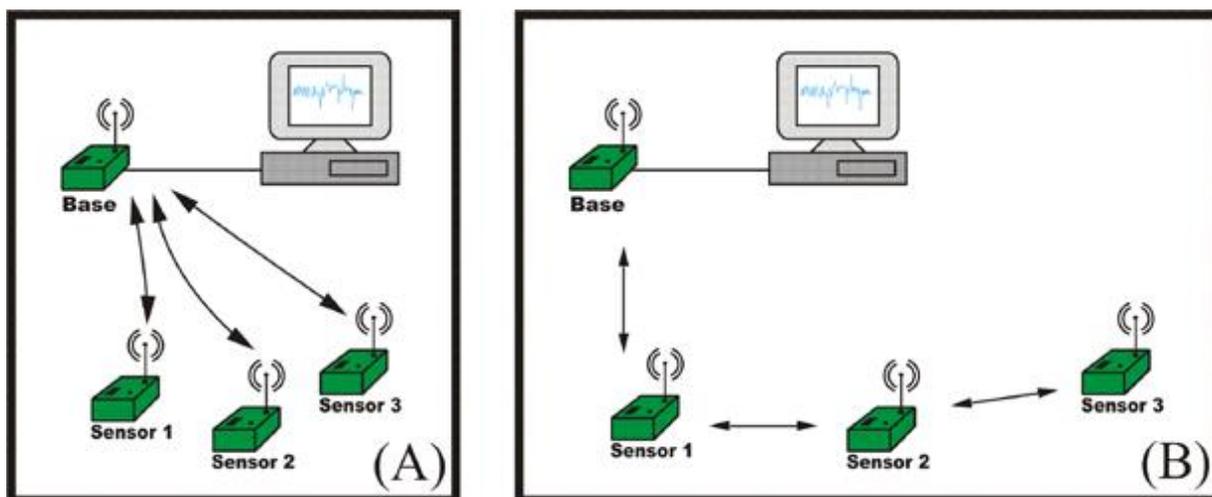
Esse trabalho se utiliza de uma RSSF que está dentro de uma WPAN, cujo objetivo é prover conectividade a curto alcance, interconectando os Nós Sensores até um Nó Gateway que faz a interface para uma rede WLAN. A composição de um dispositivo de Nó Sensor é basicamente de 4 itens: Microcontrolador/Memória, Transceptor (módulo de rádio), Alimentação (comumente usa-se bateria) e Sensor/Transdutor (gerador de dados) (SANTOS, 2016).

A quantidade de Nós Sensores e sua topologia em uma RSSF são definidas para obter melhores resultados na capacidade de transmissão dos dados, ou seja, o

tipo de topologia deverá ser implementada sempre pensando na boa qualidade da transmissão e garantia de uma integridade nos dados (BARROS, 2014).

Simplificadamente existem dois tipos de topologia em RSSF: Ponto a Ponto e Ponto Multiponto, conforme observado na Figura 4.

Figura 4. RSSF na topologia Ponto Multiponto (A) e Ponto a Ponto (B).



Fonte: BARROS (2014).

O modelo A tem a característica do Nó Base conseguir acessar todos os Nós Sensores diretamente, sem precisar de passar por outro ou outros pontos.

O modelo B tem a característica de oferecer um tipo Cascata, ou seja, para o Nó Base acessar o Nó Sensor 3 é necessário passar por todos os Nós Intermediários.

## 2.4 Tipos de Transdutores

Os sensores ou transdutores são componentes capazes de perceber um tipo de forma de energia à sua volta, podendo ser luminosa, térmica, cinética, sonora etc. Baseado na informação que se queira coletar, por exemplo: pressão, algum tipo de gás, temperatura do ar, pressão atmosférica, corrente elétrica, velocidade, transformá-la em dados disponibilizados para serem usados, (THOMAZINI, 2005).

## 2.5 Equipamentos de RSSF

Para um contexto de Rede de Telecomunicações para uma Smart Home deve se estudar uma rede WPAN com dispositivos ponto a ponto, que promovam uma boa conectividade e um baixo custo. Com isso, serão citados alguns modelos disponíveis no mercado nos subtítulos a seguir.

### 2.5.1 Dispositivo de Nó Sensor

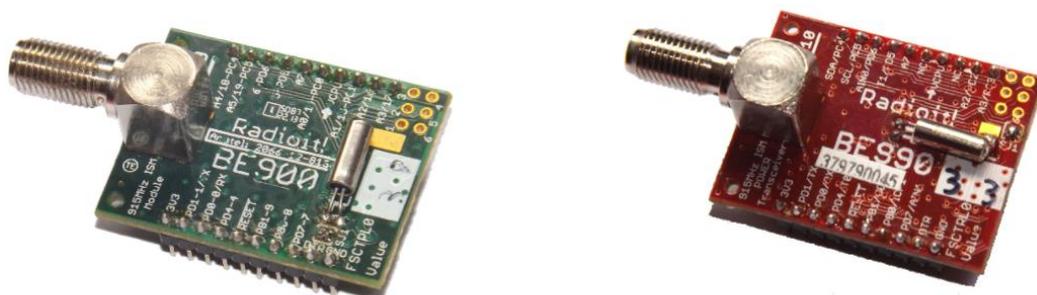
Muitas montadoras de hardware foram criando seus dispositivos e oferecendo suas soluções de mercado em todo mundo. Infelizmente cada qual com suas características, acoplando os componentes e seguindo suas próprias convicções. O problema foi que os equipamentos de fabricantes diferentes não se comunicam, tornando o cliente refém de uma ou outra marca. Ainda existe muita discussão sobre a padronização. Entretanto, surgiu o padrão Zigbee, que é utilizado na transmissão de dados em pequenos e médios dispositivos, a fim de se estabelecer uma rede de troca de informações com um baixo consumo de energia, podendo ser alimentado por uma bateria por um longo tempo. O foco do Zigbee Alliance está em aplicações para automatização de residências, controle industrial e aplicações médicas. Uma técnica utilizada pelos dispositivos de Internet das Coisas (IoT), como por exemplo o padrão Zigbee na comunicação em malha. Esse tipo de comunicação permite que dispositivos transmitam informações entre eles, ou seja, a informação pode saltar de dispositivo (nó) para outro dispositivo (nó) até encontrar seu destino final, alcançando maiores distâncias. Outra grande vantagem desse padrão é que se o dispositivo não estiver transmitindo ele se coloca para dormir podendo ser despertado a qualquer momento, por um tempo pré-definido ou por solicitação de outro dispositivo, gerando uma economia significativa de sua energia (WHITE; LEONARDO, 2012).

Os transceptores baseados na tecnologia ZigBee operam nas faixas de 2.4GHz na esfera global, 868MHz na Europa e 915MHz nas Américas (WHITE; LEONARDO, 2012).

Uma opção interessante de mercado são os BE900 e BE990, vistos na Figura 5. São produzidos pela RADIOIT, uma empresa sediada em Campinas-SP que

desenvolveu esses rádios baseando-os na plataforma do RFBEE versão 1.1 (SEEEDUINO RFBEE V1.1, 2017), porém com um microcontrolador mais potente, já que o RFBEE v1.1 tem embarcado um Atmega 168 e os da RADIOIT vem com um Atmega 328, semelhante ao do Arduino Uno R3 (ARDUINO, 2017).

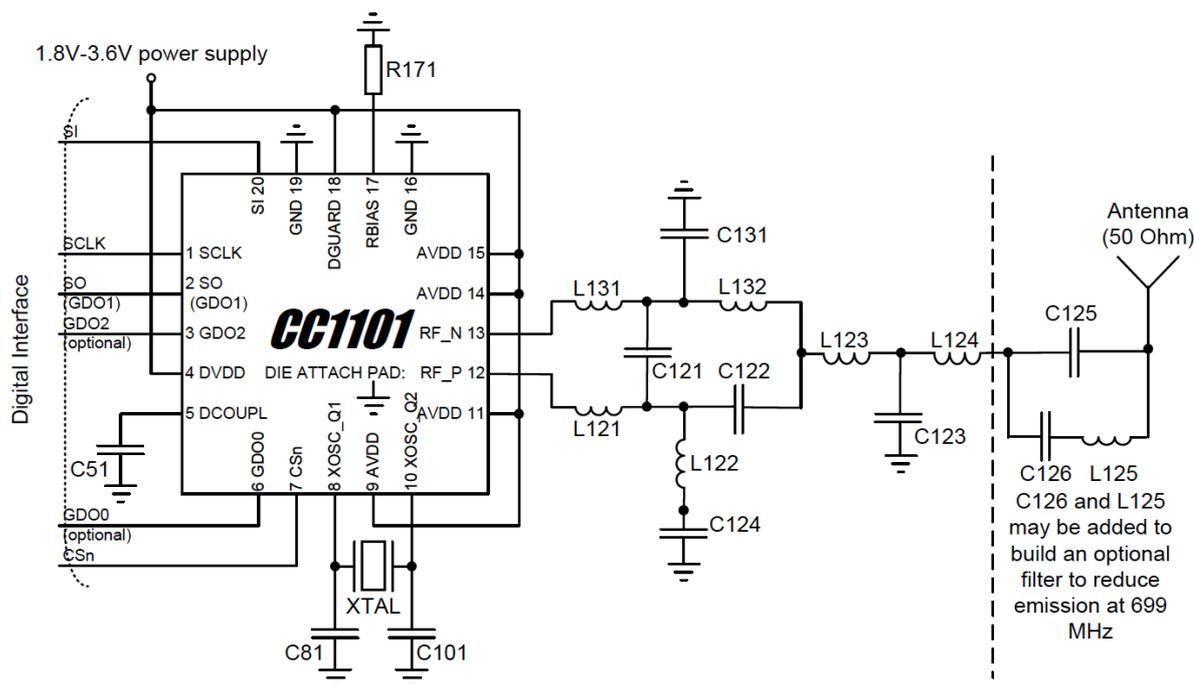
Figura 5. Imagem do BE900 e BE990



Fonte: Adaptado de RADIOIT (2017)

A principal característica que a RADIOIT manteve do RFBEE foi o seu rádio transceptor CC1101 criado pela Texas Instruments, cujo circuito está apresentado na Figura 6, para atender a demanda ISM (Industrial, Scientific and Medical) e banda de frequência de curto alcance, sendo de 315, 433, 868, e 915 MHz. Um fator interessante desse rádio da Texas é suportar vários formatos de modulação e uma taxa de dados de até 600kbps. Tanto o RFBEE como os rádios da RADIOIT estão otimizados no que diz respeito ao firmware e antena para trabalharem em 868 e 915MHz. Especificamente, os BE900 e BE990 mais restritos às faixas 902 a 907,5 MHz como também de 915 a 928MHz. Conforme observado na Figura 6, onde está escrito “Digital Interface” é uma interface de comunicação chamada SPI que é conectada ao microcontrolador (Atmega), encarregado da transmissão e recepção dos dados da conexão estabelecida.

Figura 6. Disposição visual do CC1101



Fonte: INSTRUMENTS (2011)

Conforme descrito na Tabela 1, a única diferença do BE900 para o BE990 está na potência de transmissão, pois o BE900 tem potência de até +10dBm, o que representa se propagar o sinal em ambiente interno até a 100 metros e externo até a 500 metros. Enquanto o BE990 foi embarcado com um dispositivo de amplificação, possibilitando chegar até + 17dBm o que representa 1000 metros em ambiente interno e até 8000 metros em ambiente externo.

Tabela 1. Comparativo do BE900 com BE990

BE900		BE990	
<b>RF</b>		<b>RF</b>	
<b>Frequência de Operação</b>	902-907,5MHz e 915- 928MHz	<b>Frequência de Operação</b>	902-907,5 MHz e 915-928 MHz
<b>Modulação</b>	2FSK (Configurável)	<b>Modulação</b>	2FSK(Configurável)
<b>Tecnologia</b>	Modulação Digital	<b>Tecnologia</b>	Modulação Digital
<b>Taxa de dados do RF</b>	Até 250kbps	<b>Taxa de dados do RF</b>	Até 250Kbps
<b>Potência de TX</b>	Até +10dBm	<b>Potência de TX</b>	Até +17dBm
<b>Sensibilidade RX</b>	Até -112dBm (com ~1% de PER)	<b>Sensibilidade de RX</b>	Até -112dBm (com ~1% de PER)
<b>Alcance Indoor</b>	Até 100m	<b>Alcance Indoor</b>	Até 1000m
<b>Alcance Outdoor</b>	Até 500m	<b>Alcance Outdoor</b>	Até 8000m
<b>Regulamentação</b>	FCC, Anatel, Australia	<b>Regulamentação</b>	Atende à Anatel, FCC, Austrália
<b>Placa</b>		<b>Placa</b>	
<b>Dimensões</b>	24,4mm x 32mm x 10,5mm	<b>Dimensões</b>	24,4mm x 32mm x 10,5mm
<b>Número de Pinos</b>	20	<b>Número de Pinos</b>	20
<b>Espaçamento dos pinos</b>	2mm	<b>Espaçamento dos Pinos</b>	2mm
<b>Conector de RF (Opcional)</b>	SMA Reto ou SMA 90°	<b>Conector de RF (opcional)</b>	SMA Reto ou SMA 90°
<b>Pinos de E/S</b>	E/S digitais, UART, I2C, SPI, ADC, PWM	<b>Pinos de E/S</b>	E/S digitais, UART, I2C, SPI, ADC, PWM
<b>Microcontrolador</b>		<b>Microcontrolador</b>	
<b>Memória</b>	32kB Flash, 2kB RAM, 1kB EEPROM	<b>Memória</b>	32KB Flash, 2KB RAM, 1KB EEPROM
<b>Clock da CPU</b>	8MHz	<b>Clock da CPU</b>	8MHz
<b>RTC (Relógio de tempo real)</b>	32768kHz (+/- 10ppm)	<b>RTC (Relógio de tempo real)</b>	32768KHz (+/- 10ppm)
<b>Conversores AD</b>	Até 7 canais de 10 bits	<b>Conversões AD</b>	Até 7 canais de 10 bits
<b>Saídas PWM</b>	2	<b>Saídas PWM</b>	2
<b>Entradas/Saídas Digitais</b>	Até 14 entradas ou saídas	<b>Entradas/Saídas Digitais</b>	Até 14 entradas ou saídas

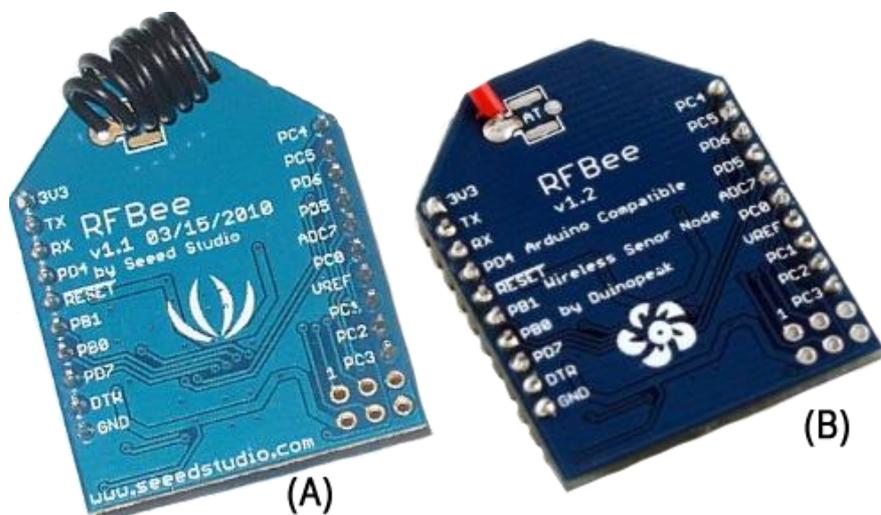
Fonte: Adaptado de RADIOIT (2017)

O RFBEE começou a ser produzido como uma plataforma Open Source na versão 1.0 em Março de 2010 pela Seeed Studio Works. Uma segunda versão chamada de 1.1 (Figura 7a) ganhou uma revisão e acertos em Agosto de 2010, passou a ser muito vendida nos primeiros anos. Uma terceira versão chamada 1.2 (Figura 7b) passou a ser produzida por DuinoPeak apenas em Outubro de 2015, sendo que nessa versão a empresa mudou o microcontrolador para o Atmega 328 conforme Tabela 2, mantendo o rádio CC1101 (SEEDUINO RFBEE V1.1, 2017).

O hardware é baseado no XBEE, ou seja, possui um chip de Radio Frequência conectado a um microcontrolador, operando nas faixas de 868MHz a 915MHz. Também pode atingir taxa de 4,8kbps a 76,8kbps alcançando até 50m em ambiente

fechado ou até 120m de distância em ambiente externo, sem antena acoplada (apenas um fio).

Figura 7. Modelos de mercado do RFBEE V1.1 (A) e RFBEE V1.2 (B)



Fonte: Adaptado de SEED STUDIO RFBEE V1.1, DUINOPEAK RFBEE V1.2(2017)

Tabela 2. Especificações do RFBEE V1.2

Especificações	Valores
Microcontrolador	Atmega328(Versão 1.2)
Tamanho PCB	24.38mmx32.94mmx0.8mm
Alimentação	3.3V
Portas IO	9
Portas ADC	7(6 multiplexadas com IO)
Interface Programação	USB
Conectividade	Socket compatível comXBee
Protocolo Comunicação	Uart(TTL)
Frequência de Operação	ISM 868MHz & 915MHz
Dimensões Gerais	24.38mmx32.94mmx15mm

Fonte: DUINOPEAK RFBEE V1.2 (2017)

O Xbee é um dos mais antigos rádios para Internet das Coisas, teve sua origem pela MaxStream que é uma desenvolvedora importante para redes de Rádio Frequência. Em 2004 a MaxStream associou-se a Freescale Semicondutores líder mundial na fabricação de dispositivos embarcados em veículos, indústria e dispositivos de rede de comunicação sem fio, com sede na cidade de Austin, estado do Texas-EUA, qualificada o suficiente para permitir um contrato de fabricação de uma linha de produtos embarcados com rádio MC13193 operando a 2.4GHz e o microcontrolador HCS08 ambos da Freescale, com o objetivo de habilitá-los no padrão ZigBee no primeiro trimestre de 2005 (FREESCALE, 2017).

Dois modelos foram lançados pela empresa, o XBee com objetivo de baixo custo tem potência de 1mW e outro chamado XBee-PRO, observado na Figura 8, com potência muito superior de 100mW, cada um com seu foco. O sucesso proporcionou o surgimento de toda uma linha de produtos para Internet das Coisas, além dos rádios, desenvolveram Gateways, adaptadores e softwares.

Figura 8. Modelos de mercado do XBee



Fonte: DIGI (2017)

Em 2006 a MaxStream foi adquirida pela Digi Internacional e hoje tem uma linha de rádios que operam nas bandas de 900Mhz, 2.4ghz e 3G celular. Possui funções ponto a ponto, ou rede em modo *mesh*. E distâncias que podem variar muito de um rádio para o outro conforme observado na coluna Range da Tabela 3. Essa marca segue à risca o padrão Zigbee. O software de gerenciamento chama-se XCTU

e permite conectar um dispositivo facilmente, atualizar o firmware e gerenciar tudo visualmente, bastante intuitivo graficamente e é gratuito.

Tabela 3. Modelos XBee

<b>Modelo</b>	<b>Protocolo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Topologia</b>	<b>Output Power</b>	<b>Range (Ideal LoS)</b>
Digi XBee® ZigBee / Thread-Ready	ZigBee	2.4 GHz	Mesh	Upto 63mW / 18dBm	Upto 2 miles (3.2km)
DigiXBee® 802.15.4	802.15.4	2.4 GHz	Point to Multipoint	Upto 63mW / 18dBm	Upto 2 miles (3.2km)
DigiXBee® DigiMesh® 2.4	DigiMesh	2.4 GHz	Mesh	Upto 63mW / 18dBm	Upto 2 miles (3.2km)
DigiXBee® Wi-Fi	802.11 bgn	2.4 GHz	Point to Multipoint	Upto 40mW / 16dBm	Upto 300 feet
DigiXBee® Cellular	LTE Cat 1	Bands 4, 13	Point to Multipoint	Upto 200mW / 23dBm	*Varies based on tower location
DigiXBee® SX	DigiMesh	900 MHz	Mesh, Point to Multipoint	Upto 1W / 30dBm	Upto 65 miles
DigiXBee-PRO® 900HP	Proprietary	900 MHz	Mesh, Point to Multipoint	Upto 250mW / 24dBm	Upto 9 miles

Fonte: DIGI (2017)

### 2.5.2 Dispositivo de Gateway

O fluxo da informação que é gerado no Transdutor e capturado pelo nó sensor, precisa chegar em algum lugar para compor um volume de dados que será interpretado pelo software. Recebida a informação o software a processará e tomará uma decisão inteligente para resolver algum problema. Dependendo do modelo da engenharia aplicada no software e as linguagens de programação utilizadas no projeto é necessário um computador com grande capacidade de processamento, o que é facilmente encontrado em Computação em Nuvem. Projetos mais simples podem

utilizar minicomputadores para executar o processamento localmente, como por exemplo, o Raspberry Pi (FUNDAÇÃO RASPBERRY PI, 2017).

O Raspberry Pi é um minicomputador, medindo 85.6mm x 56mm x 21mm, foi desenvolvido na Inglaterra por pesquisadores da Universidade de Cambridge, posteriormente o projeto tomou corpo e criaram a Fundação Raspberry Pi, sempre com o objetivo de desenvolver um computador de baixo custo para ser utilizado na educação, como ferramenta de ensino de programação nas escolas do ensino básico da Inglaterra. O modelo da Figura 9 é o RPI 3B, que é equipado com um processador da marca Broadcom BCM2837 64bits Quad-Core de 1.2 GHz e 1 GB de memória Ram, semelhante a muitos dos que são utilizados nos celulares do mercado. Essa miniBoard está embarcada com Wifi, Bluetooth 4.1, Rede 10/100, 4 portas USB 2.0 e 1 conexão HDMI. Não se pode esquecer de suas 40 portas GPIOs, observado na Figura 10, serve para conectar transdutores e todo tipo de projeto de IoT (MONK, 2016).

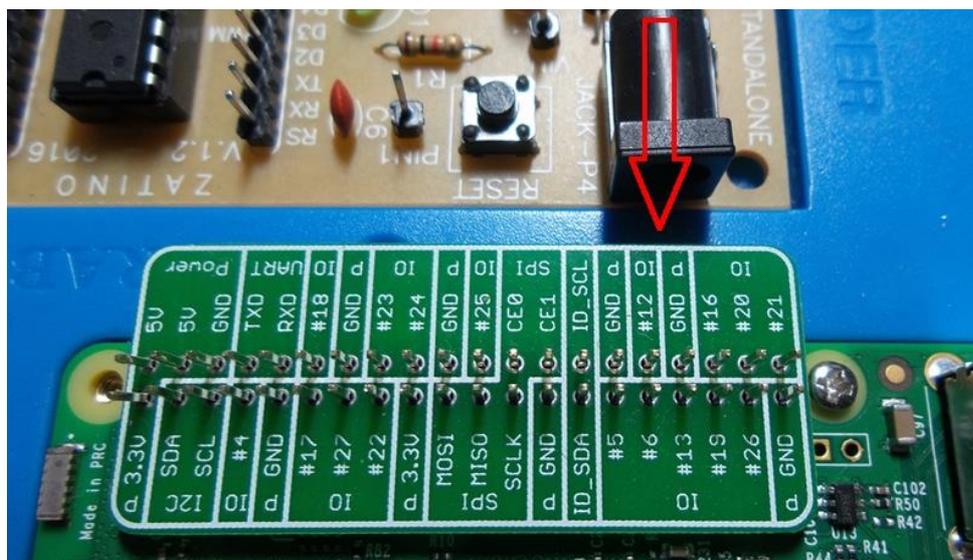
No site da fundação, raspberrypi.org existem muitos sistemas operacionais disponíveis para serem instalados no disco microSD da placa Raspberry Pi, no entanto o Raspbian é o que a fundação dá suporte, criado a partir do Linux Debian Jessie.

Figura 9. Minicomputador Raspberry Pi 3 - Modelo B



Fonte: FUNDAÇÃO RASPBERRY PI (2017)

Figura 10. Disposição das 40 portas lógicas do Raspberry Pi



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

### 2.5.3 Qualidade através do RSSI

A qualidade de um determinado link envolvendo Rádio Frequência pode ser mensurada pelo indicador de intensidade do sinal recebido, que na literatura é conhecido pela sigla RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) e sua unidade é dada por dBm(decibel-milliwatts), que indica a potência em que o sinal chegou ao receptor. Fatores que podem degradar o sinal são obstáculos, distância, antena inadequada e interferências (PAULA, 2017).

Segundo a referência INSTRUMENTS (2011), o transceptor CC1101 pode alcançar até -120dBm, porém no datasheet do RFBee (SEED STUDIO RFBEE V1.1., 2017) informa-se que sua sensibilidade mínima é de -95dBm, obtendo uma comunicação de péssima qualidade. BARDWELL (2002) demonstra uma tabela de um equipamento da marca Cisco que pode chegar até -113dBm com uma sensibilidade de -96dBm e relata que -75dBm corresponde a 36% da força do sinal o que representa uma qualidade regular. BARROS (2014), se utilizando de RFBee obteve médias de leituras de RSSI que no melhor caso foram de -49.53dBm para duas pessoas na sala e no máximo de -59.61dBm com lotação de 32 pessoas. Conclui-se que o link deverá ter o RSSI no máximo de -70 a -80dBm, caso ultrapasse esse valor estará suscetível a perdas de informações e lentidão, comprometendo o link.

## 2.6 Linguagens de Programação

A seguir serão apresentadas as linguagens de programação para o nó sensor e dispositivo de gateway utilizados para o desenvolvimento desse projeto.

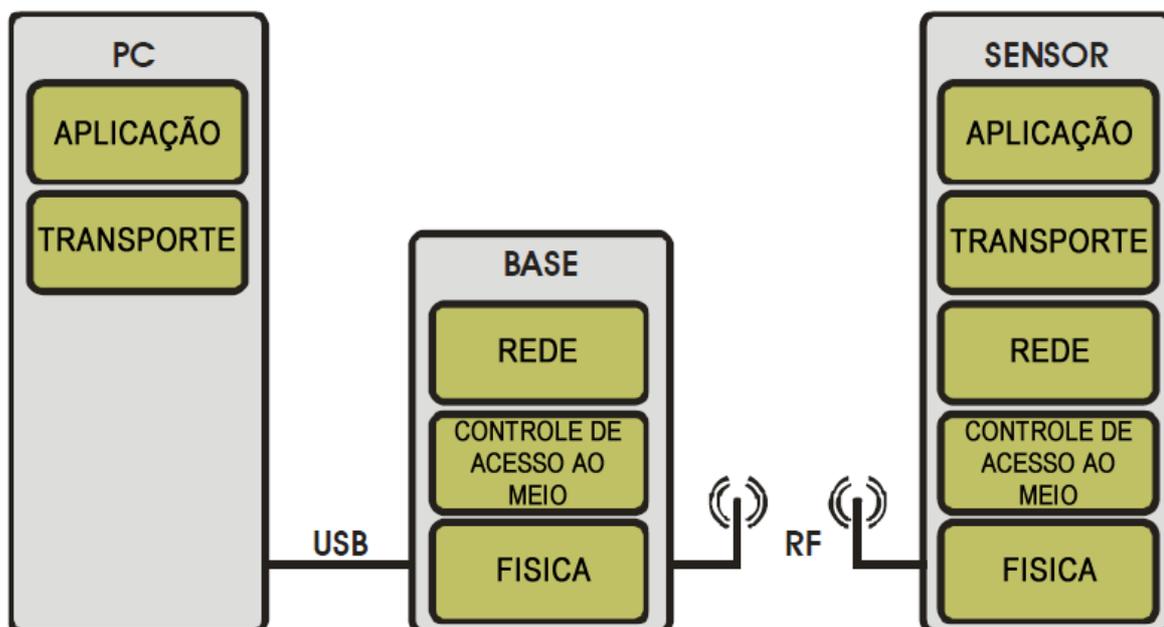
### 2.6.1 Linguagem para os Dispositivos de Nó Sensor

A plataforma Rádiuino é um software livre e seu nome remete a associação de Radio + Arduino, o que na verdade a intenção dos desenvolvedores do projeto, no qual o Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho foi o coordenador, juntamente com os alunos de graduação do curso de Engenharia Elétrica da PUC-Campinas, torna disponível a comunicação via rádio para quem já está habituado ao Arduino, ou seja, uma plataforma livre para RSSF no desenvolvimento de automações principalmente para fins de ensino e pesquisa (BARROS, 2014).

O Rádiuino foi baseado no TCP/IP, que é uma junção de dois protocolos: Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão) e o Internet Protocol (Protocolo de Internet). A Figura 11 representa uma interconexão física com um cabo USB de um computador e um nó base ligado por RSSF ao nó sensor. Cada camada tem a sua finalidade (BARROS, 2014):

- Camada de Aplicação: Responsável pelo tratamento do dado da aplicação;
- Camada de Transporte: É quem faz a tratativa dos pacotes de dados, coordenando a comunicação na transmissão e recepção dos dados;
- Camada de Rede: responsável pelo roteamento dos pacotes, etiquetando com os endereços dos nós da rede;
- Camada MAC: Media Access Control (Controle de Acesso ao Meio), como o nome mesmo diz faz o controle de acesso;
- Camada Física: Define as características do rádio, como a frequência e modulação.

Figura 11. Modelo de pilha de protocolo utilizada pelo Radiuino



Fonte: Adaptado de BARROS (2014)

O tratamento da pilha de protocolo do Radiuino segue o padrão TCP/IP com cinco camadas e o pacote que é trocado entre o nó sensor com o nó base composto de 52 bytes (0 a 51), que devem respeitar a Tabela 4 (BARROS, 2014).

Tabela 4. Modelo de pacote RADIUINO para TCP/IP

Cabeçalhos das Camadas	PhyHdr[#]				MachHdr[#]				NetHdr[#]				TranspHdr[#]					
Posição na variável	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3		
Função das posições do cabeçalho	RSSI Downlink	LQI Donwlink	RSSI Uplink	LQI Uplink	Sleep	Tempo Sleep 1	Tempo Sleep 2	TDB	DST_ID Quem Recebe		SRC_ID Quem Manda							
Posição dos bytes no pacote	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		

Conversores AD	AD0[#]			AD1[#]			AD2[#]			AD3[#]			AD4[#]			AD5[#]		
Posição na variável dos AD	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Função das posições dos AD	AD0[0]	AD0[1]	AD0[2]	AD1[0]	AD1[1]	AD1[2]	AD2[0]	AD2[1]	AD2[2]	AD3[0]	AD3[1]	AD3[2]	AD4[0]	AD4[1]	AD4[2]	AD5[0]	AD5[1]	AD5[2]
Posição dos bytes no pacote	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

Entradas e saídas digitais	IO0[#]			IO1[#]			IO2[#]			IO3[#]			IO4[#]			IO5[#]		
Posição na variável dos IO	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Função das posições dos IO	IO0[0]	IO0[1]	IO0[2]	IO1[0]	IO1[1]	IO1[2]	IO2[0]	IO2[1]	IO2[2]	IO3[0]	IO3[1]	IO3[2]	IO4[0]	IO4[1]	IO4[2]	IO5[0]	IO5[1]	IO5[2]
Posição dos bytes no pacote	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51

Fonte: Adaptado de BRANQUINHO (2017)

Respeitando essa arquitetura, o pacote é formado por dezesseis bytes iniciais (primeira linha da Tabela 4, de 0 a 15) referentes às Camada Física, Enlace (MAC), Rede e Transporte respectivamente (descrito na linha Cabeçalhos das Camadas), somados a dezoito bytes posteriores (coluna do meio da Tabela 4, de 16 a 33) que representam as leituras dos seis tipos de sensores possíveis do tipo analógicos e os últimos dezoito bytes (terceira linha da Tabela 4, de 34 a 51) são disponíveis a armazenar seis grupos de entradas/saídas do tipo digitais (BARROS, 2014).

### *2.6.2 Linguagem para o Dispositivo Gateway*

Uma linguagem do tipo dinâmica, por exemplo o Python, antigamente era conhecida assim por ser usada em pequenos scripts para automação de tarefas. Esta linguagem com o passar do tempo foi amadurecendo e se tornou mais robusta, chamando a atenção de grandes fabricantes de hardware e software. Esse crescimento se deu pelo crescimento da internet, das comunidades de software livre e das metodologias ágeis de desenvolvimento de software. A linguagem Python se destacou muito com o passar dos anos com sua comunidade ativa e propondo novas funcionalidades para as novas versões. O desenvolvimento de ferramentas ágeis, como por exemplo o Django tem foco Web e potencializou o desenvolvimento de sites, permitindo a criação de um e-commerce em poucos dias (BORGES, 2010).

O Python foi criado em 1990 por Guido Van Rossum, no Instituto Nacional de Pesquisa de Matemática e Ciência da Computação da Holanda (CWI), tendo no entanto foco primário o uso científico entre os engenheiros e físicos. Seu desenvolvimento se deu a partir de outra linguagem, chamada ABC e disponível na época. (BORGES, 2010).

A origem do nome não está associada à cobra. O desenvolvedor da linguagem gostava muito de seriados e deu esse nome em homenagem a uma série da BBC chamada Monty Python's Flying Circus (SEVERANCE, 2015).

Hoje a linguagem está na versão 3.6.2, passou por várias revisões e ampliações, sempre incorporando recursos modernos e interessantes. Dentre esses recursos encontra-se: a orientação a objetos, acesso a diversos banco de dados, rotinas matemáticas, computação gráfica, acesso a hardware, interface gráfica e integração com outros aplicativos (BORGES, 2010).

*“Python é um software de código aberto (com licença compatível com a General Public License (GPL), porém menos restritiva, permitindo que seja incorporado em produtos proprietários). A especificação da linguagem é mantida pela Python Software Foundation<sup>2</sup> (PSF).” (BORGES 2010)*

Python tem se popularizado bastante entre os estudantes universitários, graças à introdução dessa linguagem pelos professores das principais universidades dos EUA, como por exemplo, o MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) e a UC Berkeley (Universidade da Califórnia em Berkeley), colocando-a em seus cursos introdutórios de computação. Algumas plataformas de EAD como a edX, Coursera e Udacity oferecem cursos da linguagem Python. A escolha da linguagem pode indicar tendências no futuro do ensino de informática para a comunidade educacional (GUO, 2014).

### *2.6.3 Linguagem para Web*

Uma opção tradicional de linguagem de programação Web é a PHP (PHP: Hypertext Preprocessor), o nome quer dizer que ela é um texto interpretado pelo servidor para ser exibido ao cliente. Foi criada na década de 90 por Ramus Lerdorf como um conjunto de binários CGI (Common Gateway Interface) escritos em linguagem C. Posteriormente foi disponibilizada na plataforma de Software Livre, onde se transformou em uma organização chamada The PHP Group. A linguagem passou por muitas mãos, evoluiu ao passar dos anos e hoje tem uma equipe de desenvolvimento com dezenas de programadores e estima-se que esteja sendo usada em milhões de domínios em todo mundo (THE PHP GROUP, 2017).

O desenvolvimento de um software Web requer o uso do HTML (Hyper Text Markup Language), que é a linguagem padrão aceita nos navegadores para internet, que interpretam e geram o conteúdo na tela. A versão 5 é a mais atual sendo de natureza um software livre administrado pela W3C (World Wide Web Consortium) uma organização padronizadora das mudanças sugeridas por desenvolvedores, sem medir esforços na interoperabilidade entre todos navegadores (W3C, 2017).

Outro fator importante para o funcionamento de um software Web é o servidor, o que no caso do PHP pode ser utilizado o Apache. Trata-se de um aplicativo livre e

gratuito, de desenvolvimento colaborativo para o desenvolvimento de um servidor web estável, seguro, eficiente e extensível para diversos sistemas operacionais.

Sua primeira versão data de 1995, sendo ainda hoje o servidor web mais popular e largamente utilizado. É muito comum seu uso principalmente para sistemas web desenvolvidos em PHP pois o servidor Apache pode ser facilmente estendido para que o interpretador PHP funcione com ele (THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION, 2017).

## 2.7 Banco de Dados

O banco de dados MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), com a finalidade de persistência de dados. Ele faz uso da linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada, do inglês *Structured Query Language*) para que sejam possíveis comandos para armazenar, recuperar, alterar e deletar dados. O MySQL, utilizado na versão *Community Edition* é a versão gratuita do banco de dados mais largamente utilizado em projetos web. Atualmente é propriedade da Oracle, estando aberto à contribuições da Comunidade de Software Livre e pode ser oferecido através da licença GPL. Conta com uma ampla comunidade em fóruns de discussão e comunidades de desenvolvedores, além de ser facilmente encontrado em quase a totalidade de servidores de hospedagem web (ORACLE CORPORATION, 2017).

Algumas de suas principais qualidades são (ORACLE CORPORATION, 2017):

- Para projetos com poucos acessos simultâneos pode funcionar com poucos requisitos de hardware quanto a memória e processamento;
- Funciona em uma ampla quantidade de plataformas, sendo as principais Windows e Linux;
- Tem desempenho notável;
- É facilmente integrado a projetos nas mais diversas linguagens de programação atualmente utilizadas;
- Suporta recursos avançados como transações, *triggers*, *cursors*, *stored procedures* e *functions*.

### *2.7.1 Ferramenta de Administração do MySQL*

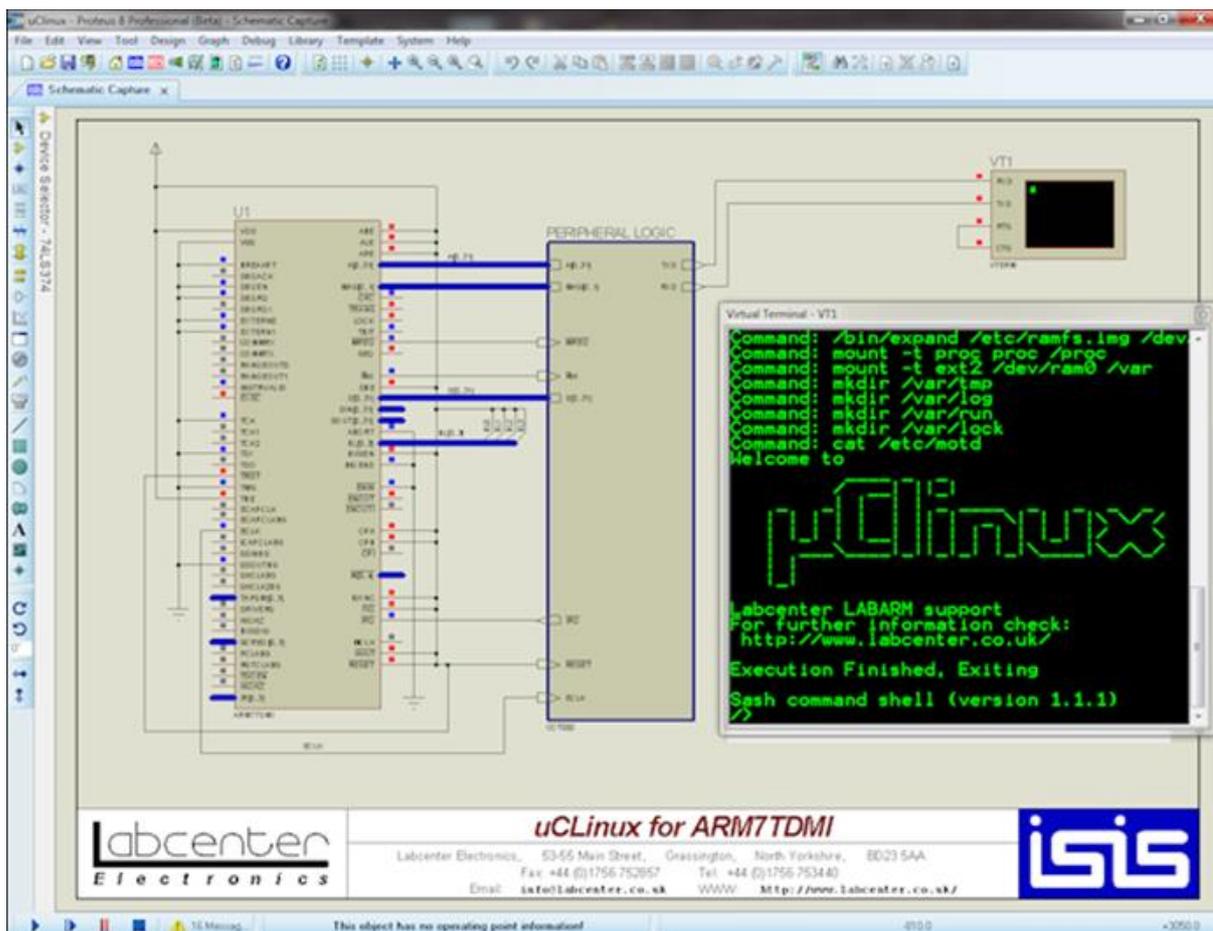
Para se administrar um Banco de Dados pode-se usar linhas de comando ou programas visuais mais sofisticados. Nesse caso o MySQL Workbench é uma ferramenta visual com a finalidade de planejar a arquitetura de um banco de dados, com o uso voltado a arquitetos, desenvolvedores e DBAs. Com ela, é possível fazer a modelagem de dados, uma importante atividade do desenvolvimento de um software, onde se planeja como todos os dados ficarão arranjados e serão distribuídos nas tabelas (ORACLE CORPORATION, 2017).

No MySQL Workbench existem todos os principais recursos necessários para visualmente projetar, modelar, gerir e gerenciar um banco de dados. Permite ainda recursos de engenharia reversa e facilita o trabalho de documentação de um software. Oferece outras funcionalidades de produtividade como exportação do modelo elaborado em formato gráficos, de comandos SQL ou mesmo recursos para uma prática administração e configuração do banco de dados. Trata-se de um software gratuito, disponível nos principais sistemas operacionais em uso (ORACLE CORPORATION, 2017).

## **2.8 Ferramenta para Desenho de Circuito Eletrônico**

Os dispositivos podem ser comprados ou confeccionados, como o objetivo desse trabalho é baixo custo, torna-se necessário o aprendizado de uma ferramenta para desenho e desenvolvimento de circuitos eletrônicos CAD (Computer-Aided Design) para o desenho da PCI (Placa de Circuito Impresso), com o propósito de análise do circuito e prova de conceito, para posteriormente confeccioná-la ou mandar fabricar. Na figura 12 é observado a tela de uma ferramenta chamada Proteus muito tradicional.

Figura 12. Tela do Software Proteus



Fonte: LABCENTER ELECTRONICS LTD (2017)

O software Proteus é uma ferramenta da década de 80 e uma das principais utilizadas por profissionais até hoje, permitindo um fácil aprendizado dispondo de recursos visuais bastante didáticos. A versão mais completa do software vem com o módulo chamado ISIS que permite simular circuitos eletrônicos digitais e analógicos utilizando equipamentos de medição virtual, por exemplo: amperímetro, voltímetro, gerador de sinais e osciloscópio; outro módulo chama-se ARES que permite o desenho do circuito impresso, visualização da PCI em formato 3D e a exportação do projeto no formato industrial (LABCENTER ELECTRONICS LTD, 2017).

## 2.9 Principais Trabalhos Referência

Nesta seção serão apresentados os principais trabalhos relacionados ao tema de domótica, RSSF e Sistemas Web.

De Almeida et al. (2015) propõem um gerenciamento de uma sala de universidade utilizando um conceito Web das Coisas (Web of Things – WoT). Segundo os autores, uma grande barreira é a complexidade de desenvolver um sistema para IoT que abrigue o conhecimento de muitas áreas, como por exemplo, Eletrônica, Telecomunicações, Programação e Banco de Dados. A solução é a proposição de modelos fortemente simplificados ao se criar uma camada de software que conversa com o hardware de forma transparente, utilizando Serviços Web. Para contornar esta dificuldade, sugeriram dois protocolos, o MQTT (Message Queue Telemetry Transport) e CoAP (Constrained Application Protocol) que fornecem mecanismos de comunicação assíncrona entre os dispositivos, possibilitando um conjunto de implementações. Entretanto, os autores relatam a dificuldade de se obter mensagens padronizadas entre os diversos dispositivos, gerando informações desconexas. Então, surgiu a proposta de uma arquitetura chamada TATU (The Accessible Things Universe), através de uma biblioteca em linguagem C++ criada pelos autores, para resolver o problema apoiado no protocolo MQTT.

Utilizando essa arquitetura, os autores estabeleceram um estudo de caso na Universidade Federal da Bahia, Campus de Salvador, desenvolvendo um software chamado Dashboard Smart Room que envia comandos HTTP via Web para coleta de temperatura e umidade, uma vez que acionado o botão no software para ligar a lâmpada ou o ar-condicionado, a camada de software trabalha e envia uma requisição via MQTT ao Arduino que dispara o comando para a execução da tarefa.

A proposta desta dissertação é muito semelhante no que diz respeito ao controle do ar-condicionado. No entanto, procura aprimorá-la em alguns pontos. Os autores De Almeida et al. (2015), não se preocuparam com a inteligência do sistema e armazenamento dos dados em banco de dados que será tratado nesse projeto, comparando valores para tomada de decisões com relação aos comandos enviados aos equipamentos e também exibindo valores históricos no sistema Web. Quanto ao protocolo, pretende-se usar para o projeto DomotiCare (Capítulo 3) o Radiuino que é uma forma de comunicação entre os dispositivos bastante simplificada, se aproveitando da experiência dos projetos já desenvolvidos na PUC-Campinas.

Cruz (2014) apresenta o desenvolvimento de um sistema que controla vários equipamentos de uma residência, como por exemplo, acionamento de luzes, persianas, monitoramento do estado das portas e janelas e o mais interessante, o monitoramento de temperatura. Foi utilizado um Raspberry Pi com o Sistema

Operacional Open Source chamado Raspbian baseado na distribuição Debian, com um Arduino Mega que usa uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. O software foi desenvolvido em Python que é uma linguagem Open Source e funciona muito bem com o Raspberry, bastando utilizar um editor de textos para gerar um script e executá-lo no Sistema Operacional. Foi instalado um servidor Web Tomcat para rodar uma aplicação no Android na linguagem Java. Esse software envia comandos para uma placa I/O conectada ao ArduinoMega. Um script em Python percorre todos dispositivos coletando o estado *on* ou *off*. Essas informações são exibidas aos clientes que podem fazer a leitura através de um navegador web ou da aplicação Android. A temperatura é definida pelo usuário e automatizada através do Arduino e um sensor de temperatura, acionando o ar-condicionado por um relé.

A proposta de domótica é interessante e permite boa mobilidade, comodidade, segurança, bem-estar e a utilização de um recurso extremamente eficaz com baixo consumo de energia. Difere do projeto DomotiCare (Capítulo 3), no software escolhido e na forma de acionamento do ar-condicionado, pois vai se utilizar o Infravermelho para enviar comandos, a vantagem é que dispensa a necessidade de modificar a estrutura física existente.

Ferdoush e Li (2014), apresentaram um sistema RSSF com Raspberry Pi e Arduino para monitorar aplicações para o meio ambiente. Além de relatar trabalhos anteriores, cita um teste na Universidade de Harvard utilizando de equipamentos da Texas Environmental Observatory (TEO), e outro o ocorrido na Universidade Nacional de Cingapura utilizando uma rede chamada INDRIYA, ambos recorrendo a uma série de aplicações baseadas na Web. Cita que esse tipo de programação é um avanço, pois torna menos complexo a implantação de um sistema de detecção e atuação de uma RSSF, só que ao invés de se utilizar de equipamentos proprietários como foi feito com as universidades citadas, pode-se utilizar de equipamentos de Fonte Aberta padrão Zigbee, tornando popular o desenvolvimento de sistemas de aplicativos. O projeto foi desenvolvido em um Arduino Uno R3 como nó sensor conectado a um rádio XBee Pro S2B que opera na banda de 2,4GHz e um sensor RHT03 de umidade e temperatura de baixo custo. O nó sensor fala com o nó coordenador que por sua vez transmite à estação base pelo cabo USB conectado no Raspberry Pi que também está conectado a uma rede Ethernet ou Wifi à Internet.

Afirmam esses autores que a aplicação de Gateway acontece em uma camada intermediária no Raspberry Pi, desenvolvida na linguagem de programação Python,

faz o papel de capturar os dados coletados dos sensores e guardar no banco de dados MySQL. A interface Web é executada também no Raspberry Pi através software Apache, implementada com PHP, HTML, CSS, JavaScript, Ajax, jQuery e Flot. Nesse protótipo foram criadas três telas para experimentação e demonstração: exibição em tempo real no gráfico (CHART), acesso a dados (DATA) e configuração do sistema (CONFIGURE). Cita como a maior vantagem o nó sensor não precisar armazenar dados. Esta característica torna todo o sistema independente, ou seja, o usuário pode acessar os dados diretamente no Raspberry Pi, e nada é interrompido durante esse processo, as coletas continuam ocorrendo e o sistema se atualizando sozinho. O estudo de caso usou uma estação base, três nós coordenadores e três nós sensores. Destaca que a estação base pode suportar até 10 nós coordenadores, com capacidade de até doze nós sensores. O autor conclui que projetou uma RSSF para trabalhar em malha com software livre, baixo custo, compacto, escalável, fácil personalização, fácil implantação e manutenção. Uma grande vantagem está no uso do Raspberry Pi como nó base, pois é um minicomputador, compacto, baixo consumo de energia, oferece um servidor Web e servidor de banco de dados em um único aparelho além de ser de baixo custo. Como trabalho futuro sugere adicionar mais sensores e acrescentar mais recursos na tela interface do usuário. Considerando a limitação de espaço para armazenamento de dados no Raspberry Pi ele recomenda também um armazenamento na nuvem, facilitando o acesso ao sistema fora do ambiente onde ele está instalado, da intranet para a internet.

Existe semelhança no projeto DomotiCare (Capítulo 3) com esse projeto, no entanto inicialmente serão utilizados apenas um único Nó Sensor, também utiliza softwares parecidos para o desenvolvimento, exceto o Flot que foi utilizado para desenhar os gráficos. No DomotiCare usa-se o Amcharts que visualmente é mais bonito e, proporciona no seu gráfico deslizar eixos na direita e esquerda, permitindo modificar a visualização para se observar uma área menor, com o gráfico ampliado. Outro ponto divergente é que ele deixou a parte de atuação do sistema para um trabalho futuro, e isso já será implementado no DomotiCare(Capítulo 3).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Visão Geral do Sistema

Com base na proposta do projeto que é atuar sobre dispositivos para equilibrar índices das variáveis ambientais da natureza, tentou-se focar o desenvolvimento do sistema em dois conceitos da Internet das Coisas, onde o primeiro é a categoria HOME/HEALTH, ou seja, empregar a tecnologia sabendo dos fatores ambientais que interferem na saúde das pessoas; o segundo está na categoria BUSINESS, que está ligada a prédios inteligentes, que monitoram e atuam sobre a infraestrutura do edifício, sabendo o número de pessoas e condições climáticas internas. Portanto o sistema poderá ser utilizado tanto em uma residência como em uma empresa, claro que se deve considerar a dimensão e instalação de dispositivos em maior escala ou menor, estudando cada caso.

Para facilitar a referência, deu-se um nome ao sistema, fazendo alusão ao termo Domotics em inglês (português Domótica) e a preocupação com a saúde dos usuários Care também do inglês, chegou-se ao nome DomotiCare, logo na Figura 13, que quer dar a entender que a casa ou escritório que se preocupa com seus habitantes.

Figura 13. Nome Empregado ao Sistema

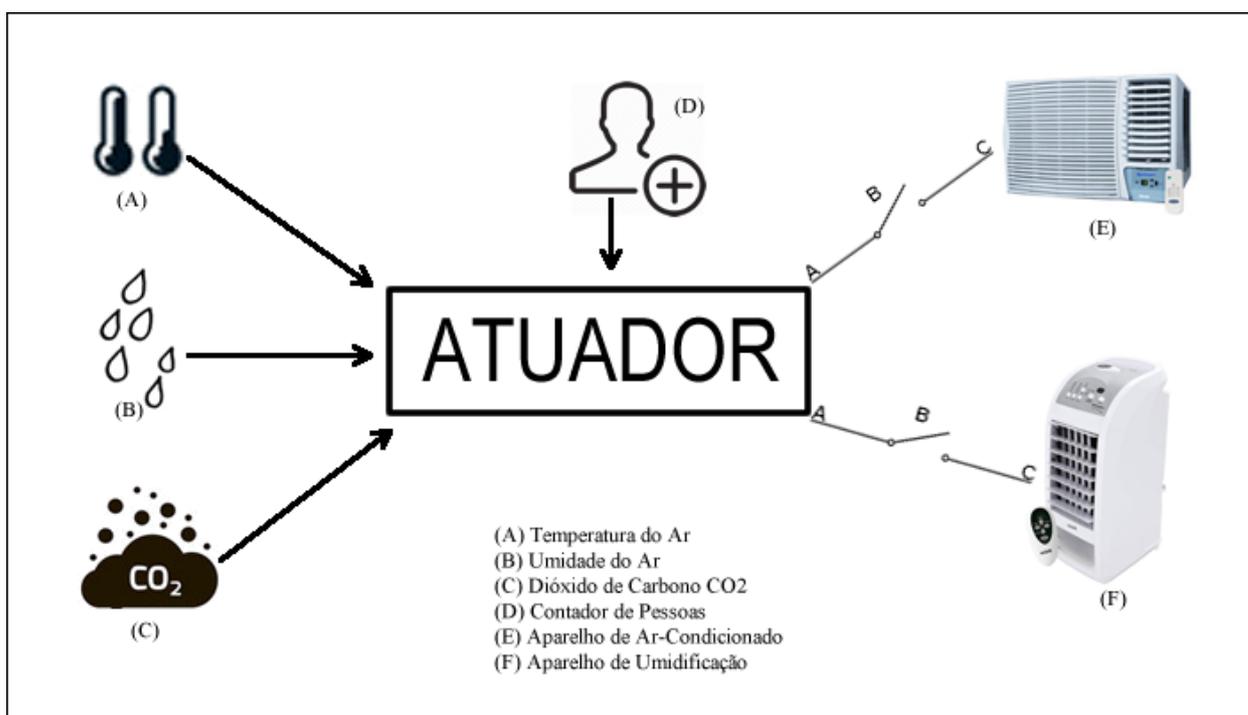


DomotiCare

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Uma visão simplificada do sistema é apresentada na Figura 14, no quadro central, intitulado Atuador (DomotiCare), é quem gerencia todo o processo.

Figura 14. Ilustração da atuação do Sistema



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

O sistema instalado no Atuador coleta os dados representados como sugerido à esquerda do Atuador: Temperatura do Ar(A), Umidade Relativa do Ar(B), Concentração do Gás Dióxido de Carbono(C). A contagem do número de pessoas(D) está representada acima do Atuador.

Uma vez que a coleta aconteceu o sistema verifica os parâmetros mínimos e máximos para temperatura e poderá atuar sobre o aparelho de Ar-condicionado(E) em caso da umidade atuará sobre o aparelho Umidificador(F), situados a direita do Atuador. Para atuar sobre os parâmetros de Dióxido de Carbono o sistema deverá desligar a refrigeração do aparelho de Ar-condicionado e ligar o FAN no máximo, para dispersar o gás.

### 3.2 Escolha do Rádio

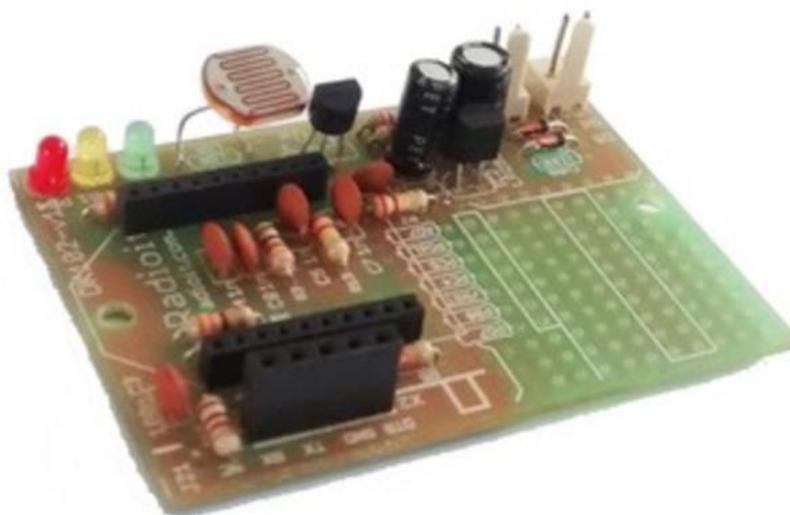
O rádio para RSSF é um item fundamental no projeto, pois é ele quem transporta as informações necessárias para a tomada de decisão. Como o foco desse trabalho é desenvolver um sistema de baixo custo, sem perder a eficiência na

comunicação do transceptor(rádio) e sensores, ou seja, serão empregados materiais que ofereçam baixo custo, porém buscando a maior eficácia de cada item.

Como já mencionado no capítulo anterior, para se estabelecer uma rede RSSF, é necessário no mínimo dois pontos de conexão, ou seja dois rádios, sendo um para o Nó Principal conectado via adaptador USB ao minicomputador(exemplo Raspberry Pi) e para o Nó Sensor um segundo rádio conectado a uma placa auxiliar, para se plugar os sensores e efetuar a leitura dos valores.

No momento da construção do Nó Sensor e Nó Principal foram pesquisados valores de mercado de dois rádios e uma placa auxiliar. A empresa Radioit apresentou em seu site o BE900 por R\$ 180,00 e o BE990 por R\$ 250,00. Para a placa auxiliar existem vários modelos, mas como todas atendiam a necessidade, foi escolhido o preço da mais barata o modelo DK102 por R\$ 91,00 na Figura 15, como referência.

Figura 15. Placa de desenvolvimento DK102



Fonte: RADIOIT (2017)

A Digi(2017) apresenta um Kit iniciante na Figura 16, muito acessível chamado XBee-PRO 900HP DigiMesh. O Kit acompanha três rádios e três placas de desenvolvimento.

Figura 16. Kit Xbee



Fonte: DIGI (2017)

Esse Kit pode ser comprado por U\$ 99,00, é um valor muito interessante pela tecnologia oferecida. O maior problema encontrado é que a Xbee não permite muita flexibilização na programação dos rádios, como por exemplo no protocolo de comunicação, portanto, segue padrões proprietários praticamente uma caixa preta, por este motivo foi descartado.

O projeto RFBee pela DuinoPeak pode ser encontrado em sites de E-Commerce nos EUA (Ebay.com) e na China (Aliexpress.com) por um preço de U\$ 19,00. Um resumo da pesquisa de mercado para os componentes é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Tabela comparativa dos modelos de Transceptores para RSSF

Fabricante	Radioit	Digi	DuinoPeak
<b>Modelo Rádio</b>	BE 900	XBee	RFBee V1.2
<b>Valor Rádio</b>	R\$ 180,00 (2X)	R\$ 332,00	R\$ 65,00 (2X)
<b>Placa Desenvolvimento</b>	DK102	DigiMesh Kit	-
<b>Valor Placa</b>	R\$ 91,00	-	-
<b>Frete</b>	-	R\$ 134,00	-
<b>Total</b>	R\$ 451,00	R\$ 466,00	R\$ 130,00

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Como nesse trabalho são necessários apenas dois rádios, operando ponto a ponto, chegou-se à conclusão que o ideal seria utilizar o rádio RFBEE, pois o foco do trabalho é custo, esse foi o mais barato do mercado e também por ser Open Source, permite modificar o firmware interno. O protocolo de comunicação a ser utilizado é o Radiuino, pois sua metodologia permite manipulação mais facilmente das camadas lógica e física do sistema.

Feita a opção pelo RFBEE torna-se necessário a aquisição de uma placa de desenvolvimento ou a confecção, para o funcionamento dos mesmos. Mais uma vez objetivando o baixo custo do projeto, foram levantados os valores para a confecção e descobriu-se que ficaria em torno de R\$ 25,00 contra R\$ 91,00 do mercado, o que fez com que o autor se definisse pelo desenvolvimento da placa.

### **3.3 Escolha dos Sensores e Transdutores**

Os transdutores ou popularmente conhecidos como sensores que serão utilizados no projeto são, (THOMAZINI, 2005):

- Sensor de Temperatura do Ar: Também conhecido como Termistores (*Thermally Sensitive Resistor*), são resistores termicamente sensíveis. Sua composição física pode divergir de um tipo de material para outro, porém sua função é a mesma, variar com a temperatura do ambiente. São úteis na indústria para detecção automática, medição e controle de energia física. Sua composição pode ser de óxido de metais como o manganês, níquel, cobalto, ferro e titânio.
- Sensor de Umidade do Ar: A umidade é medida pela quantidade de vapor de água no ar. O resultado dessa conta é o quociente entre a quantidade de umidade presente a uma determinada temperatura e a máxima quantidade de vapor de água que o ar pode conter nessa determinada temperatura, resultando na umidade relativa do ar. Em outras palavras, quanto mais quente for o ar, mais umidade poderá ser absorvida. Sua utilização é intensa para fins diversos.
- Sensor Analisador de Gases: Sua função é medir a concentração de um componente gasoso, pode utilizar de diversas técnicas para essa medição, por exemplo, por absorção de radiação infravermelha, método

paramagnético, condutividade térmica TCD, ionização de chama, célula eletroquímica, quimiluminescência e outros. Em específico para o projeto será utilizado o Sensor de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), que utiliza a técnica de análise de gases por absorção de Radiação Infravermelha não dispersiva NDIR.

- Sensor de Presença: é muito utilizado em aplicações industriais e prediais, sua função é transmitir a posição de objetos ou pessoas. São do tipo Ópticos: São componentes de sinalização e comando que detectam qualquer material, desde que haja contato mecânico entre eles. É muito utilizado para enviar comando do emissor para o receptor em uma determinada frequência, gerando um certo número de lampejos por segundo. São semelhantes ao controle da TV que se tem em casa. Esse Sensor Óptico também conhecido por Infravermelho que será utilizado no módulo emissor para enviar comandos para os aparelhos de ar-condicionado e umidificador, como também o módulo receptor para receber os comandos do controle remoto e gravá-los. Existem dois tipos de Sensor de Barreira:
  - Sensores Ópticos por Transmissão: É um tipo de Sensor de Barreira de luz, que possui o emissor e o receptor em dispositivos separados, um alinhado de frente ao outro, uma vez que o objeto interrompe o feixe de luz o sensor é ativado. Pode ser a laser ou infravermelho.
  - Sensor Ópticos por Reflexão Difusa: É um tipo de Sensor de Barreira de luz, que possui o emissor e receptor montados no mesmo dispositivo. O emissor cria uma região ativa, uma vez que o objeto passa sobre ele, faz com que a luz seja refletida de forma difusa, voltando ao receptor, e ativando o mesmo. Encontra-se geralmente a infravermelho.

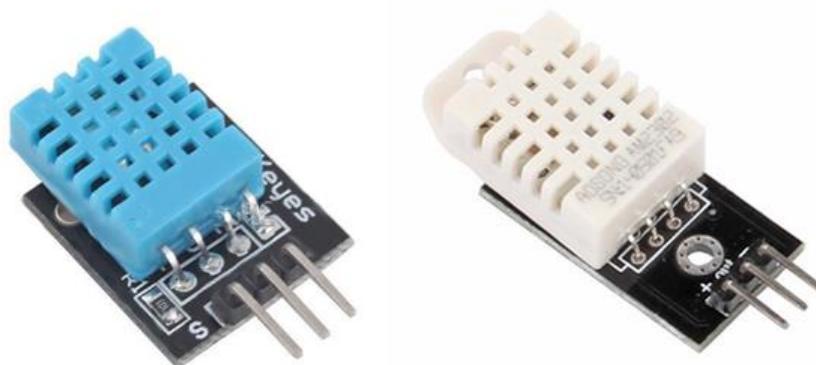
Foram pesquisados transdutores que, além de bom preço, oferecessem o mínimo de qualidade para embarcar tanto no Nó Sensor como no Nó Principal.

Os Transdutores de temperatura mais encontrados no mercado são o DHT11 e o DHT22 ou também conhecido por AM2302, fabricados pela empresa chinesa Aosong ElectronicsCo. Ltd, observados na Figura 17.

Comparando-se as vantagens e desvantagens entre eles pode-se citar:

- O DHT11(azul) é mais barato e menor que o DHT22(branco);
- O DHT11 tem menor sensibilidade, a precisão é de 1 em 1°C, enquanto o DHT22 é de 0,1°C;
- DHT11 tem amplitude de temperatura de 0°C a 50°C, e o DHT22 pode alcançar -40°C até 80°C;
- Amplitude de umidade o DHT11 fica de 20% a 80% e o DHT22 faz de 0% a 100%.
- O DHT11 funciona alimentado de 3 a 5,5 volts e corrente máxima de 2,5mA;
- O DHT22 trabalha com tensões de 3,3 a 6 volts e corrente máxima de 1,5mA;
- Tempo de resposta para as leituras, o DHT11 é 1 segundo e o DHT22 demora 2 segundos

Figura 17. Sensores de Temperatura e Umidade DHT11 e DHT22



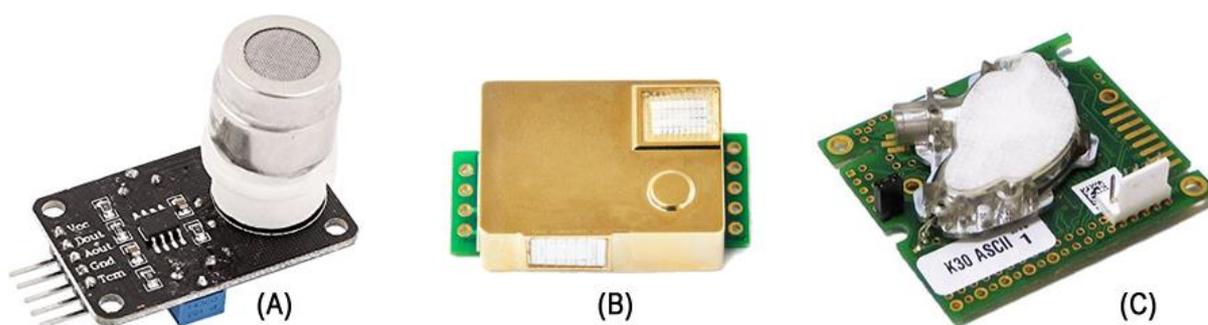
Fonte: AOSONG (2017)

A escolha do sensor de temperatura e umidade se deu na análise dos comparativos e considerando que a diferença de custo é pequena. É possível comprar em sites de e-commerce da China e EUA o DHT11 R\$ 10,00 e o DHT22 R\$ 17,00 valores médios, com postagem internacional gratuita. Nesse caso a escolha não se

baseou no menor preço, mas sim na precisão, permitindo ao sistema trabalhar com valores fracionados.

O Sensor Analisador de Gases foi de escolha um pouco mais complicada, pois não existem muitas publicações envolvendo o uso desses analisadores de baixo custo, muito menos um comparativo entre eles. Dentre os pesquisados, foram colocados em comparação os três Analisadores (Tabela 6) mais citados em publicações, ilustrados na Figura 18.

Figura 18. Sensores de Gás MG811(A), MH-Z19(B) e K-30(C)



Fonte: Adaptado dos respectivos fabricantes

Tabela 6. Tabela comparativa para a escolha do Sensor Analisador de Gás

Modelo	MG811	MH-Z19	K-30
Fabricante	Hanwei	Winsen	SenseAir
Precisão	Não informa	$\pm 50\text{ppm} + 5\%$	$\pm 30 \text{ ppm} \pm 3\%$
Amplitude	350 a 10.000ppm	0 a 5.000 ppm	0 a 10.000 ppm
Temp. Aceitável	-20 a 50°C	0 a 50°C	0 a 50°C
Umid. Aceitável	Não informa	0 a 95%	0 a 95%
Resposta	90 seg	60 seg	20 seg
Tensão	< 5.5V / 20mA	3.6 a 5.5 V / 18mA	5.5 a 14v / 10mA
Tempo vida	Não informa	> 5 anos	> 15 anos
Valor	R\$ 95,00	R\$ 65,00	R\$ 285,00

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

As características que devem ser observadas na escolha de Sensor Analisador de Gases, mais especificamente o gás Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) devem ser:

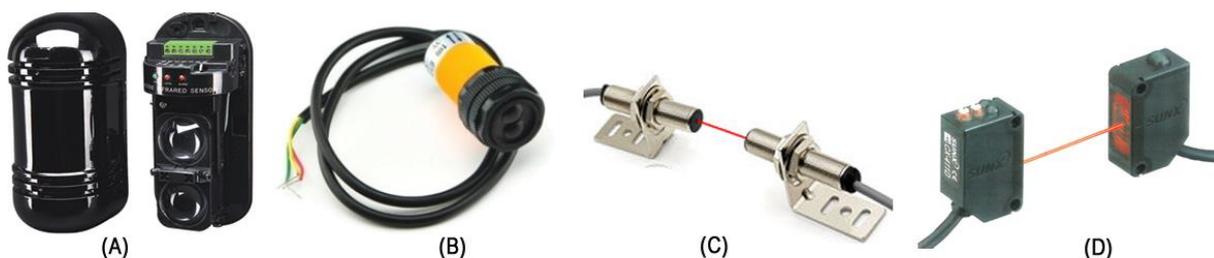
- Amplitude de Partes Por Milhão
- Alta Precisão

- Fácil empregabilidade
- Temperatura aceitável esteja dentro dos valores do projeto
- Tempo de vida

No que diz respeito a PPM (partes por milhão), acredita-se que nessa pesquisa não se obterá valores maiores que 2.000 PPM, portanto, a escolha do sensor não se preocupará com esse item, já que todos os Analisadores comparados atendem. O K-30 é superior em todos os quesitos, exceto temperatura, onde o MG811 pode chegar a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nessa pesquisa a temperatura negativa não representa um ganho, pois o teste de campo se dará em região tropical que fica na maioria dos casos de 20 a  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , em ambiente outdoor, mas em ambiente indoor especificamente nesse caso quer se controlar de 22 a  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O K-30 tem um ponto negativo o elevado preço. Seguindo o princípio do projeto que é baixo custo, foi escolhido o transdutor MH-Z19 por apresentar boas características e preço mais condizente.

Um transdutor fotoelétrico deverá ser usado para contagem de pessoas no ambiente de forma não invasiva, ou seja, discretamente, contudo foram pesquisados (Tabela 7) alguns modelos de mercado conforme a Figura 19.

Figura 19. Transdutores fotoelétricos ABT-30F(A), E18-D80NK(B), M18(C) e CX-441(D)



Fonte: Adaptado dos respectivos fabricantes

Tabela 7. Tabela comparativa para a escolha do Transdutor Fotoelétrico

Modelo	ABT-30F	E18-D80NK	M18	CX-441
Fabricante	Aleph	Tinkbox	ZHIPU	SUNX
Distância	30 a 90m	3 a 80cm	0 a 20m	0 a 10m
Resposta	50-700ms	1ms	1ms	1ms
Voltagem Funcionamento	12 a 24V	5V	10 a 30V	12 a 24V
Corrente Funcionamento	<100mA	> 25mA (min) ~ 100mA (max)	200mA	> 20mA (min) ~ 100mA (max)
Dimensões	171*82*77MM	17*45MM	18*65MM	112*310*200MM
Valor (par)	R\$ 85,00	R\$ 30,00	R\$ 50,00	R\$ 168,00

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

O que se busca como características em um Transdutor Fotoelétrico para pequenos projetos:

- Distância de cobertura
- Tempo de resposta do transdutor
- Fácil empregabilidade

O modelo ABT-30F é o mais fácil de ser encontrado em qualquer loja de alarmes. O que faz desse transdutor ser inviável é o lento tempo de resposta, podendo causar erros no sistema. Os modelos E18-D80NK e o M18 são parecidos, muda apenas a luz emitida de infravermelho, sendo que o primeiro usa led e o segundo laser. O modelo CX-441 não foi testado pelo preço ser muito mais caro que os outros. O escolhido foi o E18-D80NK seguindo o objetivo de baixo custo.

### 3.4 Calibração dos Sensores e Transdutores

A consequência de um dado incorreto capturado pelo sensor pode causar danos irreparáveis, na indústria causando prejuízos financeiros, risco a vida dos trabalhadores e desastres ambientais. Já na questão médica, pode ocorrer perda de medicamentos por temperatura errada, ou acidentes mais graves como no caso de uma bomba de infusão ministrando drogas em quantidades erradas e causar o óbito (IBSP, 2017).

### 3.4.1 Transdutores de Temperatura/Umididade DHT22

Para a calibração dos Transdutores de Temperatura/Umidade, foi procurado auxílio no Instituto de Pesquisas Eldorado credenciado ao INMETRO situado dentro do campus da UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, no laboratório de pesquisas e testes, para aferição na câmara do equipamento de Termohigrômetro modelo WK600 da marca Weisstechnik observado em D na Figura 20. O Relatório de Calibração foi realizado sem cobrança, que ficaria em torno de R\$ 4.000,00, o equivalente a aproximadas oito horas de trabalho.

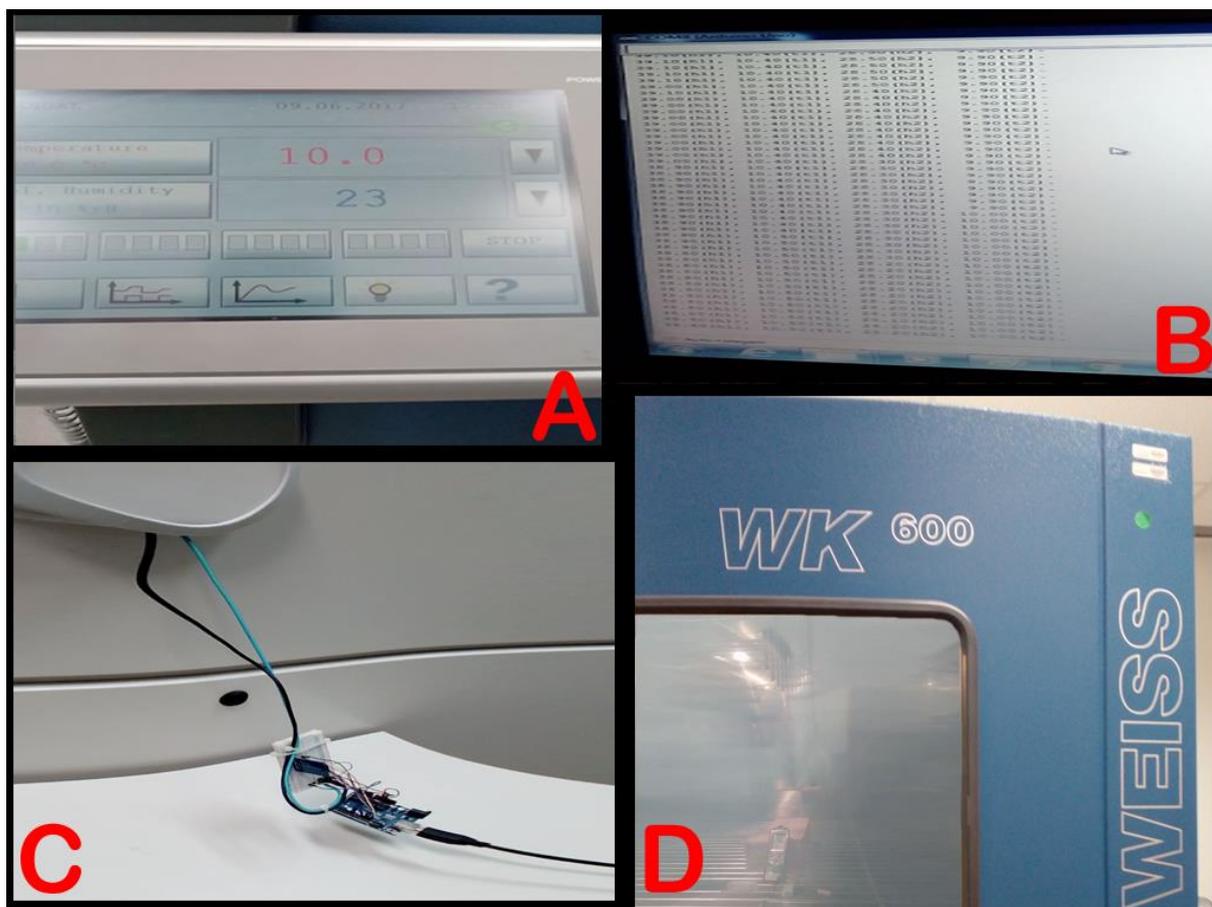
Foram necessários os seguintes materiais:

- Um Arduino Uno R3;
- Um modulo de cartões SD Card;
- Câmara climática WK600 (Termohigrômetro);
- Dois sensores do tipo DHT22;
- Um cabo USB;
- Dois cabos longos;
- Um computador Desktop.

O WK600 tem uma passagem de cabos pela sua lateral e pode ser observado em C na Figura 20, foram colocados dois cabos longos com dois sensores DHT22 de dentro da câmara até o Arduino. O Arduino foi conectado ao computador pelo cabo USB, o qual exibe na tela (em B na Figura 20) a coleta de temperatura/umidade que o Arduino está realizando no momento e armazenando em um cartão SD.

O cenário configurado no WK600 (em A na Figura 20) para a geração do relatório de temperatura foi: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50. A Umidade Relativa do Ar ficou em torno de 30%. E, o cenário para a Umidade Relativa do Ar foi de: 10, 40, 50, 70, 90. A temperatura da câmara ficou em torno de 20°C.

Figura 20. Aferição dos sensores no Instituto de Pesquisas Eldorado



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Os dados coletados no cartão de memória do Arduino, advindos dos dois sensores DHT22, tanto o que vai ficar no Nó Sensor, como o que vai ficar no Nó Principal, foram consolidados na Tabela 8.

Analisando os valores de Umidade dos dois sensores, pode-se notar que o primeiro apresentou valores muito fora da realidade e não conseguiu obter o valor quando estava a 10%, também apresentou tendências em todas as leituras para um valor abaixo do que deveria. O segundo sensor de umidade também apresentou divergências, sua tendência acima do que deveria (ao contrário do anterior) entre 1,83% a 10%. Ambos apresentam menor tendência com percentuais de umidade maior, no entanto bem diferente do que diz o datasheet que podem ficar de até +/- 2% (AOSONG, 2017).

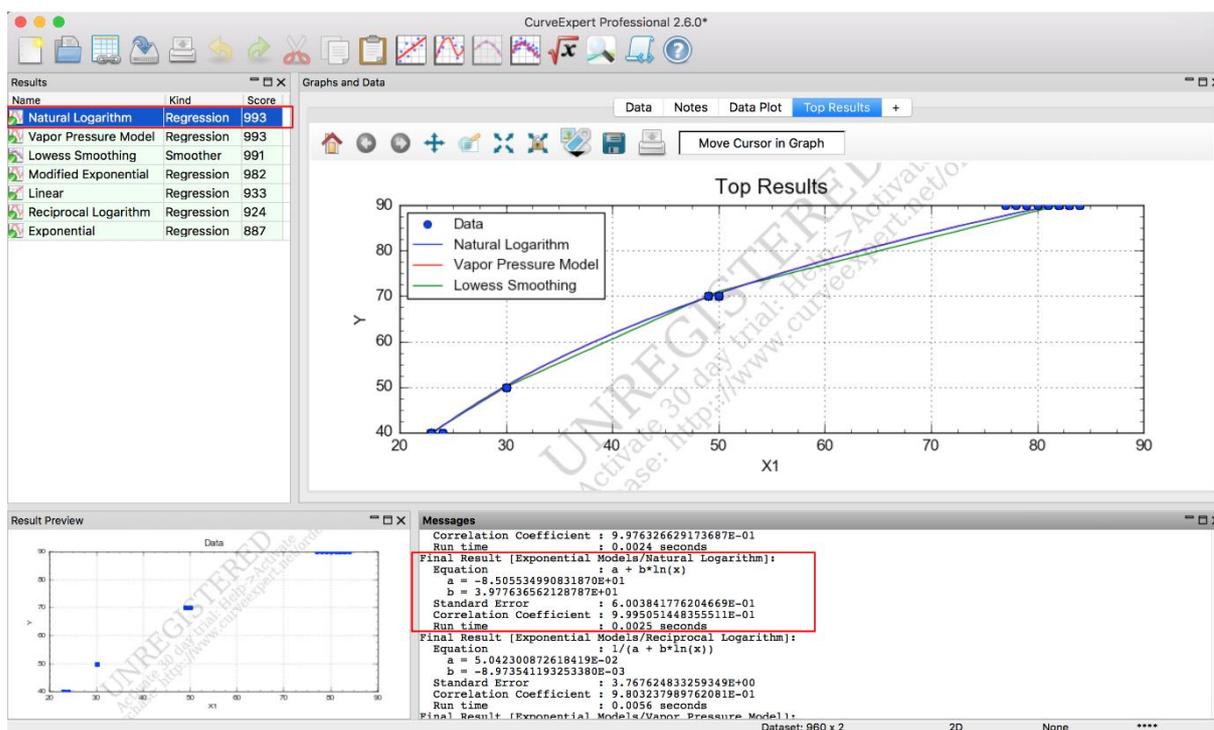
Tabela 8. Resumo obtido nas medidas de Umidade

Sensor de Temperatura/Umidade do Nó Sensor			
Termohigrômetro Referência no WK600		Valor Medido no DHT22	Média
Temperatura (°C)	Umidade %	Umidade % (Min-Max)	(%UR)
20,0	10	ERRO NA LEITURA	ERRO
20,8	40	23,1 - 24,1	23,60
20,6	50	30,0 - 30,8	30,40
20,5	70	49,4 - 50,4	49,90
20,4	90	77,3 - 84,9	81,10
Sensor de Temperatura/Umidade do Nó Principal			
Termohigrômetro Referência no WK600		Valor Medido no DHT22	Média
Temperatura (°C)	Umidade %	Umidade % (Min-Max)	(%UR)
20,1	10	10,7 - 11,3	11,00
20,7	40	44,0 - 44,9	44,45
20,8	50	53,9 - 54,8	54,35
20,7	70	72,7 - 74,2	73,45
20,5	90	90,7 - 92,6	91,65

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Os dados coletados foram inseridos no software Curve Expert Professional, o qual fez a curva de calibração e definiu uma equação para correção das medidas, conforme observado no Gráfico 1 do primeiro sensor.

Gráfico 1. Software Curve Expert Professional para sensor de umidade do Nó Sensor



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Conforme observado no Gráfico 1, o software recomenda a utilização de alguns modelos de equação, onde o *Natural Logarithm* foi o que obteve maior Score (993). Basta utilizar a equação, substituindo x pelo valor lido pelo Sensor de Umidade do Nó Sensor, para se obter em y o valor corrigido da umidade.

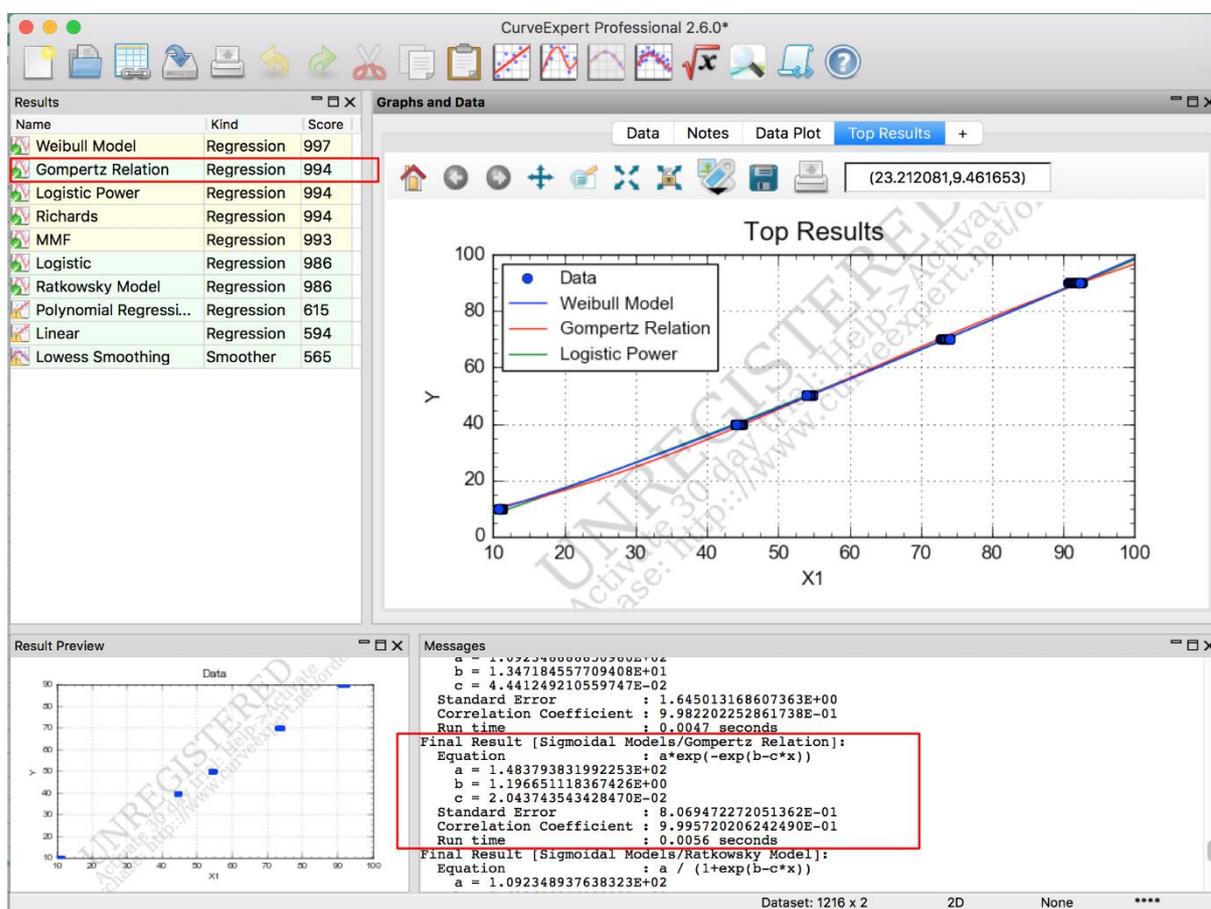
$$y = a + b \cdot \ln(x)$$

$$a = -8.505534990831870E+01$$

$$b = 3.977636562128787E+01$$

Procedimento similar foi realizado com o segundo sensor. Os dados coletados foram inseridos no software Curve Expert Professional, o qual fez a curva de calibração e definiu uma equação para correção das medidas, conforme observado no Gráfico 2.

Gráfico 2. Tela do gráfico exibido do Software Curve Expert Professional para sensor de umidade do Nó Principal



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Conforme observado no Gráfico 2, o software recomenda a utilização de alguns modelos de equação, onde o *Gompertz Relation* mostrou o melhor Score 994 (deve-se utilizar o modelo pintado em verde, pois tem melhor tendência no gráfico). Basta utilizar a equação, substituindo x pelo valor lido pelo Sensor de Umidade do Nó Principal, para se obter em y o valor corrigido da umidade.

$$y = a * \exp(-\exp(b - c * x))$$

$$a = 1.483793831992253E+02$$

$$b = 1.196651118367426E+00$$

$$c = 2.043743543428470E-02$$

O mesmo procedimento, foi realizado com as medidas de Temperatura dos dois sensores DHT22 que serão instalados no Nó Sensor e no Nó Principal armazenados e consolidados na Tabela 9.

Tabela 9. Resumo obtido nas medidas de Temperatura

Sensor de Temperatura/Umidade do Nó Sensor			
Termohigrômetro Referência no WK600		Valor Medido no DHT22	Média (°C)
Umidade %	Temperatura (°C)	Temperatura (°C) (Min-Max)	
30,4	10	10,1 - 10,2	10,15
23,2	15	14,8 - 14,9	14,85
20,8	20	19,7 - 19,8	19,75
16,5	25	24,5 - 24,6	24,55
18,7	30	29,2 - 29,5	29,35
17,0	35	34,1 - 34,3	34,20
17,1	40	39,0 - 39,3	39,15
18,1	50	49,1 - 49,4	49,25
Sensor de Temperatura/Umidade do Nó Principal			
Termohigrômetro Referência no WK600		Valor Medido no DHT22	Média (°C)
Umidade %	Temperatura (°C)	Temperatura (°C) (Min-Max)	
30,4	10	9,8 - 10,1	9,95
23,2	15	14,6 - 14,7	14,65
20,8	20	19,4 - 19,5	19,45
16,5	25	24,3 - 24,4	24,35
18,7	30	29,2 - 29,3	29,25
17,0	35	34,0 - 34,1	34,05
17,1	40	39,0 - 39,1	39,05
18,1	50	49,0 - 49,4	49,20

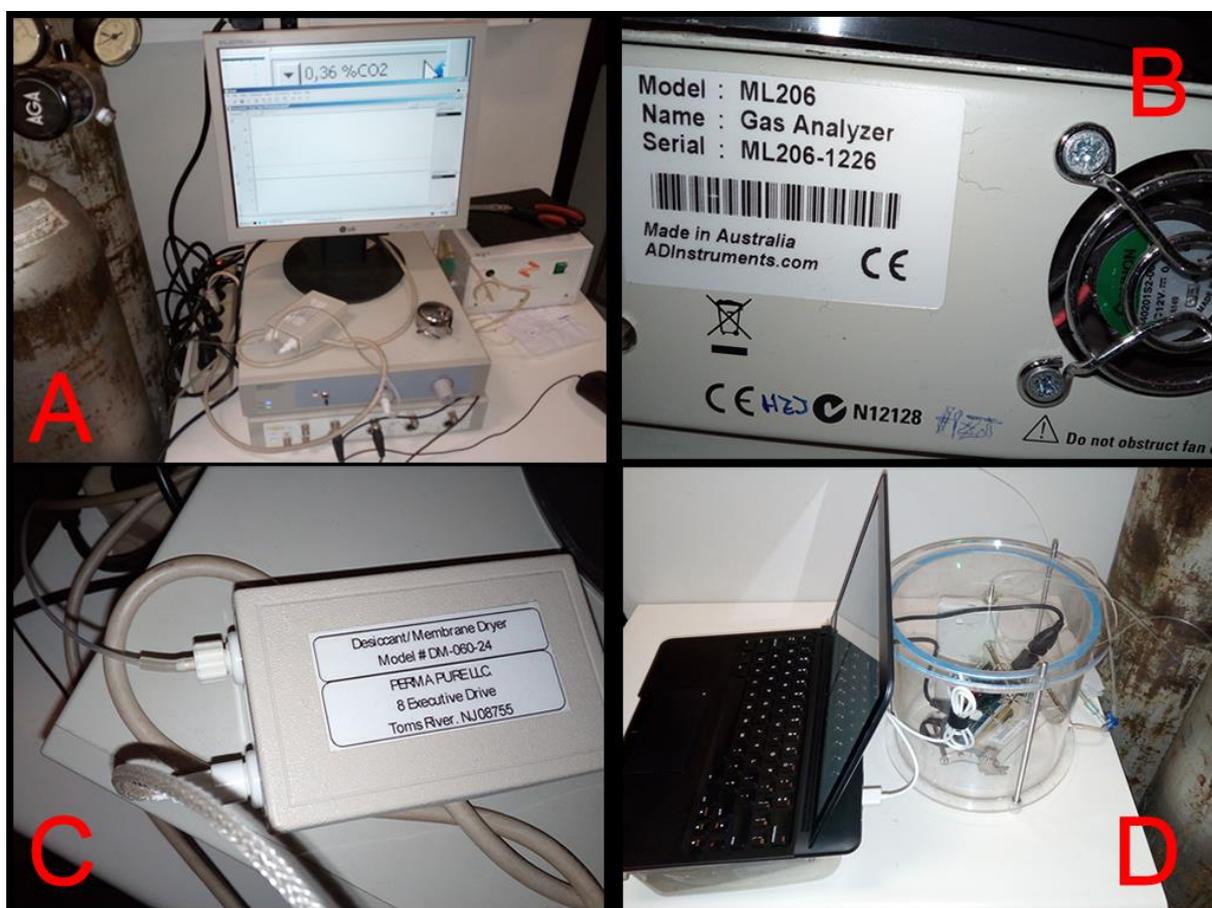
Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Analisando os valores de Temperatura dos dois sensores, observa-se que o primeiro ficou na faixa de -2,29 a +1,5%, ou seja, uma faixa de tendência de 3,79%, algo muito interessante pelo preço que se paga, contudo, analisando o segundo que ficou na faixa de -2,75 a -0,5% uma faixa ainda menor 2,25% resultado ainda melhor que o outro. Para esse caso não serão necessários valores estatísticos de calibração para os sensores de Temperatura, pois ficaram dentro do satisfatórios levando em consideração o datasheet que é de até +/-1°C (AOSONG, 2017).

### 3.4.2 Sensor Analisador de Gás MH-Z19

Para a calibração do Sensor Analisador do Gás Dióxido de Carbono, foi procurada ajuda no Campus da USP, departamento de Farmacologia da FMRP - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, no laboratório de pesquisas relacionadas ao gás Dióxido de Carbono em ratos e camundongos, para aferição baseada no equipamento utilizado, modelo ML206 marca ADInstruments, conforme observado na Figura 21.

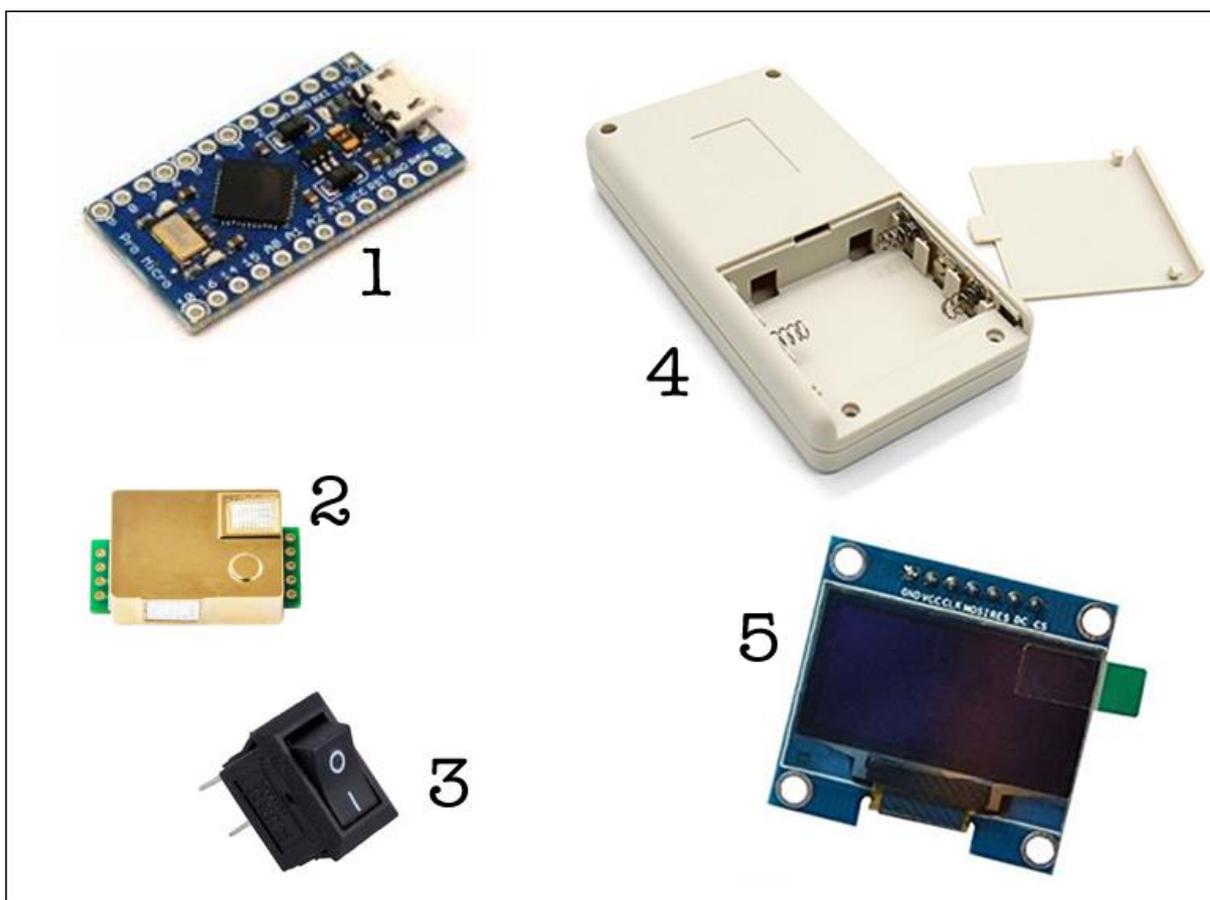
Figura 21. Aferição do sensor de gás na FMRP



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Foi adaptado do projeto de MELNYK (2017) um Analisador Portátil de baixo custo para ser aferido e utilizado em paralelo, com o objetivo de se confirmar as PPM (partes por milhão) de gás Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) coletando no Nó Principal. Foi desenvolvido com os componentes apresentados na Figura 22.

Figura 22. Montagem de Analisador Portátil de gás



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

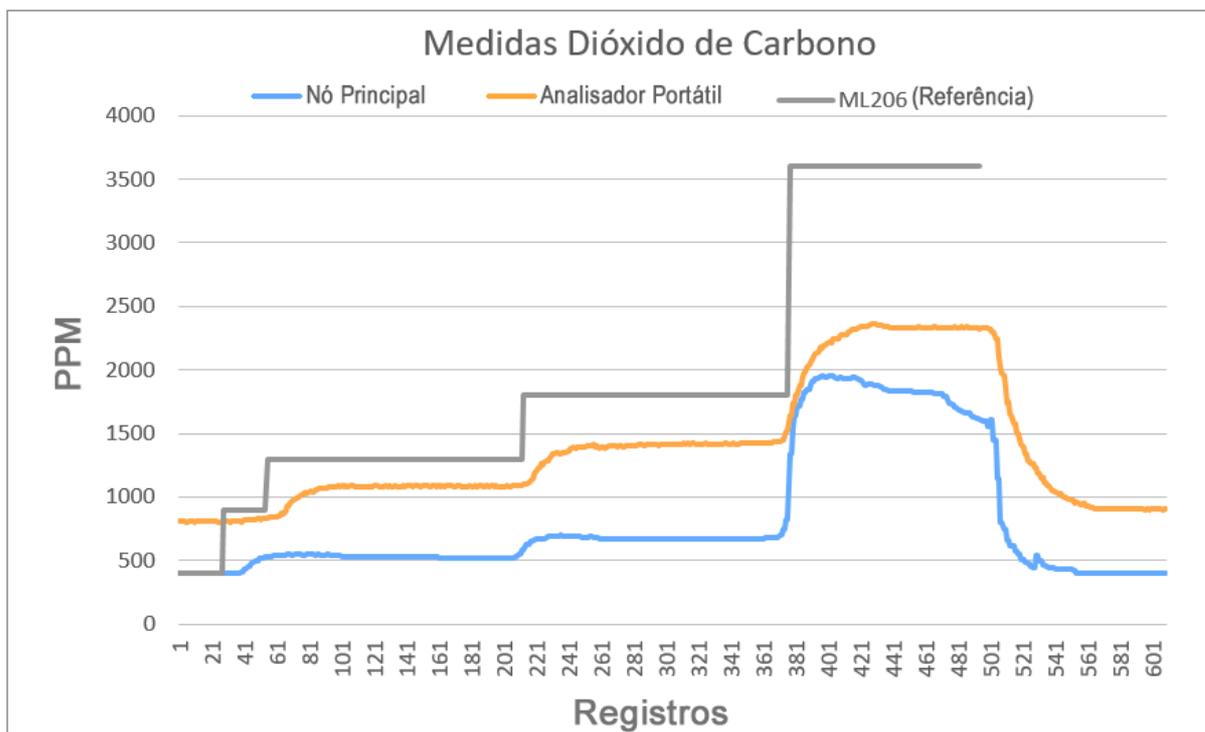
Cada item da Figura 22 está descrito a seguir:

- 1) Arduino Pro Micro
- 2) Sensor Analisador do Gás Dióxido de Carbono MH-Z19
- 3) Botão pequeno On/Off
- 4) Caixa plástica 135\*70\*25mm 3xAA com bateria integrada
- 5) OLED LCD Display 0.96" I2C IIC SPI Serial 128X64

Foram assim estabelecidas cinco concentrações: 400, 900, 1300, 1800 e 3600. O resultado pode ser observado no Gráfico 3. Após os testes de concentração de gás

a 3600PPM, o equipamento ML206 foi desligado e a caixa hermética aberta, pode-se notar que tanto o sensor do Nó Principal como o do Analisador Portátil entram em queda no registro 521 em diante no gráfico, voltando a normalidade.

Gráfico 3. Gráfico das medidas obtidas no laboratório da FMRP/USP

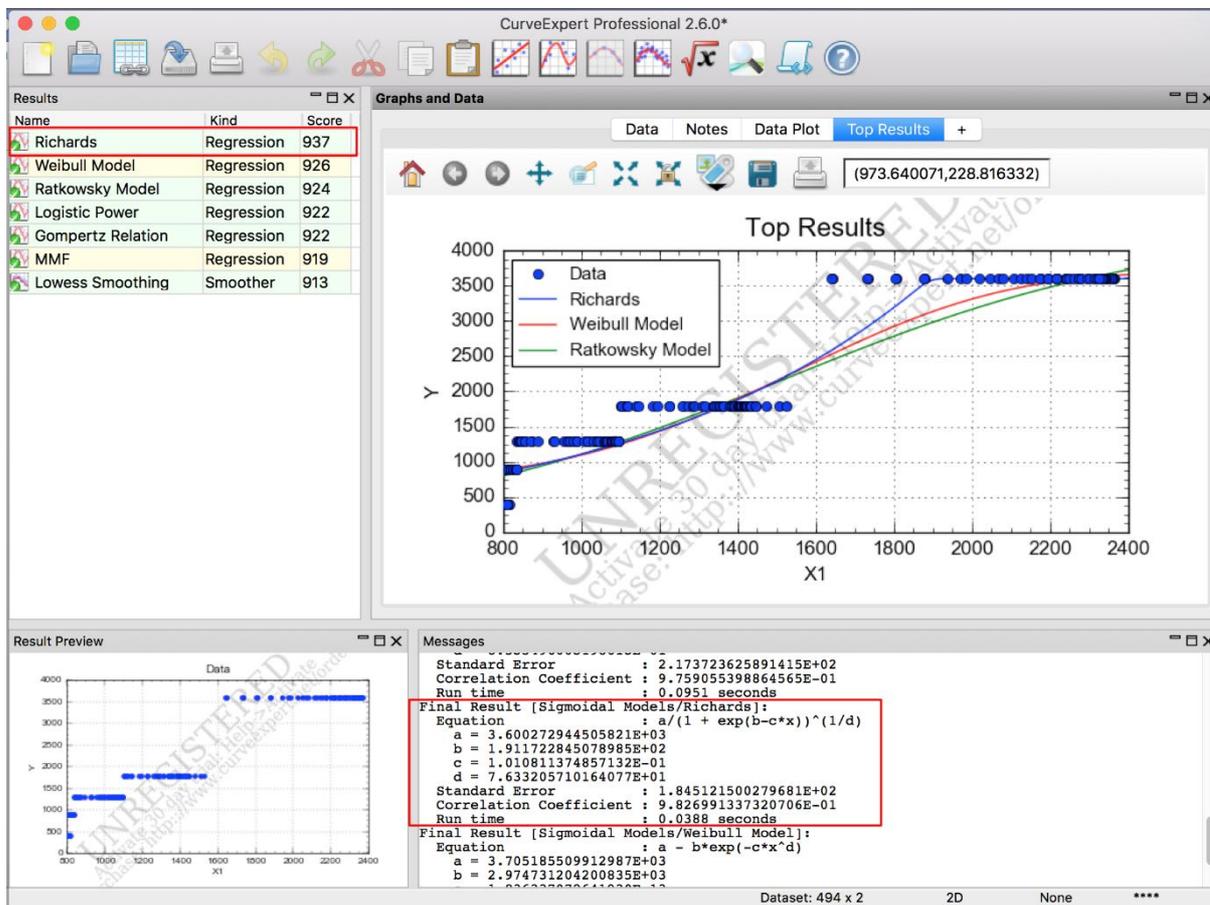


Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

O Nó Principal (Raspberry Pi) e o Analisador Portátil (Arduino) foram colocados em uma caixa hermética em D na Figura 21, com um cano fino transparente na parte superior da tampa ligando o DM-060-2 da marca Perma Pure LLC que faz uma filtragem do ar, em C na Figura 21, e posteriormente ao equipamento ML206, em A e B na Figura 21, que suga o ar e faz a análise das concentrações de dióxido de carbono. Na lateral da caixa se conecta outra mangueira advinda do cilindro que injetava o gás estudado.

Os dados coletados foram inseridos no software Curve Expert Professional, no qual fez a curva de calibração e definiu uma equação para correção das medidas, observado no Gráfico 4.

Gráfico 4. Tela do gráfico exibido do Software Curve Expert Professional para sensor de gás do Analisador Portátil



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Conforme observado no Gráfico 4, o software recomenda a utilização de alguns modelos de equação, onde o *Richards* foi o que obteve maior Score 937. Basta utilizar a equação, substituindo x pelo valor lido pelo sensor do Analisador Portátil(Arduino), se obterá em y que é o valor corrigido da concentração do gás.

$$y = a/(1+\exp(b \cdot c \cdot x))^{(1/d)}$$

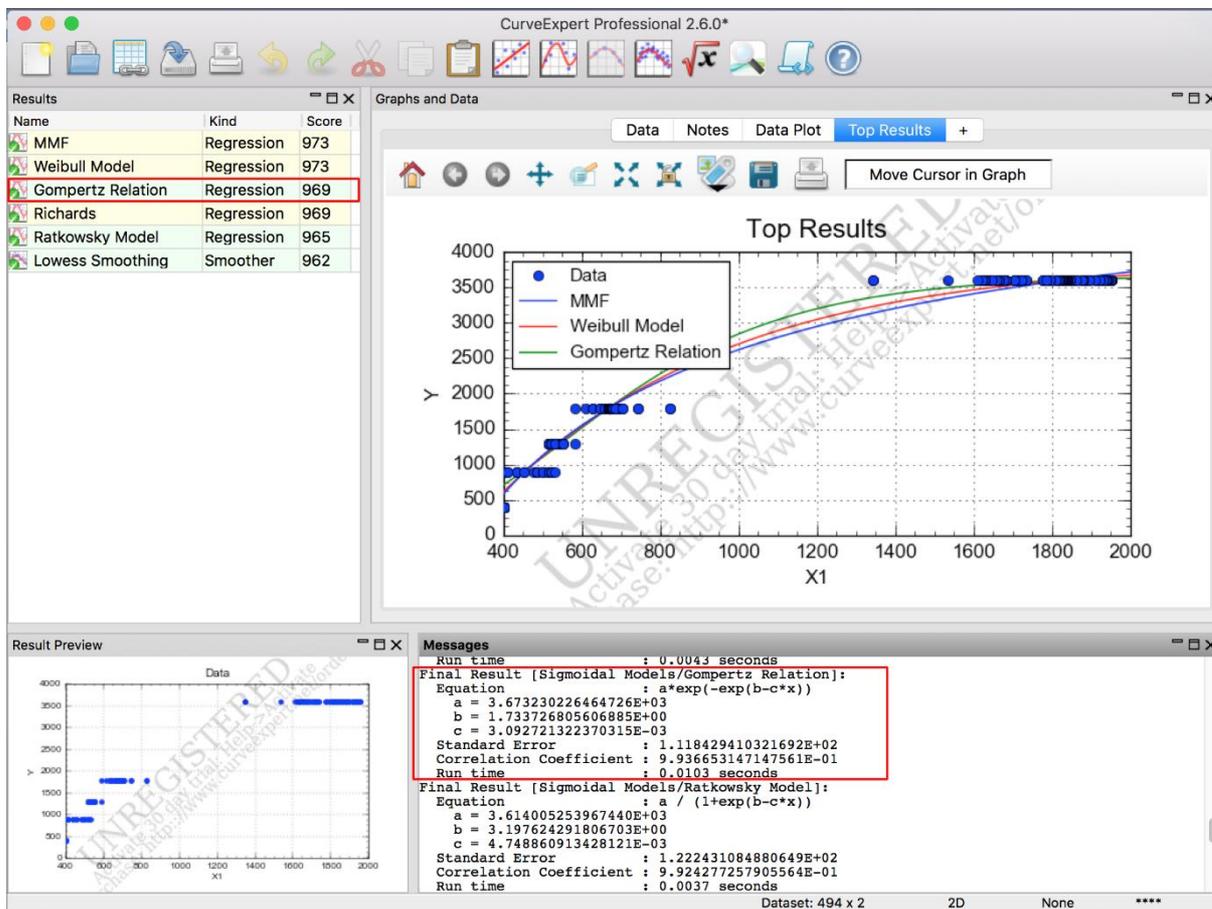
$$a = 3.600272944505821E+03$$

$$b = 1.911722845078985E+02$$

$$c = 1.010811374857132E-01$$

$$d = 7.633205710164077E+01$$

Gráfico 5. Tela do gráfico exibido do Software Curve Expert Professional para sensor de gás do Nó Principal



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Conforme observado no Gráfico 5, o software recomenda a utilização de alguns modelos de equação, onde o *Gompertz Relation* mostrou o melhor Score 969 (deve-se escolher o modelo em verde, pois apresenta melhor tendencia no gráfico). Basta utilizar a equação, substituindo x pelo valor lido pelo sensor do Nó Principal(Raspberry Pi), se obterá em y que é o valor corrigido da concentração do gás.

$$y = a \cdot \exp(-\exp(b - c \cdot x))$$

$$a = 3.673230226464726E+03$$

$$b = 1.733726805606885E+00$$

$$c = 3.092721322370315E-03$$

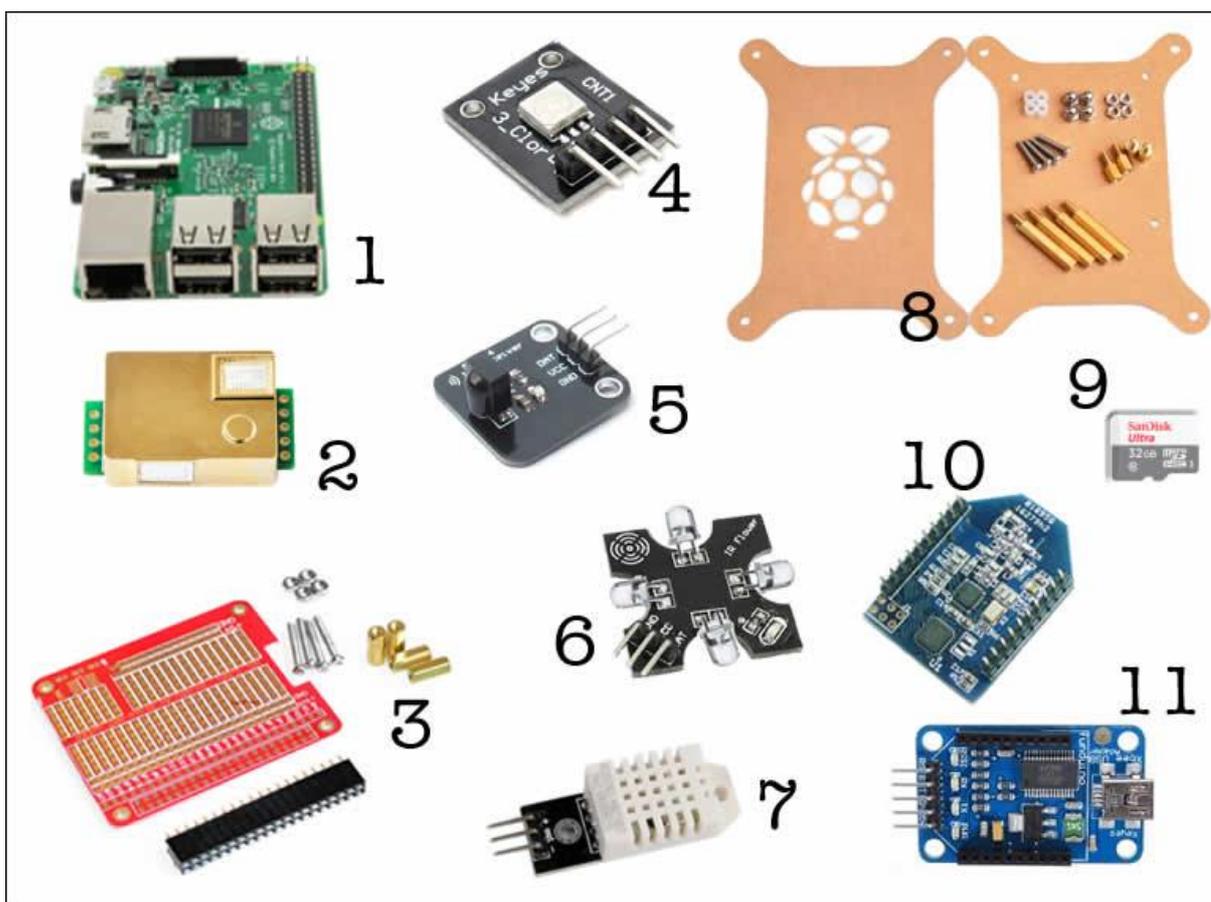
### 3.5 Desenvolvimento do Hardware

Os passos a seguir descrevem a montagem dos dispositivos do Nó Principal e do Nó Sensor, suas características e custo final.

#### 3.5.1 Nó Principal

O desenvolvimento do Hardware começou pelo Nó Gateway que foi chamado de Nó Principal, por se tratar de uma rede ponto a ponto, cujos componentes podem ser observados na Figura 23:

Figura 23. Componentes do Nó Principal (Raspberry Pi)



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Os materiais empregados no Nó Principal enumerados na Figura 23:

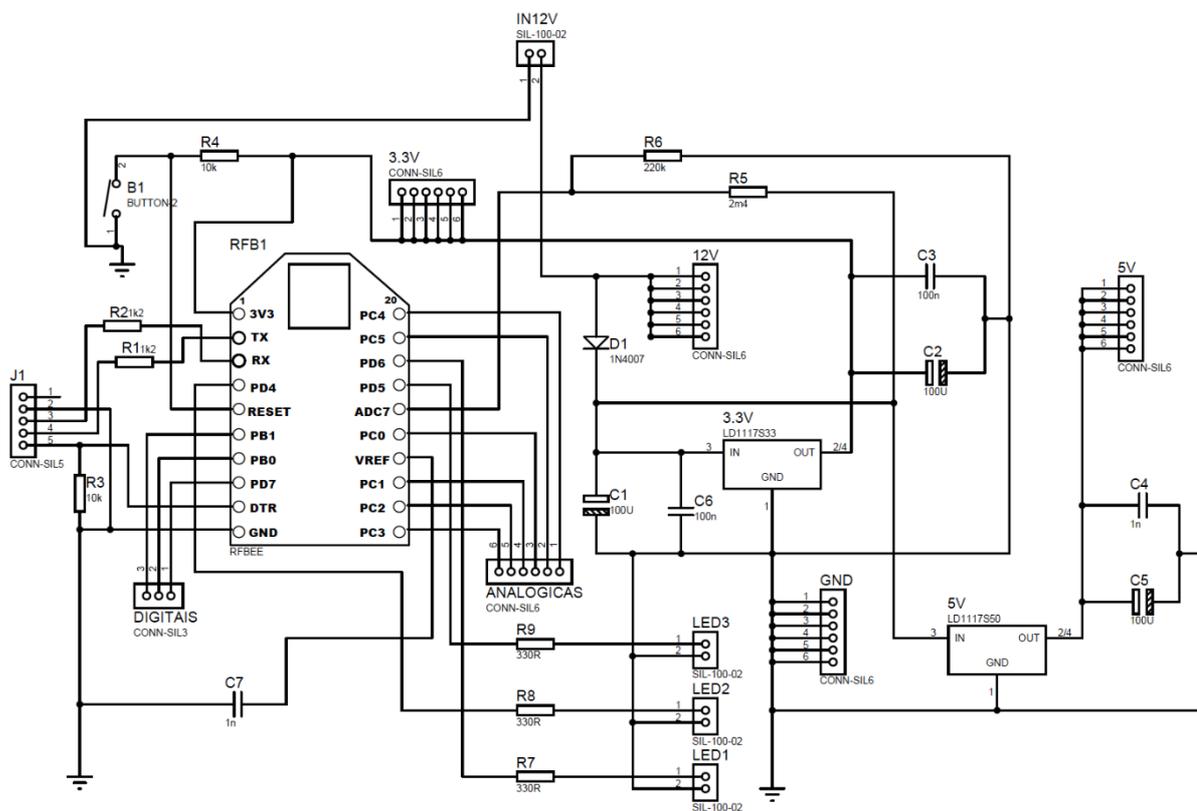
- 1) Minicomputador Raspberry Pi;
- 2) Sensor Analisador de Gás MH-Z19;
- 3) Shield de desenvolvimento para Raspberry Pi;
- 4) Led RGB;
- 5) Receptor de Infravermelho;
- 6) Emissor de Infravermelho Multidirecional;
- 7) Transdutores de Temperatura/Umidade DHT22;
- 8) Base Acrílica de Montagem;
- 9) Cartão MicroSD 32GB Classe 10 - SanDisk;
- 10) Rádio 915MHz RFBEE Versão 1.2;
- 11) Adaptador USB RT232RL XBee;

O Nó Principal utiliza duas portas seriais, a primeira usa TX e RX da placa do Raspberry Pi para o Sensor Analisador de Gás MH-Z19 e a segunda usa uma das portas USB para o Adaptador USB RT232RL XBee que conecta o Rádio 900mhz RFBEE Versão 1.2. Outras três portas digitais do Raspberry Pi foram utilizadas para o Led RGB e mais três para Receptor de Infravermelho, Emissor de Infravermelho Multidirecional, Transdutores de Temperatura/Umidade DHT22.

### *3.5.2 Nó Sensor*

Foi desenhado uma PCI usando o software Proteus, pois foi o que demonstrou menor curva de aprendizado, chegando-se ao desenho do circuito da Figura 24:

Figura 24. Esquema da PCI criado no software Proteus

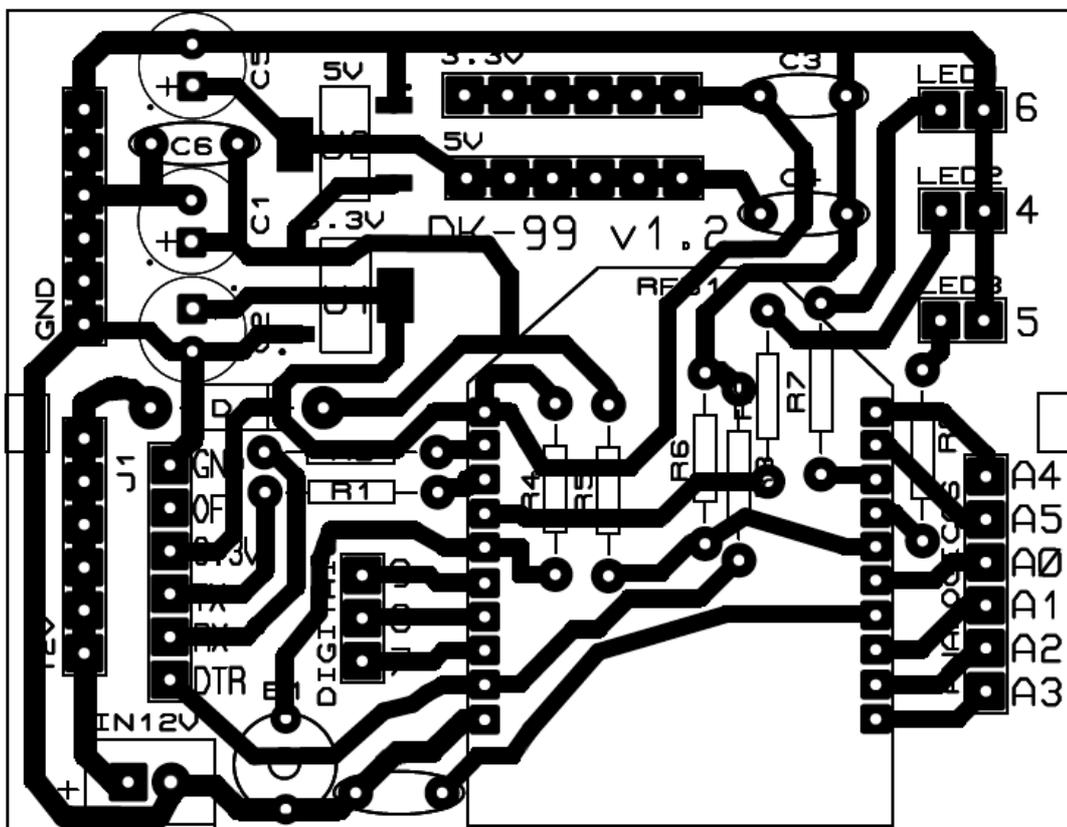


Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

A maior preocupação na criação deste esquema foi em tornar disponível o maior número de portas digitais e analógicas para torná-lo muito semelhante o que é o Arduino. Ponto relevante nesse esquema é que ele permite conectar até 6 dispositivos de 5 volts, 3.3 volts, 12 volts e GND, o que representa muita liberdade para conectar múltiplos sensores e atuadores. Diferente do Arduino o projeto dessa PCI considera a disponibilidade de alimentação 12 volts pensando no Transdutor Fotoelétrico.

A Figura 25 demonstra a disposição dos componentes descritos no esquema da Figura 24 e suas conexões.

Figura 25. Desenho da PCI para produção



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

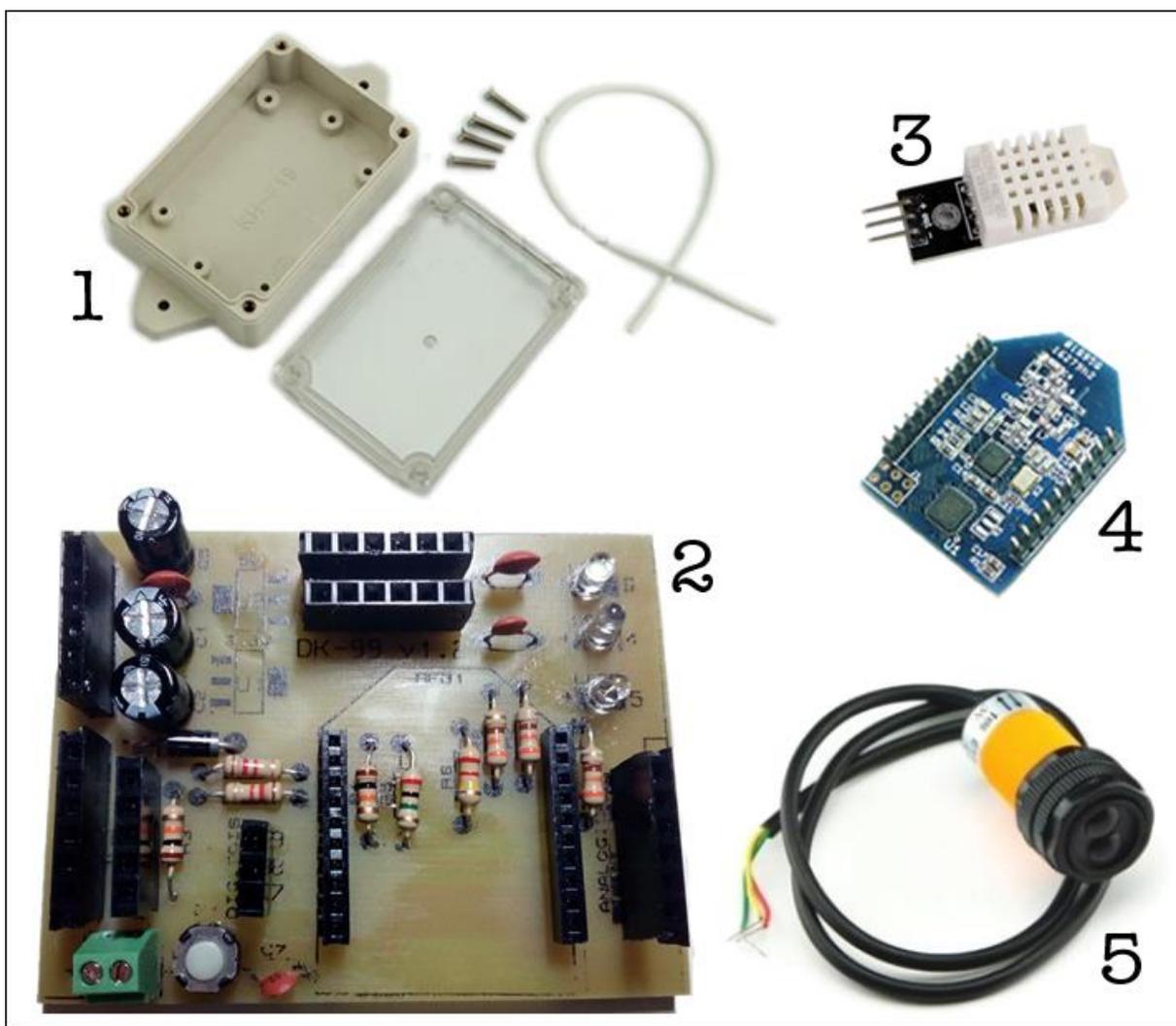
O desenho da PCI na Figura 25 recebeu o nome de DK-99 (Development Kit - Modelo 99) tem dimensão de 63 X 48mm e é composta dos seguintes componentes:

- IN12V - Borne de uso geral com 2 vias 2.54mm;
- D1 - Diodo 1N4007;
- B1 - Chave Táctil Redonda;
- C1/C2/C5 - Capacitores eletrolítico 100uf 25v;
- C7/C4 Capacitores cerâmicos 1nf 50V;
- C3/C6 Capacitor cerâmicos 100nf 50V;
- RFB1-2 barras Head Fêmea de 10 pinos de 2mm;
- U1 - 3.3V Regulador LD1117S33 SOT223;
- U2 - 5V Regulador LD1117S50TR SOT-223;
- R1/R2 - Resistor 1.2k ohms 1/4w;
- R3/R4 - Resistor 10k ohms 1/4w;
- R5 - Resistor 2.4m ohms 1/4w;

- R6 - Resistor 220 ohms 1/4w;
- R7/R8/R9 - Resistor 330 ohms 1/4w;
- LED1 - Led alto brilho 3mm branco/verde;
- LED2 - Led alto brilho 3mm vermelho;
- LED3 - Led alto brilho 3mm amarelo;
- 5 barras Head Fêmea de 6 pinos – GND, 5V, 3V, FTDI e Analógicas;
- 1 barra Head Fêmea de 3 pinos – Digitais;

Com a placa desenvolvida, foi possível montar o Nó Sensor utilizando os componentes visualizados na Figura 26.

Figura 26. Componentes do Nó Sensor



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Os materiais empregados no Nó Sensor enumerados na Figura 26:

- 1) Caixa de fixação;
- 2) Placa DK-99;
- 3) Transdutores de Temperatura/Umididade DHT22;
- 4) Rádio 915MHz RFBEE Versão 1.2;
- 5) Sensor Óptico por Reflexão Difusa E18-D80NK (mais conhecido por Sensor de Barreira);

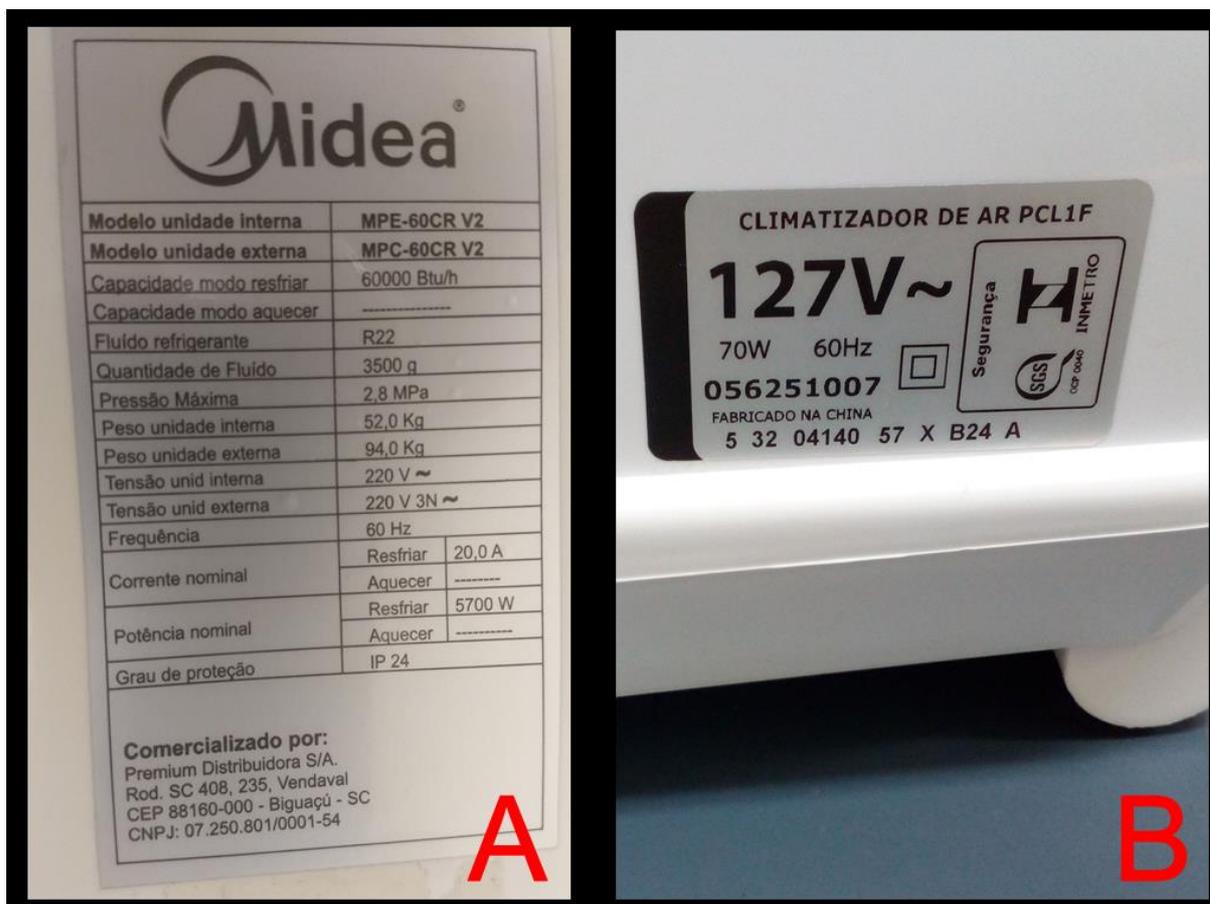
Apesar de muitas portas lógicas na PCI do Nó Sensor (6 analógicas e 3 digitais), o Item 2 da Figura 26, serão utilizadas apenas três portas digitais, sendo uma para o Transdutor de Temperatura/Umididade DHT22 que ficará do lado externo ao ambiente e outras duas para os dois Sensores de Barreira E18-D80NK, item 5, que ficarão afixados a porta para contagem de pessoas.

### *3.5.3 Demais Equipamentos*

Foram necessários além do Nó Principal e Nó Sensor, os equipamentos:

- Um Aparelho de Ar-Condicionado com receptor Infravermelho da marca Midea em A na Figura 27;
- Um Aparelho Umidificador com receptor Infravermelho da marca Philco em B na Figura 27;
- Fonte de energia Nó Sensor 12v 1A;
- Fonte de energia Nó Principal 5V 2.5A;

Figura 27. Características do Ar-Condicionado e do Umidificador



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

### 3.5.4 Custo Final do Projeto

A composição do Nó Principal, com as Placas, seus Sensores, Transdutores, Caixa de Acrílico, Fonte de energia, Rádio RFBee, Adaptador USB, Cartão de Memória. A composição do Nó Sensor, com a Placa, seus Sensores, Transdutores, Caixa de Plástico, Fonte de energia e Rádio RFBee. Na tabela 10 estão descritos os custos dos dispositivos, porém é necessário destacar-se que a aquisição aconteceu na China (Aliexpress.com), o que contribuiu com a redução do custo. São omitidos os aparelhos de umidificação e de Ar-condicionado nesse custo.

Tabela 10. Custos do projeto

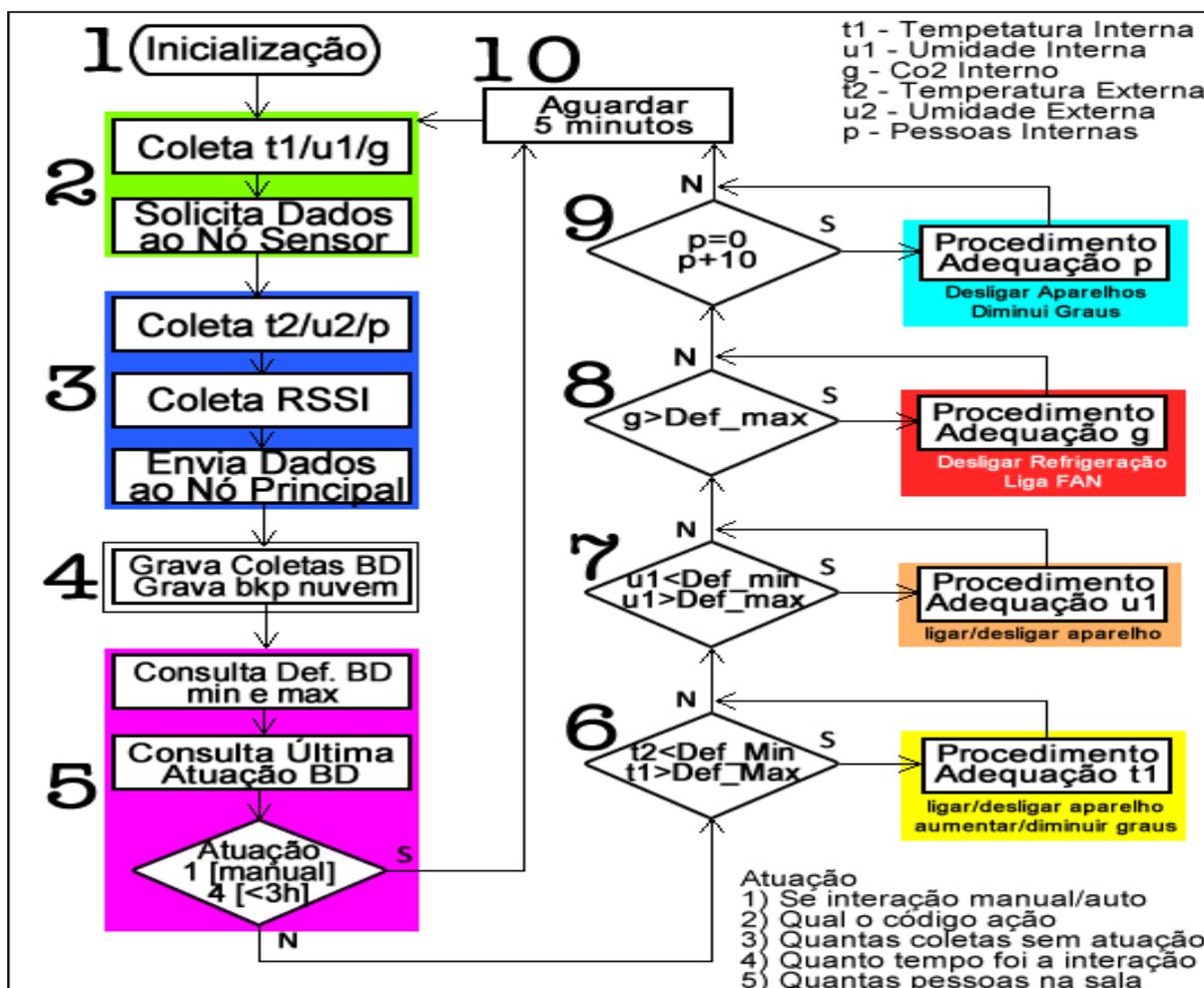
Dispositivos	Valores
Nó Principal com sensores e fonte	R\$ 358,00
Nó Sensor com sensores e fonte	R\$ 107,00
Transceptores – RFBee v1.2 (2x)	R\$ 130,00

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

### 3.6 Lógica do Sistema

O fluxograma da Figura 28 representa os passos que o software realiza. Dividiu-se o software em duas etapas, onde a primeira do lado esquerdo (passo 1 ao passo 5) coleta os dados das variáveis ambientais e a segunda, do lado direito (passo 6 ao passo 9), faz o papel de comparar e atuar nos aparelhos com infravermelho.

Figura 28. Fluxograma Simplificado do Software em Python



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

A sequência de processamento segue os seguintes passos:

### **Passo 1** – Inicialização do Sistema

- Carregamento das bibliotecas e funções necessárias para o funcionamento do hardware, preparando o software para os transdutores acoplados no sistema;
- Grava na tabela “Alerta” do Banco de Dados local e na Nuvem que o sistema foi inicializado.

### **Passo 2** – Nó Principal

- Coleta dos dados no sensor de temperatura( $t_1$ ) / umidade( $u_1$ ) e os dados do sensor de gás( $g$ );
- Faz a calibração dos dados de  $t_1$ ,  $u_1$  e  $g$  ( $t_1$  apenas elimina os Outliers);
  - Se  $t_1$ ,  $u_1$  ou  $g$  estão fora da escala prevista deve gravar na tabela “Alerta” do Banco de Dados local e na Nuvem que sensor está com problema;
  - Se  $t_1$ ,  $u_1$  ou  $g$  estão fora da escala adequada deve gravar na tabela “Alerta” do Banco de Dados local e na Nuvem que sensor apresenta valores críticos;
- Envia um comando via rádio para o Nó Sensor 1 solicitando os dados;
- Acende Led RGB verde.

### **Passo 3** – Nó Sensor 1

- Coleta dos dados no sensor de temperatura( $t_2$ ) / umidade( $u_2$ ) e os dados do sensor de barreira( $p$ );
- Coleta a intensidade do rádio RSSI;
- Devolve os dados coletados para Nó Principal;
- Faz a calibração dos dados de  $t_2$ ,  $u_2$  ( $t_2$  apenas elimina os Outliers);
  - Se  $t_2$ ,  $u_2$  ou  $p$  está fora da escala possível deve gravar na tabela “Alerta” do Banco de Dados local e na Nuvem que sensor está com problema;
  - Se  $t_2$ ,  $u_2$  ou  $p$  está fora da escala adequada deve gravar na tabela “Alerta” do Banco de Dados local e na Nuvem que sensor apresenta valores críticos;
- Analisa RSSI;

- Se RSSI maior que 80dBm deve gravar na tabela “Alerta” do Banco de Dados local e na Nuvem que link de rádio está ruim;
- Coleta o numero do Nó Sensor e o Grupo dele;
- Acende Led RGB azul.

#### **Passo 4** – Armazenamento dos dados

- Grava na tabela “No\_Principal” do Banco de Dados local e na Nuvem os dados coletados no Passo 2;
- Grava na tabela “No\_Sensor” do Banco de Dados local e na Nuvem os dados coletados no Passo 3;
- Acende Led RGB branca.

#### **Passo 5**

##### **Passo 5.1** – Verifica Definição e parâmetros da ultima Atuação no BD

- Consulta Definição para sensores no Banco de Dados local (máximos e mínimos);
- Consulta Atuação:
  - 1) Se foi uma interação manual ou automática;
  - 2) Qual o código dessa ação;
  - 3) Quantas coletas aconteceram sem atuação;
  - 4) Quanto tempo foi a ultima interação;
  - 5) Quantas pessoas haviam na sala na ultima interação.

##### **Passo 5.2** – Primeira Condição

A. Verifica se [Atuação 1] é igual a manual

B. Verifica se [Atuação 4] menor de 3 horas;

- Se condição A e B são falsa vai para [passo 6], caso contrário vai para [passo 10] e deve gravar na tabela “Alerta” do Banco de Dados local e na Nuvem que "O Sistema esta em modo MANUAL, retorna em X minutos";
- Acende Led RGB magenta.

#### **Passo 6** – Ajuste de temperatura do ambiente

- A. Verifica se [Temperatura Externa(t2)] não é zero;
- B. Verifica se [sensor de barreira(p)] é maior que zero;

- Se A e B são verdade vai para [Passo 6.1], caso contrário vai para [Passo 7].

#### **Passo 6.1**

- A. Verifica se [Temperatura Externa(t2)] é menor que [Definição Mínima Graus];
- B. Verifica se [Atuação 2] é diferente [Próxima Atuação];
- C. Verifica se [Atuação 3] é maior que 3, ou seja, faz mais de 15 minutos que não acontece atuação;
- Se A, B e C são verdade executa comandos abaixo, caso contrário, vai para Passo 6.2;
  - Envia comando para Desliga Ar-Condicionado;
  - Grava na tabela “Atuação” do Banco de Dados local e na Nuvem o comando executado no Aparelho;
  - Acende Led RGB amarela e vai para [Passo 7].

#### **Passo 6.2**

- A. Verifica se [Temperatura Interna(t1)] é maior que [Definição Máxima Graus];
- B. Verifica se [Atuação 2] é diferente [Próxima Atuação];
- C. Verifica se [Atuação 3] é maior que 3, ou seja, faz mais de 15 minutos que não acontece atuação;
- Se A, B e C forem verdade executa comandos abaixo, caso contrário, vai para Passo 7;
  - Se [Temperatura Interna(t1)] menos [Definição Máxima Graus] for maior ou igual a 9:
    - Envia comando para Ar-Condicionado [Definição Mínima Graus]
  - Senão Se [Temperatura Interna(t1)] menos [Definição Máxima Graus] for maior ou igual a 5:
    - Envia comando para Ar-Condicionado [Definição Máxima Graus] - 2
  - Senão Se [Temperatura Interna(t1)] menos [Definição Máxima Graus] for menor [Definição Mínima Graus]:
    - Envia comando para Ar-Condicionado [Definição Mínima Graus] + 1

- Senão envia comando para Ar-Condicionado [Definição Máxima Graus] – 1
- Grava na tabela “Atuação” do Banco de Dados local e na Nuvem o comando executado no Aparelho;
- Acende Led RGB amarela;

### **Passo 7 – Ajuste de umidade do ambiente**

- A. Verifica se [Umidade Interna(u1)] não é zero;
- B. Verifica se [sensor de barreira(p)] é maior que zero;
- Se A e B são verdade vai para [Passo 7.1], caso contrário vai para [Passo 8].

#### **Passo 7.1**

- A. Se [Umidade Interna(u1)] é menor que [Definição Mínima %UR]
- B. Verifica se [Atuação 2] é diferente [Próxima Atuação];
- C. Verifica se [Atuação 3] é maior que 3, ou seja, faz mais de 15 minutos que não acontece atuação;
- Se A, B e C for verdade executa comandos abaixo, caso contrário, vai para Passo 7.2;
  - Envia comando para Ligar Umidificador;
  - Grava na tabela “Atuação” do Banco de Dados local e na Nuvem o comando executado no Aparelho;
  - Acende Led RGB laranja e vai para [Passo 8];

#### **Passo 7.2**

- A. Se [Umidade Interna(u1)] é maior que [Definição Máxima %UR]
- B. Verifica se [Atuação 2] é diferente [Próxima Atuação];
- C. Verifica se [Atuação 3] é maior que 3, ou seja, faz mais de 15 minutos que não acontece atuação;
- Se A, B e C for verdade executa comandos abaixo, caso contrário, vai para [Passo 8];
  - Envia comando para Desligar Umidificador;
  - Grava na tabela “Atuação” do Banco de Dados local e na Nuvem o comando executado no Aparelho;
  - Acende Led RGB laranja;

**Passo 8** – Ajuste de Dióxido de Carbono do ambiente

- A. Verifica se [Dioxido de Carbono(g)] não é zero;
- B. Verifica se [sensor de barreira(p)] é maior que zero;
- Se A e B são verdade vai para [Passo 8.1], caso contrário vai para [Passo 9].

**Passo 8.1**

- A. Se [Dióxido Carbono(g)] é maior que [Definição Máxima PPM];
- B. Verifica se [Atuação 2] é diferente [Próxima Atuação];
- C. Verifica se [Atuação 3] é maior que 3, ou seja, faz mais de 15 minutos que não acontece atuação;
- Se A, B e C for verdade executa comandos abaixo, caso contrário, vai para [Passo 9];
  - Envia comando para Ligar apenas FAN do Ar-Condicionado;
  - Grava na tabela “Atuação” do Banco de Dados local e na Nuvem o comando executado no Aparelho;
  - Acende Led RGB vermelha;

**Passo 9** – Analisa Pessoas do ambiente

- A. Se [sensor de barreira(p)] é igual a zero;
- B. Verifica se [Atuação 2] é diferente [Próxima Atuação];
- C. Verifica se [Atuação 3] é maior que 3, ou seja, faz mais de 15 minutos que não acontece atuação;
- Se A, B e C são verdade executa comandos abaixo, caso contrário vai para [Passo 9.1].
  - Envia comando para Desligar o Ar-Condicionado e Umidificador;
  - Grava na tabela “Atuação” do Banco de Dados local e na Nuvem o comando executado no Aparelho;
  - Acende Led RGB ciano e vai para [Passo 10];

**Passo 9.1**

- A. Verifica se [sensor de barreira(p)] menos a [Atuação 5] maior que 10 pessoas, ou seja, se entrou mais que 10 pessoas em cinco minutos;
- B. Verifica se [Atuação 2] é diferente [Próxima Atuação];
- C. Verifica se [Atuação 3] é maior que 3, ou seja, faz mais de 15 minutos que não acontece atuação;

- Se A, B e C são verdade executa comandos abaixo, caso contrário vai para [Passo 10].
  - Envia comando para Ar-Condicionado [Definição Mínima Graus] +1
  - Grava na tabela “Atuação” do Banco de Dados local e na Nuvem o comando executado no Aparelho;
  - Acende Led RGB ciano;

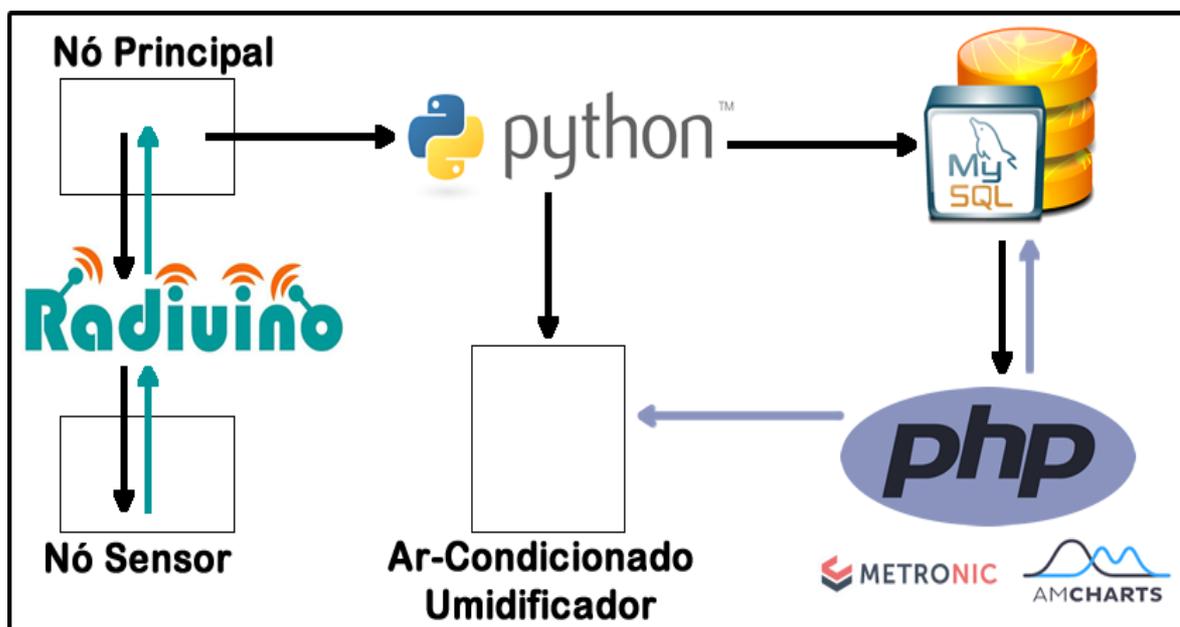
### Passo 10

- O último passo é esperar 5 minutos para repetir o procedimento a partir do [Passo 2].

### 3.7 Desenvolvimento Software

A Figura 29 faz uma simples representação da interação do sistema e tecnologias envolvidas no projeto.

Figura 29. Interação do Sistema e Tecnologias Areladas



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Nos rádios tanto o Nó Sensor como o Nó principal foram feitos a programação com a biblioteca **Radiuino** se utilizando da IDE de programação do Arduino. O Nó Sensor fica todo tempo contando as pessoas do ambiente e coletando a Temperatura e Umidade conforme solicitado pelo Nó Principal, o que acontece a cada cinco minutos e envia para o mesmo juntamente com a contagem de pessoas.

No Nó principal a programação foi feita em **Python**, onde é feita a coleta da Temperatura, Umidade e Dióxido de Carbono a cada cinco minutos, faz a análise dos dados e interage através de sinais infravermelho com o aparelho de Ar-condicionado e Umidificador.

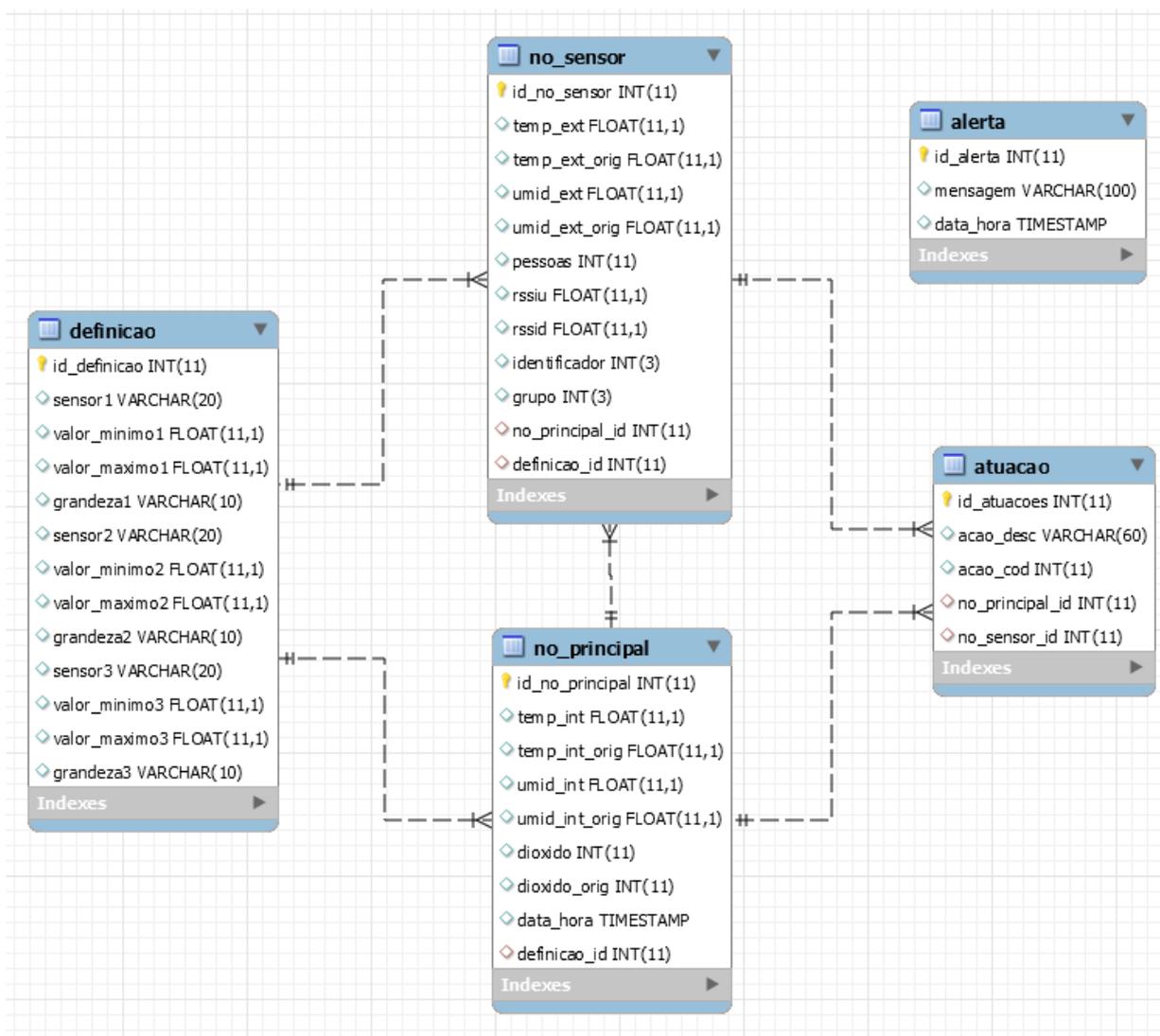
Os dados capturados dos sensores do Nó Sensor e Nó Principal são armazenados no **banco de dados MySQL** local e na Nuvem.

A versão Web do software feita em **PHP** que faz acesso ao banco de dados e permite ao usuário visualizar as variáveis ambientais e interagir com o sistema, modificando as definições de valor máximo e mínimo para cada sensor, ou disparar comandos manuais para o Ar-Condicionado ou Umidificador, registrando no Banco de Dados local e na Nuvem. Foi utilizado um Template responsivo da Metronic que permite auto redimensionamento da tela, tornando-se independente do dispositivo. Com esta facilidade o sistema se modifica conforme o tamanho da tela que o usuário esteja usando, desenvolvido com as tecnologias: Bootstrap, Ajax, JQuery HTML5. Foi utilizado também uma biblioteca de gráficos Javascript chamada Amcharts, uma ferramenta extremamente bonita e dinâmica, para exibição dos resultados obtidos de um período de leitura dos sensores.

### **3.8 Desenvolvimento Banco de Dados**

Para a acomodação dos dados foram necessárias a modelagem de cinco tabelas, observadas na Figura 30: Nó\_Principal, Nó\_Sensor, Definição, Atuação e Alerta.

Figura 30. Modelo conceitual gerado no Software MySQL Workbenck



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

A representação gráfica do Banco de Dados para uso no sistema DomotiCare, foi dividido em cinco tabelas:

A tabela **no\_principal** tem como objetivo registrar valores de sensores conectados ao Nó Principal e é composto de nove campos:

- id\_no\_principal é a chave primária com registros numéricos sequenciais;
- temp\_int guarda o valor calibrado do sensor de temperatura conectado ao Raspberry Pi;
- temp\_int\_orig guarda o valor original (sem calibração) do sensor de temperatura conectado ao Raspberry Pi;
- umid\_int guarda o valor calibrado do sensor de umidade conectado ao Raspberry Pi;

- umid\_int\_orig guarda o valor original (sem calibração) do sensor de umidade conectado ao Raspberry Pi;
- dioxido guarda o valor calibrado do sensor de dióxido de carbono ligado ao Raspberry Pi;
- dioxido\_orig guarda o valor original (sem calibração) do sensor de dióxido de carbono ligado ao Raspberry Pi;
- data\_hora guarda o valor de data e hora agrupados;
- definição\_id é uma chave estrangeira que traz o valor da chave primária da tabela **definicao**. *Essa conexão com a tabela **definicao** tem cardinalidade 1 para n, ou seja, para uma mesma **definicao** podem haver vários registros no **no\_principal**.*

A tabela **definicao** tem como objetivo registrar os valores aceitáveis para cada perfil de sensor e é composta por treze campos:

- id\_definicao é a chave primária com registros numéricos sequenciais;
  - sensor registra o nome do sensor;
  - valor\_minimo é o menor valor que aquele sensor poderá trabalhar;
  - valor\_maximo é o valor maior que aquele sensor poderá trabalhar; e
  - grandeza é o que o sensor mede;
- \* Repete para os três sensores (sensor, valor mínimo, valor máximo e grandeza). *E, essa tabela não possui chave estrangeira.*

A tabela **atuacao** é a tabela que vai guardar os registros de atividade de atuação sobre o aparelho de ar-condicionado e umidificação, é composta por cinco campos;

- id\_atuacao é a chave primária com registros numéricos sequenciais;
- acao\_desc é campo texto com descritivo da ação;
- acao\_cod vai guardar o código da ação que foi tomada;
- no\_principal\_id é uma chave estrangeira que traz o valor da chave primária da tabela **no\_principal**. *Essa ligação tem cardinalidade 1 para n, ou seja, para o mesmo registro no **no\_principal** podem acontecer vários registros na tabela **atuacao**.*
- no\_sensor\_id é a chave estrangeira com que traz o valor da chave primária da tabela **no\_sensor**. *Essa ligação tem cardinalidade 1 para n, ou seja, para o mesmo registro no **no\_sensor** podem acontecer vários registros na*

*tabela **atuacao**.*

A tabela **no\_sensor** é a tabela que registra os valores capturados pelos Nós Sensores da rede (nessa rede existe apenas um equipamento de nó sensor), e é composto por doze campos:

- id\_no\_sensor é a chave primária com registros numéricos sequenciais;
- temp\_ext guarda o valor calibrado do sensor de temperatura conectado ao DK-99,
- temp\_ext\_orig armazena o valor original (sem calibração) do sensor de temperatura conectado ao DK-99;
- umid\_ext guarda o valor calibrado do sensor de umidade conectado ao DK-99,
- umid\_ext\_orig guarda o valor original (sem calibração) do sensor de umidade conectado ao DK-99;
- personas registra o número de pessoas no local;
- rssiu e rssid registra a qualidade do sinal do rádio para upload e download;
- identificador é o campo que grava o numero do nó sensor, o que no caso é 1 (deixar preparado para o crescimento da rede);
- grupo é o campo que grava o grupo que o nó sensor faz parte, o que no caso é 0 (em caso de rede estrela, existem nó coordenadores);
- definição\_id é uma chave estrangeira que traz o valor da chave primária da tabela **definicao**. *Essa conexão com a tabela **definicao** tem cardinalidade 1 para n, ou seja, para uma mesma **definicao** podem haver vários registros no **no\_sensor**;*
- no\_principal\_id é uma chave estrangeira que traz o valor da chave primária da tabela **no\_principal**. *Essa conexão com a tabela **no\_principal** tem cardinalidade 1 para n, ou seja, para o mesmo registro no **no\_principal** podem acontecer vários registros na tabela **atuacao**.*

A tabela **alerta** essa tabela guarda alertas produzidos pelo software (veja item 3.6), e é composto por apenas três campos:

- id\_alerta é a chave primária com registros numéricos sequenciais;
- mensagem é campo texto com descritivo do alerta;
- data\_hora guarda o valor de data e hora agrupados;

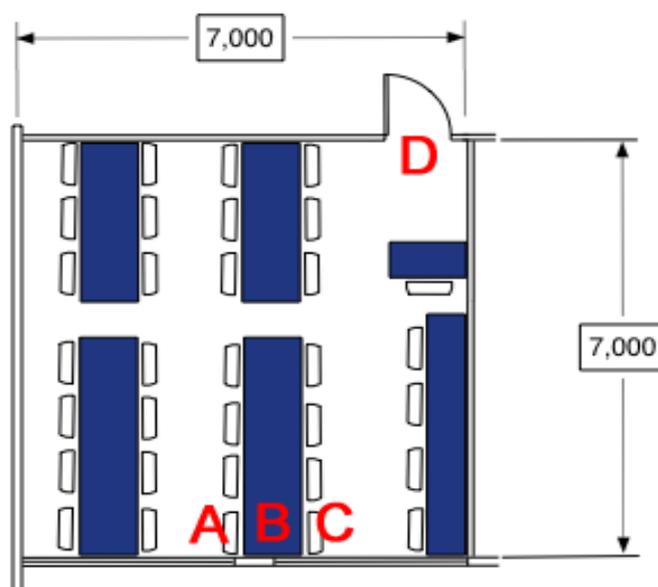
\* *Essa tabela não possui chave estrangeira.*

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterização do Ambiente

O local escolhido para a realização dos testes foi a sala Pró-Aluno que é um laboratório de informática mantido pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEA-RP) situada dentro do campus da Universidade de São Paulo na cidade de Ribeirão Preto. A sala possui 23 computadores e uma impressora conectados em rede, fica aberta de Segunda a Sexta-feira das 7h45 às 22h45 e Sábados das 8h às 15h. Durante o seu funcionamento, um aluno faz a monitoria para orientar os alunos, ou seja, sempre tem pelo menos uma pessoa na sala, podendo chegar à lotação máxima de 33 pessoas, cujas posições podem ser observadas pelas cadeiras na Figura 31. Apenas alunos com matrícula ativa nos cursos de graduação da faculdade podem utilizar os computadores para realização de suas atividades acadêmicas e impressão de trabalhos. Os testes foram devidamente autorizados pelos dirigentes da escola e realizados no período de 13 de Setembro a 26 de Outubro de 2017. O ponto A da Figura 31 representa o aparelho de Ar-condicionado, o ponto B da Figura 31 representa o Nó Principal, o ponto C da Figura 31 representa o aparelho de umidificação e o ponto D da Figura 31 representa o Nó Sensor. Todos visualizados na Figura 32.

Figura 31. Estrutura da Sala Estudada

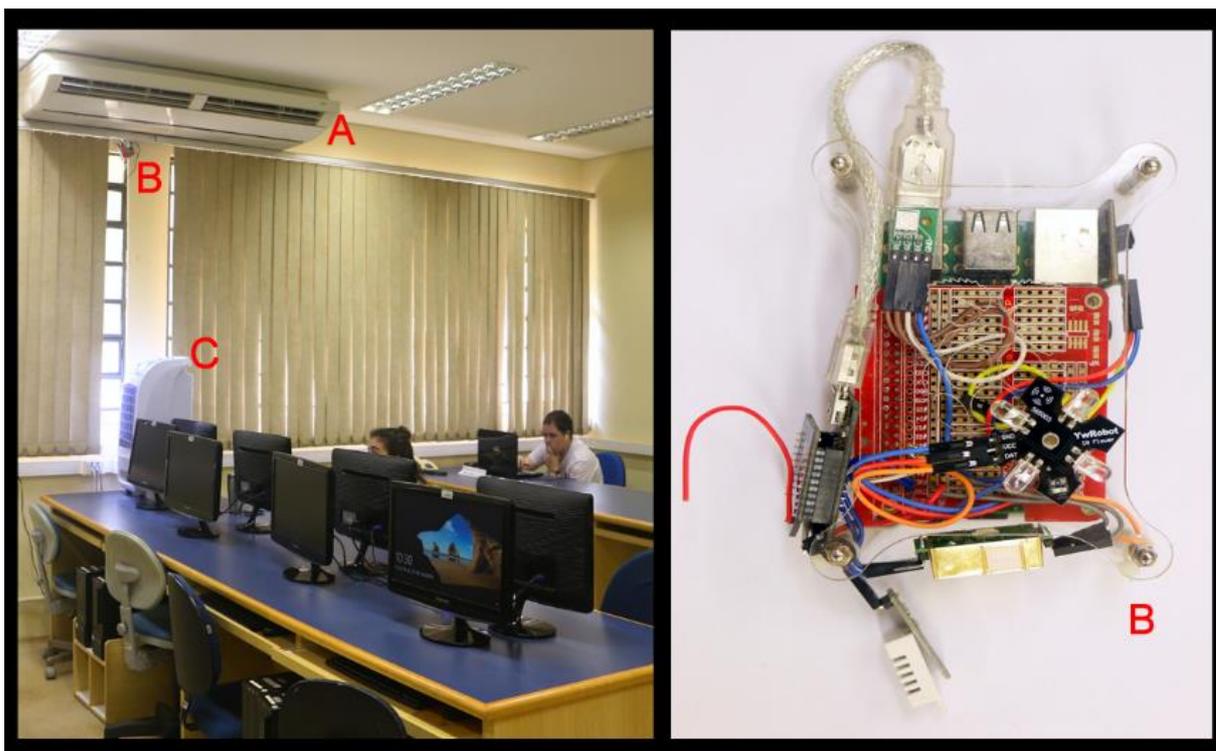


Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

## 4.2 Localização dos Equipamentos

A Figura 32 permite a visualização do local de testes e o resultado da montagem do Nó Principal.

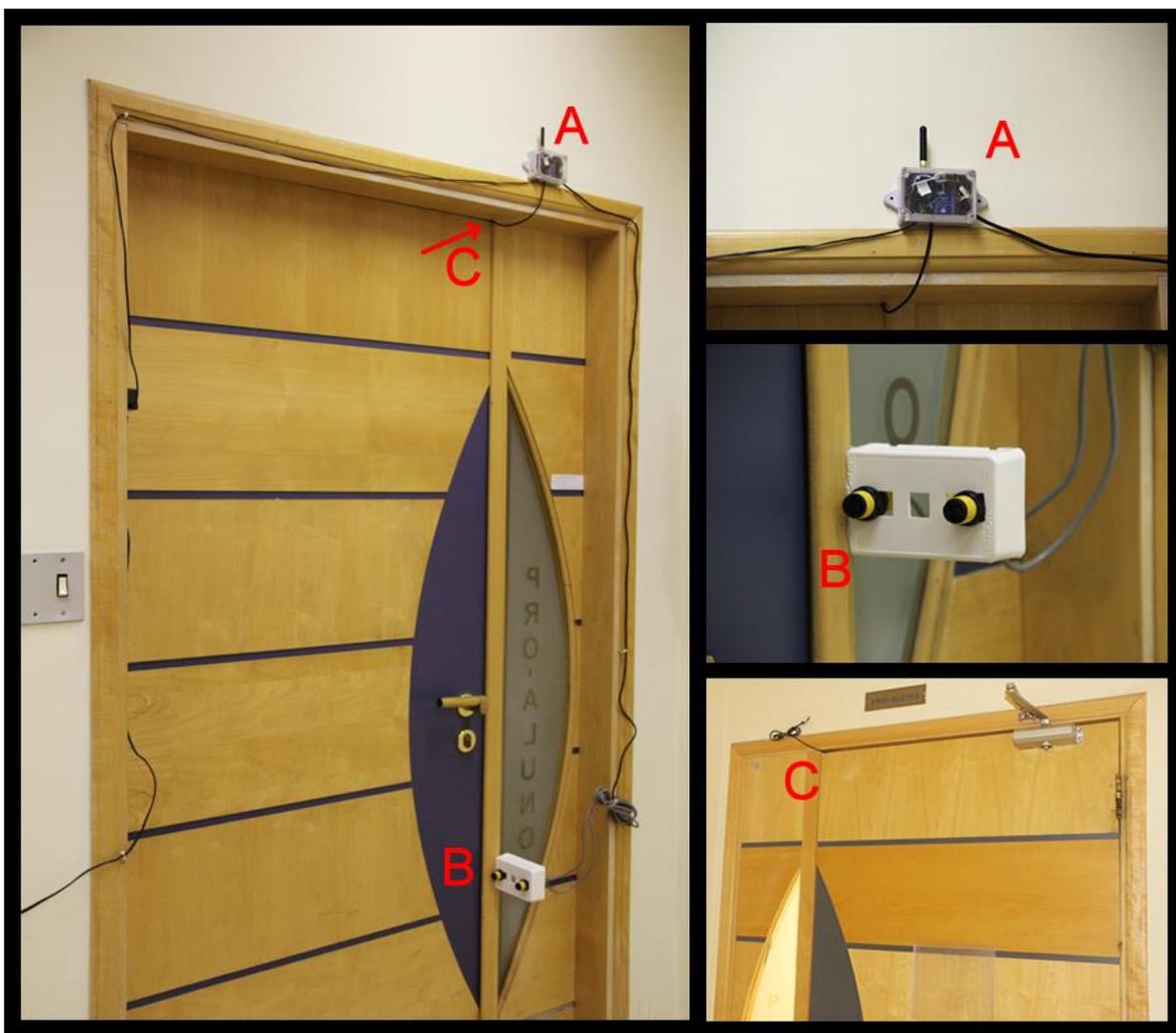
Figura 32. Disposição dos equipamentos no Laboratório



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Os dispositivos citados no item 3.5 foram distribuídos no laboratório conforme visto em A da Figura 31 e, em A da Figura 32, que representam o aparelho de Ar-condicionado afixado no teto da sala; em B na Figura 31 e, em B da Figura 32, logo abaixo do Ar-condicionado fica o Nó Principal afixado na parede entre as janelas; visto em C na Figura 31 e, em C na Figura 32 sob a mesa fica o aparelho de Umidificador. Enquanto, do outro lado da sala está o Nó Sensor, representado em D na Figura 31 e, em A na Figura 33.

Figura 33. Disposição do Nó Sensor no Laboratório



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Destaca-se em B na Figura 33 a disposição dos sensores, já que o Sensor de Barreira foi afixado no batente da porta em uma caixinha de plástico, onde o sensor mais próximo da porta detecta a entrada na sala e o outro a saída. O sensor DHT22 de temperatura e umidade, para fazer leituras do ambiente externo e compara-los com as medidas internas e, foi afixado do lado de fora da sala e pode ser observado em C na Figura 33. O Sensor de Barreira possui duas leituras, quando a pessoa entra o sensor mais próximo da porta detecta e quando a pessoa chega no segundo sensor os dois ficam acionados e o sistema registra uma entrada. A forma inversa registra a saída.

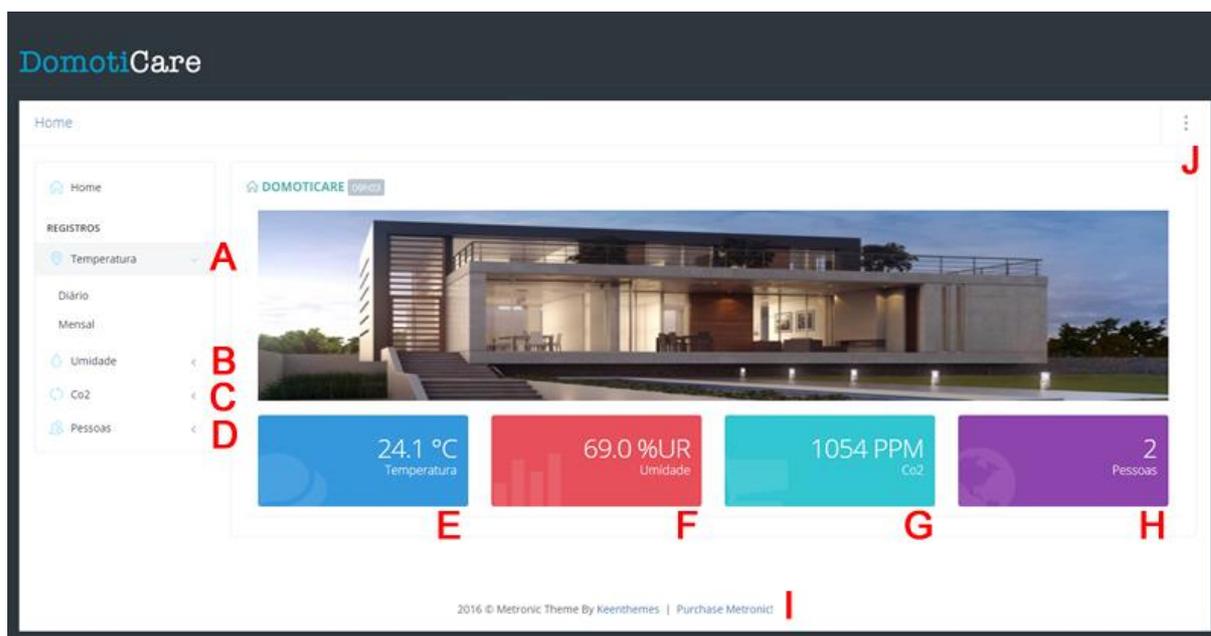
### 4.3 Apresentação dos Resultados

Como um dos objetivos é o desenvolvimento de um Portal Web como software de interface para o usuário que permita uma boa usabilidade, nessa seção serão descritas as telas que foram criadas e suas funções.

#### 4.3.1 Página Home

A página Home é a primeira tela que o usuário terá acesso, pode ser vista na Figura 34 e, todas as suas funcionalidades descritas a seguir.

Figura 34. Página Home da Interface Web



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Na página Home da Figura 34 é possível visualizar os seguintes itens:

- Registros das grandezas e pessoas coletadas a cada 5 minutos;
  - Temperatura (últimas 24 horas e últimos 30 dias) em A na Figura 34;
  - Umidade (últimas 24 horas e últimos 30 dias) em B na Figura 34;
  - CO2 (últimas 24 horas e últimos 30 dias) em C na Figura 34;
  - Pessoas (últimas 24 horas e últimos 30 dias) em D na Figura 34;

- Valores que se encontram as grandezas e pessoas no momento;
  - Temperatura em E na Figura 34;
  - Umidade em F na Figura 34;
  - CO2 em G na Figura 34;
  - Pessoas em H na Figura 34;
- Menu de ajustes em J na Figura 34;
  - Link em I na Figura 34, a licença de uso desse Template (Metronic) exige mantê-lo, caso contrário deverá se fazer a compra no site [keenthemes.com](http://keenthemes.com) que custa U\$ 30.00.

#### 4.3.2 Páginas de Relatórios

O Gráfico 6 foi gerado no dia 22/09/2017 às 11h44 e mostra os resultados dos sensores interno e externo de umidade nas últimas 24 horas.

Gráfico 6. Página dos gráficos exibidos na página de relatórios da Interface Web



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

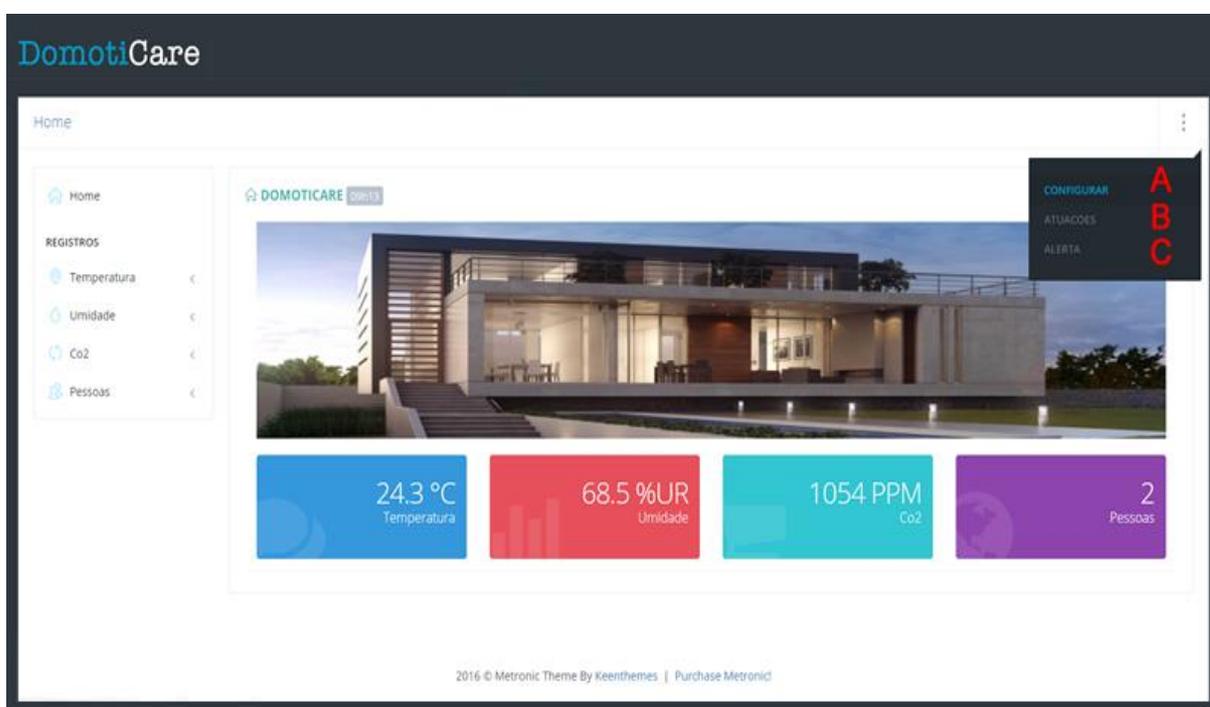
O Gráfico 6 exemplifica como são os relatórios do menu à esquerda da Figura 34. Nessa Página podem ser observados os índices da Umidade Relativa(%UR) do

ar no sensor interno da cor laranja e externo da cor amarela. Os outros relatórios são semelhantes, o que muda são as grandezas.

#### 4.3.3 Menu Administrativo

Esse item descreve a interface visual administrativa do sistema web para a navegação do usuário e suas funcionalidades, observado na Figura 35.

Figura 35. Menu Administrativo



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

A página Home em J da Figura 34 permite acesso ao Menu Administrativo, localizado a direita, abre a janela observada na Figura 35 que submete aos seguintes itens:

- A. Configurar: Permite efetuar a Configuração dos Sensores conforme gosto pessoal do usuário (Figura 36);

- B. Atuações: Permite visualizar todas as Atuações que foram realizadas pelo sistema, (Figura 37). Possui também um menu para realizar Atuações de forma manual na Figura 38;
- C. Alertas: Exibe alertas pré-configurados pelo sistema conforme o Capítulo 3.6 (Figura 39).

Figura 36. Página de Configuração

Dispositivo	Sensor1	Valor Min	Valor Max	Unidade	Sensor2	Valor Min	Valor Max	Unidade	Sensor3	Valor Min	Valor Max	Unidade
No_Principal	Temperatura	22.0	26.0	°C	Umidade	40.0	60.0	%UR	Co2	400.0	1200.0	PPM
No_Sensor1	Temperatura	0.0	100.0	°C	Umidade	0.0	100.0	%UR				

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

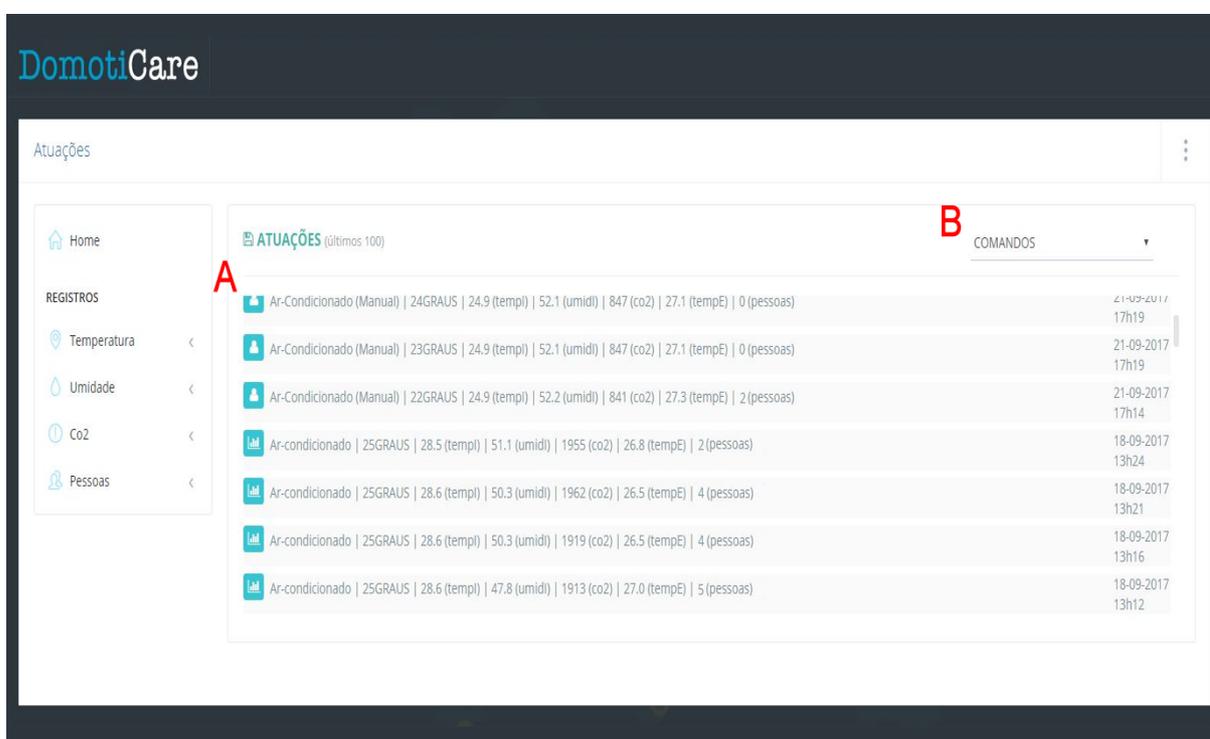
A página Configuração, permite ajustar os parâmetros dos sensores a critério do usuário do sistema, mas para chegar nessa página deve-se clicar em configurar que pode ser observada em A na Figura 35 que submete aos seguintes itens:

- Configurar Sensor de Temperatura, visto em A na Figura 36, permite digitar o valor de Temperatura mínima de graus e em B na Figura 36 o valor de Temperatura máxima;
- Configurar Sensor de Umidade, visto em C na Figura 36, permite alterar a Umidade mínima e em D na Figura 36 a Umidade máxima;
- Configurar Sensor de Gás (CO2), visto em E na Figura 36, permite modificar a concentração mínima e em F na Figura 36 a Concentração máxima;

- Dispositivo, escolher o Nó que se deseja modificar os parâmetros, visto em G na Figura 36;
- Parâmetros na posição H da Figura 36 apresenta a configuração atual, ou seja, o sistema vem configurado com as normas conforme descrito no Capítulo 1, entretanto o usuário pode defini-la de outra forma.

A página de acompanhamento das atuações pode ser vista na Figura 37 e são descritos os seus itens a seguir.

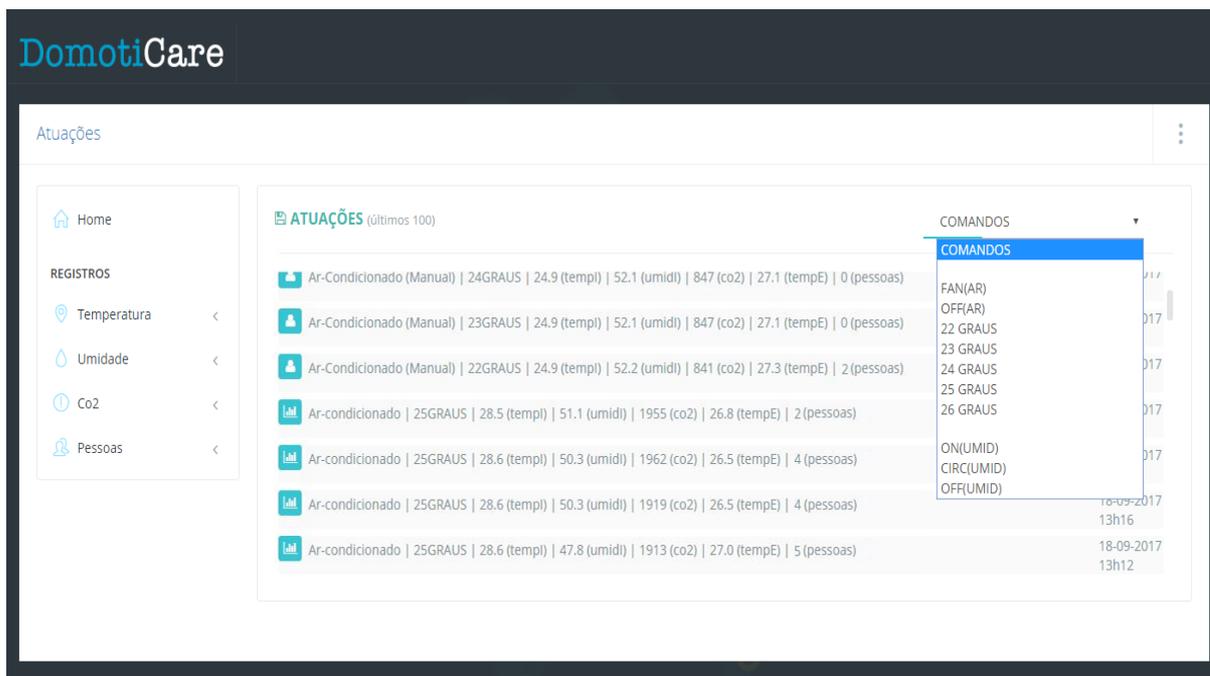
Figura 37. Página de Atuação



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

- Atuações: Exibe os últimos 100 comandos enviados para os aparelhos da sala, parâmetros apresentados no momento do comando e a data e hora, visto em A na Figura 37;
- Comandos Manuais: Pela posição B da Figura 37 pode-se abrir uma janela com comandos que podem ser enviados de forma manual aos aparelhos, também visto na Figura 38.

Figura 38. Envio de Comandos Manuais

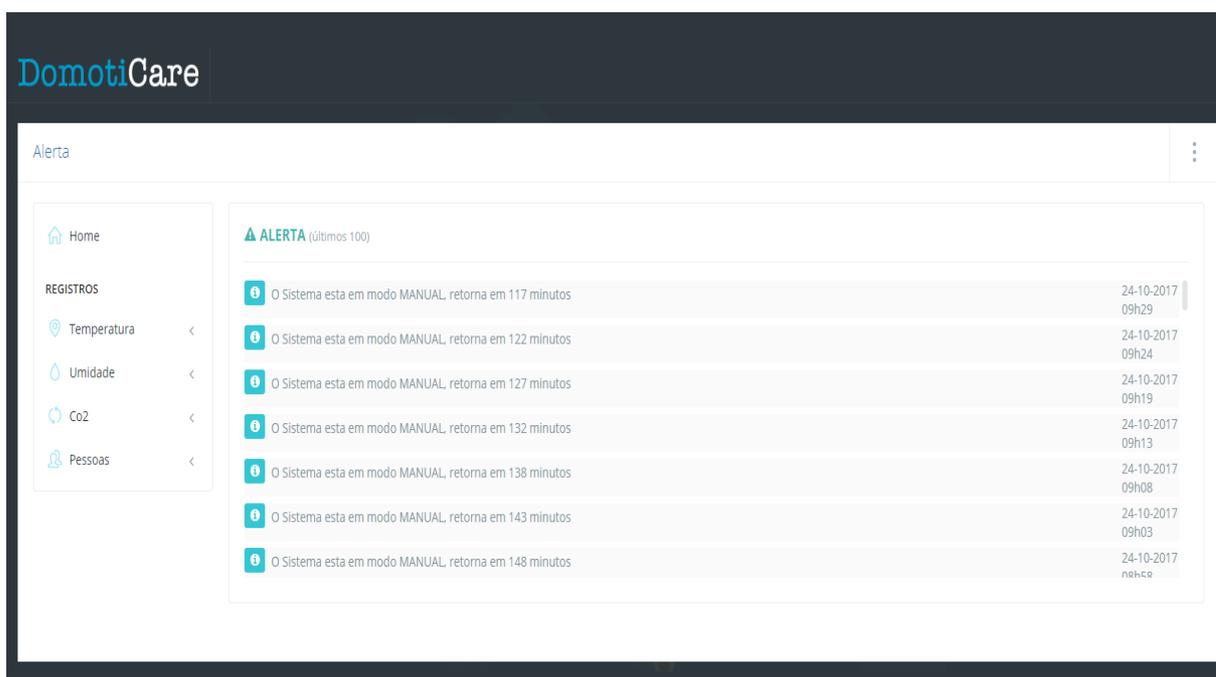


Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

O menu de Comandos da Figura 38 permite desde ligar o FAN sem refrigeração, como escolher a Temperatura desejada e até desligar o ar-condicionado. Os três últimos comandos do menu, permitem ligar, desligar ou circular o ar no Umidificador.

A página de Alertas da Figura 39 exibe os últimos 100 alertas gravados no Banco de Dados. Essa página serve para observação do usuário sobre alguma anomalia que esteja acontecendo com os sensores, transceptor ou apenas entender que o sistema está operando em modo manual.

Figura 39. Página de Alertas



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

#### 4.4 Análise dos Resultados

Esta seção apresenta gráficos de um dia de atuação do sistema DomotiCare. Foi escolhido o dia 20 de Outubro de 2017, pois nesse dia aconteceram problemas que não ocorreram em outros dias. Isso servirá de ilustração para comprovar as dificuldades encontradas no desenvolvimento desse projeto. A configuração utilizada para os sensores foram 22 a 26°C, 40 a 60%UR e 400 a 1.100PPM.

Na Tabela 11 são exibidos os dados das Atuações e Alertas do sistema que foram gravados no Banco de Dados. Observa-se nas duas primeiras linhas, nas horas 08:00:01 e 08:05:12 o sistema gravou no Banco de Dados da tabela Alerta: “Sensor Barreira não detectou pessoas, sistema mantém equipamentos desligados!”. Quer dizer que o sistema estava mantendo os equipamentos de Ar-condicionado e Umidificação desligados por não detectar pessoas pelo Sensor de Barreira.

Tabela 11. Atuações e Alertas registrados no dia 20/10/2017

hora	temp_int	umid_int	dioxido	temp_ext	umid_ext	pessoas	rssiu	rssid	atuacao/alerta
08:00:01	25,2	54,9	400	25,5	45,9	0	63,5	62	Alerta: Sensor de Barreira não detectou pessoas, sistema mantém equipamentos desligados!
08:05:12	25,2	54,9	400	25,4	46,5	0	62,5	61,5	Alerta: Sensor de Barreira não detectou pessoas, sistema mantém equipamentos desligados!
08:10:27 (A)	22,7	53,9	524	25,4	46,3	2	62	61	<b>Intervenção humana: Aluno achou o controle remoto e acionou 21 graus.</b>
08:52:00 (B)	21,4	56,3	1024	25,4	48,7	2	62	61	<b>Intervenção humana: As janelas da sala foram abertas!</b>
09:12:42 (C)	21,5	56,8	611	25,4	48,3	1	62	61	<b>Ar-condicionado é desligado pelo pesquisador via controle remoto.</b>
09:33:27 (D)	<b>27</b>	47,7	400	25,6	45,6	7	61,5	60	Atuação: Ar-condicionado 23 graus (passo 6.2)
11:29:35 (E)	24	45	0	26,5	32,1	0	61	60	Alerta: Sistema foi iniciado! Alerta: O sensor de Dióxido de Carbono pode estar com problemas!
13:17:55 (F)	22,7	<b>39,5</b>	404	27,9	22,7	9	62	61	Atuação: Ligar Umidificador (passo 7.1)
13:23:08 (G)	23,5	44,9	400	28,3	<b>19,1</b>	10	61	60	Alerta: O Sensor Umidade do No_Sensor1 apresenta valores críticos!
15:58:34 (H)	24,3	<b>61,3</b>	633	27,2	38,8	1	65	63,5	Atuação: Desligar Umidificador (passo 7.2)
17:52:07 (I)	22,8	49,7	604	27,4	35,5	9	66	65	Intervenção humana: As janelas da sala foram fechadas!
18:49:07 (J)	22,4	<b>39,5</b>	<b>1135</b>	27,1	34,5	8	74	73,5	Atuação: Ligar Umidificador (passo 7.1) Atuação: Ligar FAN do Ar-condicionado (passo 8.1) Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
18:54:23	22,9	56,8	<b>1205</b>	26,8	34,1	7	69	67	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
18:59:39	23,8	61,5	<b>1231</b>	26,7	37,7	4	67	65	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:04:49	24,6	61,5	<b>1242</b>	26,7	36,8	5	64	61,5	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:09:59 (K)	24,6	<b>61,4</b>	<b>1259</b>	26,7	37,2	3	66,5	64,5	Atuação: Desligar Umidificador (passo 7.2) Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:15:12	25	61	<b>1272</b>	26,9	35,3	3	66	65	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:20:22	25	61	<b>1293</b>	26,9	35,7	2	64	62	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:25:32	25,5	57,8	<b>1268</b>	27,1	34,3	4	65,5	64	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:30:46	25,5	57,6	<b>1277</b>	27	33,9	4	66	64	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:36:37	25,9	56,9	<b>1298</b>	27,1	31,2	6	61,5	61	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:42:03	25,9	56,9	<b>1332</b>	26,9	33,5	8	66	64,5	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:47:49	26	56,5	<b>1402</b>	26,8	33,7	8	64	62	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:53:02 (L)	<b>26,2</b>	56,5	<b>1412</b>	27	33,1	8	66	65	Atuação: Ar-condicionado 23 graus (passo 6.2) Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
19:58:13	24,4	53,7	<b>1426</b>	27	32,3	10	64,5	63	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
20:03:22	24,4	53,7	<b>1488</b>	26,9	33,1	8	65	63,5	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
20:08:32	22,8	44,5	<b>1512</b>	26,9	33,5	8	64	63	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
20:13:42 (M)	22,8	<b>39,8</b>	<b>1547</b>	26,9	33,7	8	64	62	Atuação: Ligar Umidificador (passo 7.1) Atuação: Ligar FAN do Ar-condicionado (passo 8.1) Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!

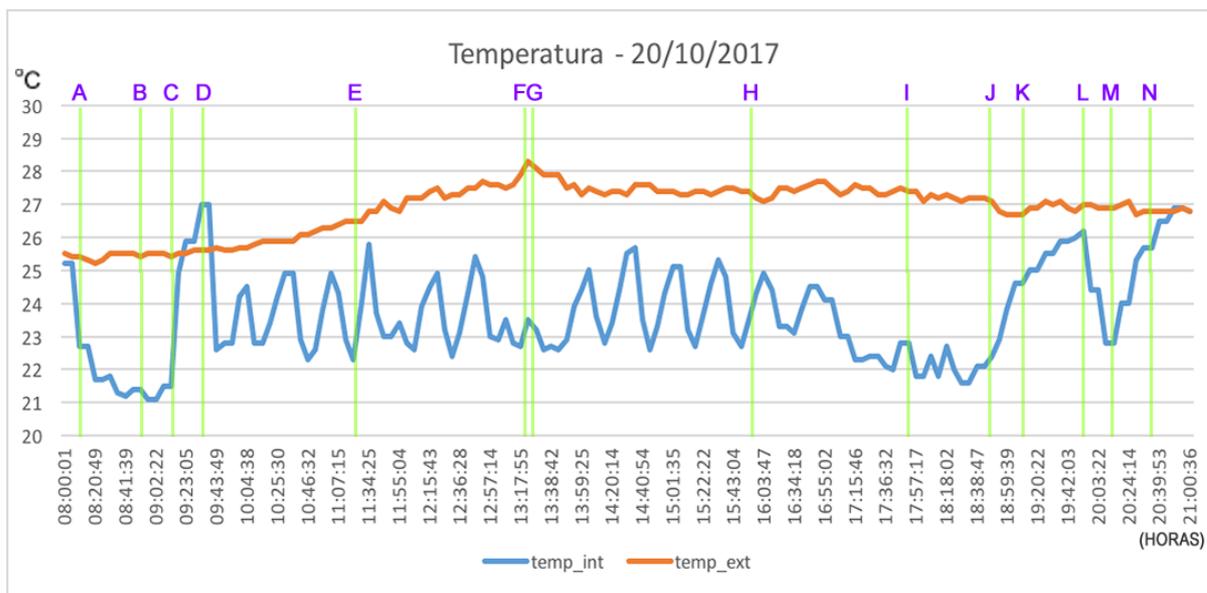
20:19:02	24	64,8	<b>1558</b>	27	34,3	6	62	61,5	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
20:24:14	24	64,8	<b>1579</b>	27,1	34,5	3	63,5	62,5	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
20:29:24	25,3	62,9	<b>1478</b>	26,7	35,3	3	65	64	Alerta: O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!
20:34:39 (N)	25,7	61,1	<b>1477</b>	26,8	35,9	<b>0</b>	63,5	64	Atuação: Desliga Ar-condicionado (passo 9) Atuação: Desligar Umidificador (passo 9) Alerta: Sensor Barreira não detectou pessoas, sistema mantém equipamentos desligados!
20:39:53	26,5	53,9	1072	26,8	37	<b>0</b>	63,5	61	Alerta: Sensor de Barreira não detectou pessoas, equipamentos desligados!
20:45:04	26,5	54	1143	26,8	37	<b>0</b>	63,5	62	Alerta: Sensor de Barreira não detectou pessoas, equipamentos desligados!
20:50:15	26,9	52,1	1137	26,8	37,3	<b>0</b>	64	62	Alerta: Sensor de Barreira não detectou pessoas, equipamentos desligados!
20:55:26	26,9	52,1	1163	26,9	37,2	<b>0</b>	64	62	Alerta: Sensor de Barreira não detectou pessoas, equipamentos desligados!
21:00:36	26,8	52,5	1165	26,8	37,7	<b>0</b>	63,5	62	Alerta: Sensor de Barreira não detectou pessoas, equipamentos desligados!

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Uma pesquisa de campo sempre apresenta risco, ou seja, não se pode controlar tudo o que se quer. Um aluno conseguiu um controle remoto semelhante e ligou o ar-condicionado, achando que este seria o comportamento adequado. Outra aluna desligou o aparelho de umidificador para ligar o celular para carregar, achando que o aparelho não estava em uso. E, outros alunos que resolvem conversar em frente ao Sensor de Barreira, atrapalhando a contagem de pessoas. Com relação ao evento em que o aluno ligou o ar-condicionado, apertando 21 graus no controle às 08:10:27, ele foi percebido pelo pesquisador às 09:12:42, que desligou o aparelho e deixou o sistema ligar e assumir o controle do ambiente pelos parâmetros previamente estabelecidos.

Esse fato produziu impacto percebido no ponto A do Gráfico 7 reduzindo a temperatura. O sistema volta a atuar automaticamente quando a temperatura sobe a 27°C às 09:33:27 observado no ponto D acionando o aparelho de ar-condicionado a 23°C e permanecendo assim até as 18:49:07 no ponto J, no Gráfico 7.

Gráfico 7. Temperatura interna e externa da sala no dia 20/10/2017



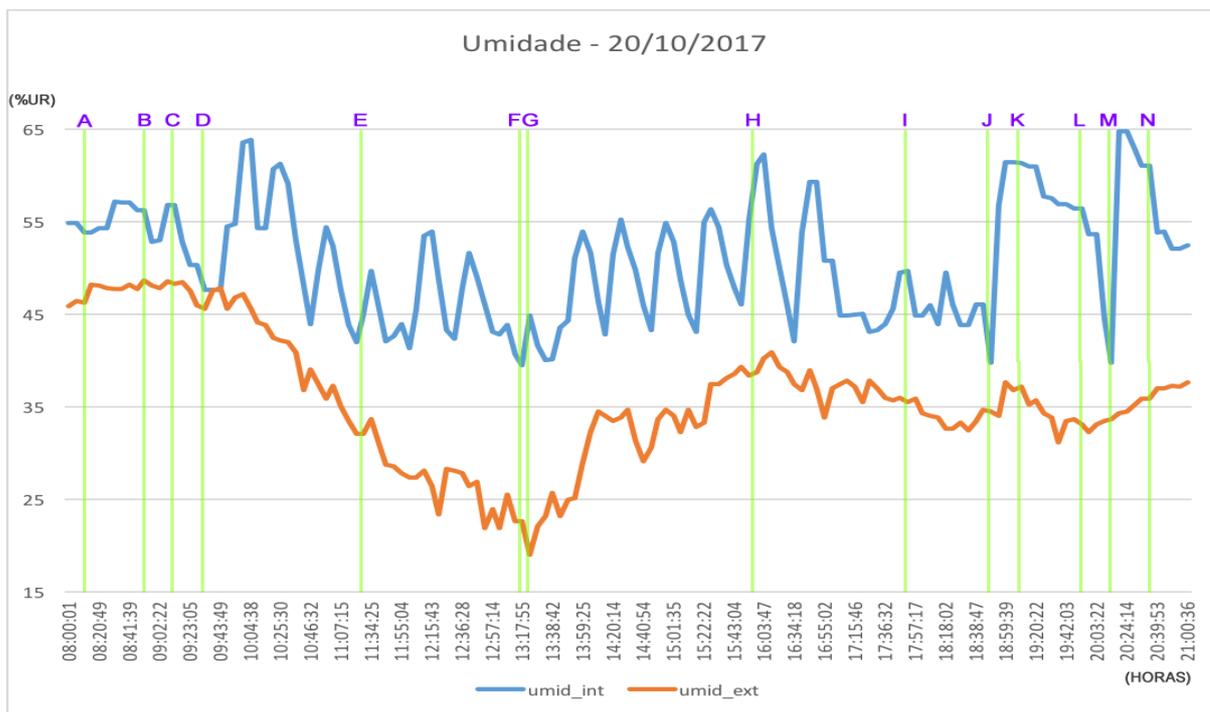
Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Um segundo problema aconteceu entre às 11:17:39 às 11:29:35, uma provável queda de energia repentina, reiniciou o Nó Principal e o Nó Sensor, sendo que o Nó Principal subiu o Sistema Operacional Raspbian, mas não conseguiu executar o script, sendo necessário uma nova reinicialização do sistema às 11:29:35 no ponto E nota-se.

A partir daí o sistema conseguiu voltar em atividade, sendo gravado no Banco de Dados da tabela Alerta: “O sensor de Dióxido de Carbono pode estar com problemas!”. Nesse caso não é um problema, pois o sensor de gás demora cinco minutos para se restabelecer, o problema sim foi registrado no Nó Sensor, pois ele perdeu a contagem das pessoas, sendo necessário o pesquisador acionar os sensores de barreira até o mesmo contar todas as pessoas que haviam na sala.

As 13:17:55 o percentual de Umidade Relativa do Ar interna caiu para 39,5%, o sistema DomotiCare acionou o aparelho de Umidificador e gravou no Banco de Dados na tabela de Atuação: “Ligar Umidificador (passo 7.1)”. As 13:23:08 o percentual de Umidade Relativa do Ar agora externa caiu para 19,1% e gravou no Banco de Dados na tabela Alerta: “O Sensor Umidade do No\_Sensor1 apresenta valores críticos!”. Nesse caso não gera Atuação pelo sistema. Ambos os casos podem ser observados em F e G do Gráfico 8.

Gráfico 8. Umidade interna e externa da sala no dia 20/10/2017



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

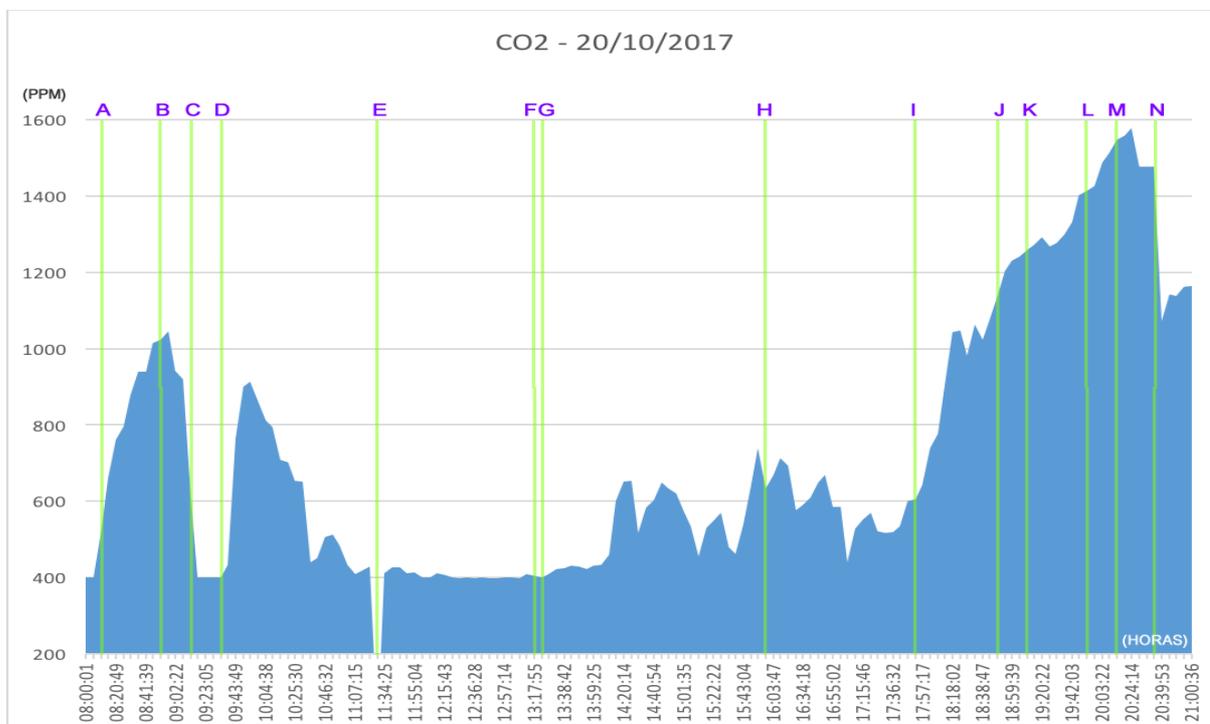
O sistema às 15:58:34 registrou que os o percentual de Umidade Relativa do Ar interna subiu caiu para 61,3% um índice aceitável, enviou um comando para o aparelho de Umidificador desligando-o e gravou no Banco de Dados na tabela de Atuação: “Desligar Umidificador (passo 7.2)”. Observa-se em H no Gráfico 8 a elevação do gráfico.

Um terceiro problema foi encontrado com o aparelho de Umidificador. Seu botão de Ligar e Desligar é a mesma codificação em Infravermelho, ou seja, tem que saber o estado que se encontra o aparelho de umidificação, caso contrário, pode se estar fazendo o inverso que se queira, desligando ao invés de ligar e vice-versa. O pesquisador precisou ficar atento ao estado que se encontrava o aparelho durante os testes. Sempre observando a tela de Atuações para saber se os comandos condizem com o estado atual do aparelho.

Foi realizada uma experiência às 08:52:00, as janelas da sala foram abertas, com o objetivo de entender se as concentrações elevadas de Dióxido de Carbono dos dias anteriores eram reais. Nota-se em B no Gráfico 9 que aconteceu uma forte queda no índice. As condições da sala voltaram ao normal, ou seja, as janelas foram

fechadas às 17:52:07. Nota-se que a partir do ponto I no Gráfico 9 uma curva ascendente dispara e encosta nas 1600PPM.

Gráfico 9. Dióxido de Carbono(CO2) interno da sala no dia 20/10/2017



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

O sistema faz o que foi programado para tentar uma dispersão do gás e às 18:49:07, dispara um comando para o aparelho de Ar-condicionado ligar o FAN em máxima velocidade sem refrigerar, esperando normalizar os índices. Também acontece a gravação no Banco de Dados da tabela Atuação: “Ligar FAN do Ar-condicionado (passo 8.1)”, e na tabela Alerta: “O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!”. Acontece também uma queda da umidade do ar, o sistema dispara um comando para ligar o Umidificador, grava na tabela Atuação: “Ligar Umidificador (passo 7.1)”. Ambos podem ser observados no ponto J no Gráfico 9 e no ponto J no Gráfico 8.

Nas próximas três verificações do sistema (18:54:23, 18:59:39 e 19:04:49) os índices de Dióxido de Carbono continuam aumentando, faz a gravação na tabela Alerta: “O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!”.

As 19:09:59 o sistema consegue melhores índices de umidade 61,4%, envia um comando para o aparelho de Umidificador desligando-o e salvando no Banco de

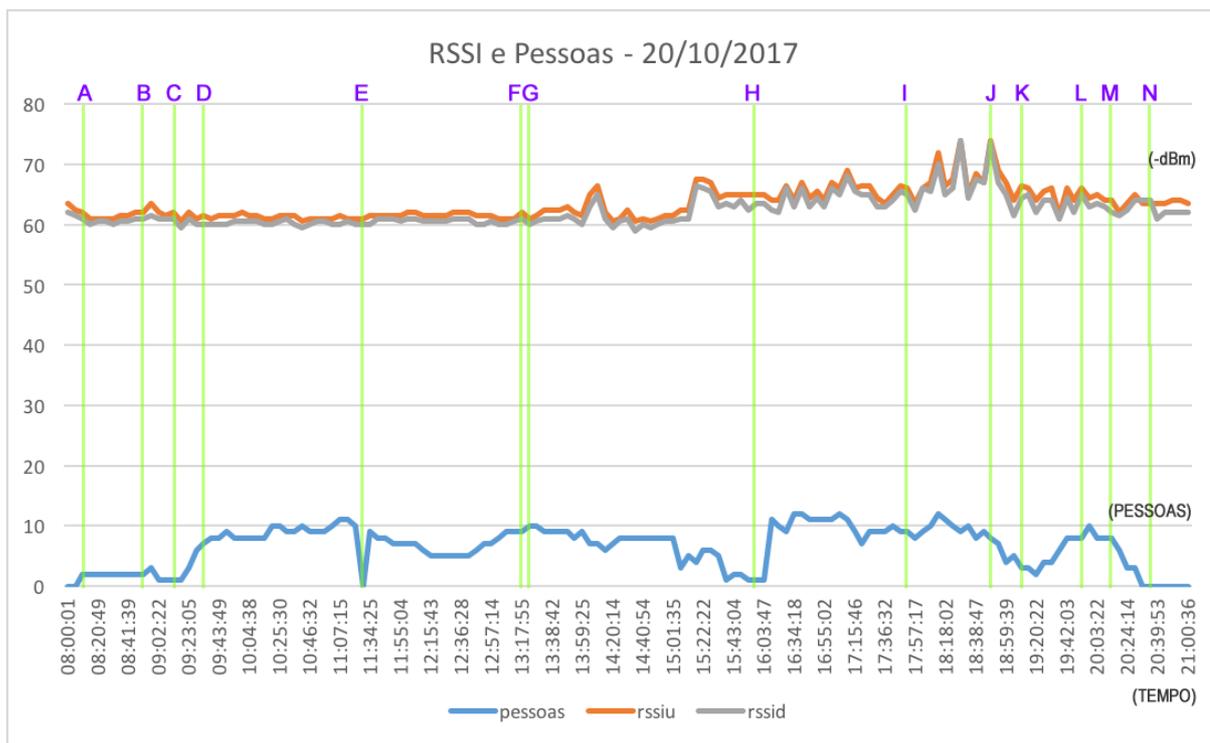
Dados na tabela de Atuação: “Desligar Umidificador (passo 7.2)”. Observa-se no ponto K no Gráfico 8 a elevação do gráfico. Desse ponto em diante o sistema registra problemas com o índice de Dióxido de Carbono visto no ponto K no Gráfico 9 e, faz a gravação na tabela Alerta: “O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!”. Exceto às 20:39:53 onde foi registrado 1072PPM não ultrapassando os 1100PPM.

O sistema detecta aumento da temperatura e dispara às 19:53:02 (ponto L no Gráfico 7) um comando para o Ar-Condicionado e grava na tabela Atuação: “Ar-condicionado 23 graus (passo 6.2)”.

Às 18:49:07 novamente o sistema tenta a dispersão do gás, dispara um comando para o aparelho de Ar-condicionado ligar o FAN em máxima velocidade sem refrigerar esperando normalizar os índices. Também acontece a gravação no Banco de Dados da tabela Atuação: “Ligar FAN do Ar-condicionado (passo 8.1)”, e na tabela Alerta: “O Sensor Dióxido de Carbono apresenta valores críticos!”. Nota-se no ponto M no Gráfico 9. Também ocorreu a correção da umidade, o sistema dispara um comando para ligar o Umidificador, grava na tabela Atuação: “Ligar Umidificador (passo 7.1)”. Ambos podem ser observados em M no Gráfico 8.

Essa sexta-feira a sala fechou às 20:34:39 observado em N no Gráfico 10. O sistema disparou comando para desligar o Ar-Condicionado gravando o texto na tabela Atuação: “Desliga Ar-condicionado (passo 9)”. E, disparou comando para desligar o Umidificador gravando: “Desligar Umidificador (passo 9)”. Nesse ponto em diante o sistema gravou na tabela Alerta: “Sensor de Barreira não detectou pessoas, equipamentos desligados!”.

Gráfico 10. RSSI e Pessoas da sala no dia 20/10/2017

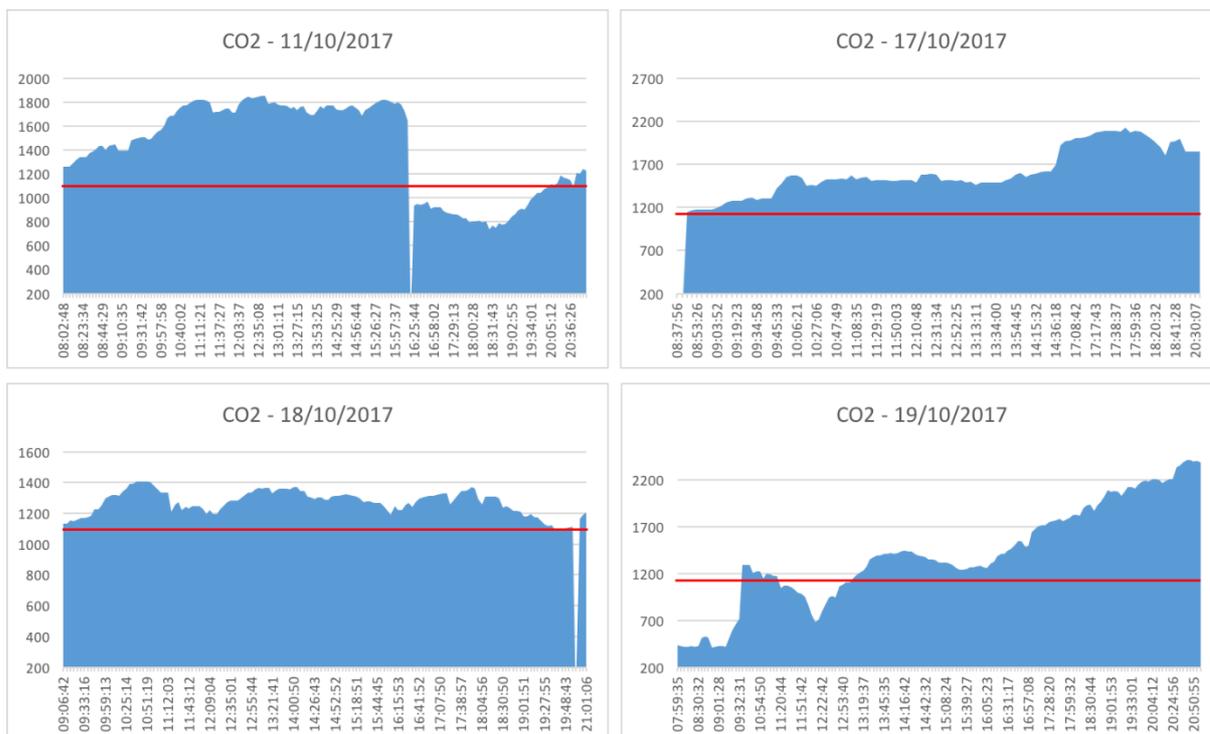


Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

Os níveis de upload e download do RSSI ficaram entre -60dBm e alguns picos de -74dBm, nada que possa gerar preocupação. Os valores foram gravados no banco de dados e exibidos em escala positiva para facilitar a exibição.

Os testes com relação a abertura das janelas foram para analisar o impacto que poderia gerar, uma vez que os índices de outros dias, observados no Gráfico 11, apresentaram valores acima do limite adequados, conforme mencionado no Capítulo 1.

Gráfico 11. CO2 da sala nos dias 11, 17, 18 e 19/10/2017



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

O Analisador portátil de Dióxido de Carbono foi construído para se obter uma segunda opinião, ou seja, uma forma de comprovar se os índices estavam condizentes com os capturados pelo Nó Principal. A Figura 40 mostra os valores que permitem afirmar que as leituras se aproximaram. Como a leitura do Nó Principal é feita a cada 5 minutos, e o Analisador portátil faz imediatamente, é observado um erro de certa de 5%, entre as duas medições.

Figura 40. Comparativo da leitura do Dióxido de Carbono



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 Contribuições

O projeto foi desenvolvido com placas e sensores de baixo custo, conforme descrito no capítulo 3.5.4 a um custo final de R\$ 595,00. É um custo baixo se comparado aos benefícios, pois é possível se obter economia de energia, uma vez que os alunos de forma manual acionam 21°C quando não menos. Sabe-se que não é necessária temperatura tão baixa, sendo assim o sistema manteria dentro de uma faixa mais alta, o que representa menor esforço do motor do equipamento e conseqüentemente sugere-se economia de energia. Pode-se obter maiores vantagens, para situações onde se intercalam as aulas quando muitas vezes se deixa a aparelho de Ar-condicionado ligado sem ninguém na sala. Nesse caso o sensor de barreira estaria em zero e o sistema desligaria o aparelho, conforme observado na posição N do Gráfico 10.

No que diz respeito a atuação no percentual da Umidade Relativa do Ar, foi um ganho de extrema importância para a sala. É possível observar em F a H, J a K e M a N do Gráfico 8, que em todos os casos os índices saltaram de aproximadamente 40 a 60%. A novidade foi muito bem-vinda pelos alunos que frequentam a sala, que até avisavam quando a água acabava no recipiente do aparelho de Umidificador.

O modelo do Umidificador da Philco apresenta o problema dos códigos iguais para ligar e desligar, seria necessário analisar outras opções de mercado, talvez seja necessário incrementar um relé na tomada do equipamento, e no momento de desligamento se desarme o relé para se ter certeza que ele esteja desligado.

Com relação ao problema de pico de energia que o sensor de barreira perdeu a contagem, é possível acrescentar um módulo de alimentação por bateria para ambos dispositivos, aumentando um pouco o custo final do projeto. O Nó Sensor possui uma memória ROM de 255 bytes, o problema é que o número de escritas está limitado a 100.000 ciclos, algo em torno de meses ou talvez um ano teria que descartar o Nó Sensor, tornando a solução inviável (ARDUINO, 2017).

O sensor de gás apesar de baixo custo, demonstrou um funcionamento adequado dentro das concentrações obtidas na sala que foram até 2000PPM. Pode-se afirmar que o desligamento da refrigeração e ligação do FAN em velocidade

máxima não resultou no espalhamento do gás, observando o Gráfico 11. A abertura das janelas prova que é necessário a troca do ar interno por externo, prova a importância da instalação de um exaustor em todas as salas de aula.

Conclui-se que o projeto DomotiCare após os testes realizados, provou ser operacional e demonstrou confiabilidade na atuação das variáveis ambientais da sala, apesar das dificuldades supracitadas, os resultados foram promissores.

## **5.2 Proposta para Trabalhos Futuros**

Pode-se investir em uma análise futura sobre a concentração do Dióxido de Carbono em salas de aula e o quanto isso influencia no desempenho dos alunos, uma vez que foram constatadas concentrações elevadas em todos os dias de coleta.

Melhorias no projeto, como as citadas na Seção 5.1, no que diz respeito ao relé do Umificador e módulo de baterias para o Nó Principal e Nó Sensor. Infelizmente a questão da exaustão se faz necessária, mas envolve mudança na infraestrutura, o que na maioria dos casos fica complicado, no entanto, escolas onde suas salas são feitas de divisória, é possível implementar um exaustor sem maiores investimentos.

Adequar o Nó Principal para atender uma residência toda, se utilizando de vários Nós Sensores, realizando coletas diversas, desde a parte das variáveis ambientais até questões de segurança predial.

Tornar o monitoramento de pessoas mais eficiente e personalizar o sistema identificando quem entrou na sala, substituindo o sensor de barreira por leitura via imagens de uma câmera para contagem de pessoas, utilizando a biblioteca OpenCV. Esse sistema pode fazer a identificação das pessoas sem a necessidade de fixação na parte de baixo da porta como o sensor de barreira, no entanto a localização deve ser em local estratégico, onde a câmera possa captar o rosto das pessoas. O custo de uma câmera para Raspberry é cerca de R\$ 20,00, nada que impacte o objetivo de baixo custo do projeto (BRADSKI, 2008).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO, Store Home - Arduino Uno Rev3. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – “Instalações de ar condicionado – Parte 3: qualidade de ar interior”. ABNT NBR ISO 16401-3:2008

BARDWELL, Joe. Converting Signal Strength Percent. WildPackets, 2002.

BARROS, Daniel. Determinação da Taxa de Ocupação de Ambientes Internos Fechados em Função da Potência de Sinal Recebido em Redes de Sensores Sem Fio. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2014.

BOLZANI, Caio Augustus Morais. **Análise de Arquiteturas e Desenvolvimento de uma Plataforma para Residências Inteligentes**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BORGES, Luiz E. Python para Desenvolvedores–2ª edição. **Edição do autor, Rio de Janeiro**, 2010.

BRADSKI, Gary; KAEHLER, Adrian. **Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library**. " O'Reilly Media, Inc.", 2008.

BRANQUINHO, O C. Plataforma Radiuino para Estudos de Rede de Sensores Sem Fio. Disponível em: <<http://radiuino.cc/>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. Parâmetros de Qualidade do ar em Interiores.

BRASINDOOR – Associação Brasileira de Meio Ambiente e Controle da Qualidade do Ar de Interiores. Disponível em: <<http://www.brasindoor.com.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

BUJDEI, Catalin; MORARU, Sorin Aurel. Ensuring comfort in office buildings: designing a KNX monitoring and control system. In: **Intelligent Environments (IE), 2011 7th International Conference on**. IEEE, 2011. p. 222-229.

CRUZ, Ariadne Arrais; LISBOA, Emerson Fausto. Webhome–automação residencial utilizando raspberry pi. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 31, 2014.

DE ALMEIDA, Jeferson et al. Dashboard Smartroom: web das coisas para gerenciamento de salas em um campus universitário. Universidade Federal da Bahia Salvador, Bahia 2015.

DIGI. Find the perfect Digi Xbee solution. Disponível em: <<https://www.digi.com/xbee>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

DLUGOKENCKY, Ed; TANS, Pieter. NOAA/ESRL. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, Available from: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>**, 2017.

DUINOPEAK                      RFBEE                      V1.2.                      Disponível em:  
<<http://duinopeak.com/wiki/index.php?title=RFBee>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

EPA - United States Environmental Protection Agency: Environmental Topics: Indoor Air Quality (IAQ). Disponível em: <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

FÄNGER, Povl Ole. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. **New York: Me Graw Hill**, 1970.

FREESCALE. MaxStream Adopts Freescale ZigBee Wireless Technology. Disponível em:  
<[https://web.archive.org/web/20120316101443/http://www.freescale.com/files/abstract/press\\_release/MAXSTREAM\\_ZIGBEE\\_PR.html](https://web.archive.org/web/20120316101443/http://www.freescale.com/files/abstract/press_release/MAXSTREAM_ZIGBEE_PR.html)>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

FERDOUSH, Sheikh; LI, Xinrong. Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications. **Procedia Computer Science**, v. 34, p. 103-110, 2014.

FUNDAÇÃO RASPBERRY PI. Disponível em: <<http://www.raspberrypi.org/>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

GUBBI, Jayavardhana et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future generation computer systems**, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.

GUO, Philip. Python is now the most popular introductory teaching language at top us universities. **BLOG@ CACM, July**, p. 47, 2014.

IBSP. Instituto Brasileiro para Segurança do Paciente. Disponível em: <<https://www.segurancaadopaciente.com.br/noticia/bomba-de-infusao-inteligente-minimiza-erros-de-administracao-de-medicamentos>> Acesso em: 5 Set 2017.

INSTRUMENTS, Texas. CC1101 Low-power sub-1GHz RF transceiver. **Data Sheet SWRS061G**, v. 16, 2011.

ISO, En. 7730: 2005. **Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**, 2005.

KUBISCH, Erika Leticia et al. Local extinction risk of three species of lizard from Patagonia as a result of global warming. **Canadian Journal of Zoology**, v. 94, n. 1, p. 49-59, 2015.

LABCENTER ELECTRONICS LTD. Software Proteus. Disponível em <<https://www.labcenter.com/buy-vsm/>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

MARQUES, Érika Alves Tavares; DE OLIVEIRA, Lucivânio Jatobá. Mudanças Climáticas e Refugiados Ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 965-984, 2016.

MELNYK, Ihor. MH-Z19 CO2 meter. Disponível em: <[http://ihormelnyk.com/Page/mh-z19\\_co2\\_meter](http://ihormelnyk.com/Page/mh-z19_co2_meter)>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

MIORANDI, Daniele et al. Internet of things: Vision, applications and research challenges. **Ad Hoc Networks**, v. 10, n. 7, p. 1497-1516, 2012.

MONK, Simon. **Raspberry Pi cookbook: Software and hardware problems and solutions**. " O'Reilly Media, Inc.", 2016.

OLIVEIRA, André Henrique et al. APLICAÇÕES DE AUTOMAÇÃO EM IOT-INTERNET OF THINGS. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 10, 2016.

OLIVEIRA, Liader S. et al. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NA REGIÃO SUL DO RS. Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul 2009.

ORACLE CORPORATION. MySQL Database. Disponível em: <<https://www.mysql.com/downloads/>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

PAULA, Erika Capelli. Desenvolvimento e teste de RSSF para monitoramento de ambientes em edificações. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2017.

PEREIRA, B.M; OLIVEIRA, A.M. Objetos Interativos em Arte e Tecnologia. **ARJ-Art Research Journal**, 2017.

PITARMA, Rui; MARQUES, Gonçalo; CAETANO, Filipe. Monitoring indoor air quality to improve occupational health. In: **New advances in information systems and technologies**. Springer International Publishing, 2016. p. 13-21.

POSTOLACHE, Octavian. Apostila da Escola Superior de Tecnologia. Instituto Politecnico de Setúbal, Portugal, 2006.

RADIOIT. Industria Brasileira de Módulos de Rádio Frequência. Disponível em: <<http://www.radioit.com.br/produtos.html>>. Acesso em: 3 mar. 2017.

RUAS, A. César. Conforto térmico nos ambientes de trabalho. **São Paulo: Fundacentro**, 1999.

SANTOS, Bruno P. et al. Internet das coisas: da teoria à prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, 2016.

SEED STUDIO RFBEE V1.1. Disponível em: <[http://wiki.seeed.cc/RFbee\\_V1.1-Wireless\\_Arduino\\_compatible\\_node/](http://wiki.seeed.cc/RFbee_V1.1-Wireless_Arduino_compatible_node/)>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

SEMINARTOPICS. Wireless Body Area Network. Nov 14, 2015. Disponível em: <<http://www.seminartopics.co.in/computer%20science/wireless-body-area-network.php>>. Acesso em: 05 mar 2017.

SEVERANCE, Charles. Guido van Rossum: The Early Years of Python. **Computer**, v. 48, n. 2, p. 7-9, 2015.

SOUZA, H. A.; RODRIGUES, L. S. Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. REM: Revista Escola de Minas. v. 65(2), p. 189-194, abr. jun. 2012.

THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION. Disponível em: <<http://www.apache.org>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

THE PHP GROUP. Disponível em: <<http://php.net/>>. Acesso realizado em: Ago, 2017.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. **São Paulo**, v. 3, p. 32, 2005.

WHITE, Curt M.; LEONARDO, Elvio J. Redes de computadores e comunicação de dados. **São Paulo: Cengage Learning**, 2012.

W3C. World Wide Web Consortium. Disponível em: <<https://www.w3.org/html/>> Acesso realizado em: Ago, 2017.