

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE
CAMPINAS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA
URBANA**

EVERTON DIAS DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA EM
EDIFICAÇÕES USANDO REDES SEM FIO**

**CAMPINAS
2015**

EVERTON DIAS DE OLIVEIRA

**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA EM
EDIFICAÇÕES USANDO REDES SEM FIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientadora: Profa. Dra. Lia Toledo
Moreira Mota.

Co-orientadora: Profa. Dra. Claudia
Cotrim Pezzuto.

**PUC-CAMPINAS
2015**

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.3845 Oliveira, Everton Dias de.
O48m Monitoramento de temperatura em edificações usando redes sem fio /
Everton Dias de Oliveira. - Campinas: PUC-Campinas, 2015.
105p.

Orientadora: Lia Toledo Moreira Mota. Co-orientadora: Claudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Inclui anexo e bibliografia.

1. Sistemas de comunicação sem fio. 2. Edificações. 3. Controle de temperatura. 4. Telecomunicações. 5. Engenharia elétrica. I. Mota, Lia Toledo Moreira. II. Pezzuto, Claudia Cotrim. III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. IV. Título.

22.ed. CDD – t621.3845

EVERTON DIAS DE OLIVEIRA

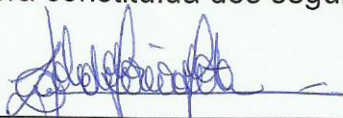
**MONITORAMENTO DE TEMPERATURA EM
EDIFICAÇÕES USANDO REDES SEM FIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana 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 Sistemas de Infraestrutura Urbana. Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Lia Toledo Moreira Mota.

Co-orientadora: Prof. (a). Dr. (a). Claudia Cotrim Pezzuto

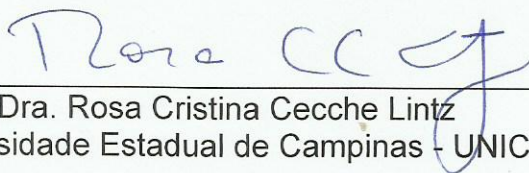
Dissertação defendida e aprovada em 14 de dezembro de 2015 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Rosa Cristina Cecche Lintz
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus.

AGRADECIMENTOS

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da pesquisa durante todo o período do curso de Mestrado entre os anos de 2014 e 2015;

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas, pela infraestrutura oferecida;

À professora doutora Lia Toledo Moreira Mota, pela orientação e apoio durante a delimitação do tema, pela motivação e confiança depositada durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho;

À professora doutora Claudia Cotrim Pezzuto, pela co-orientação e por suas contribuições técnicas;

Ao professor doutor Alexandre de Assis Mota, pela participação nos questionamentos técnicos, pelo empenho como coordenador do Programa de Mestrado;

À professora doutora Lia Lorena Pimentel, pela grande contribuição no processo de moldagem dos corpos de prova;

Ao colega Argemiro Bevilacqua, pela ajuda com o seu conhecimento em sistema operacional *Linux* e em diversas linguagens de programação;

Ao colega Leandro Filiagi, pela ajuda com o seu conhecimento em implementação de *Access point*.

*“Se podemos sonhar, também
podemos tornar nossos
sonhos realidade”. – Walt Disney*

RESUMO

OLIVEIRA, Everton Dias de. *Monitoramento de Temperatura em Edificações Usando Redes Sem Fio*. 2015. 85f. Dissertação de Mestrado, do curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2015.

O presente trabalho apresenta, o desenvolvimento de um sistema para o monitoramento da temperatura de superfície e da temperatura do ar em edificações no meio urbano, utilizando transmissão de dados sem fio com os padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4. Esse sistema de monitoramento compreende o desenvolvimento de sensores de baixo que possam monitorar a temperatura de forma não destrutiva, ou seja, sem a necessidade de reformas na edificação.

Trata da análise da utilização das redes de transmissão sem fio com o padrão IEEE 802.11 e com o padrão IEEE 802.15.4, como possibilidade de solução para o monitoramento da temperatura em edificações usando redes sem fio. Discorre sobre o desenvolvimento de uma aplicação tecnológica capaz de realizar o monitoramento da temperatura do ar e de superfície em edificações usando redes sem fio padrão IEEE 802.15.4.

E também apresenta uma solução para o monitoramento da temperatura em edifícios inteligentes, utilizando o padrão IEEE 802.11.

Palavras - chave: Monitoramento de Temperatura, Redes Sem Fio, Padrão IEEE 802.11, Padrão IEEE 802.15.4.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Everton Days. Temperature monitoring in Buildings Using Wireless Networks. 2015 85f. Master's thesis, the Master's course in Urban Infrastructure Systems, University of Campinas, Campinas, 2015.

This paper presents the development of a system for monitoring surface temperature and air temperature in buildings in urban areas, using wireless data transmission with the IEEE 802.11 and IEEE 802.15.4 standards. This monitoring system includes the development of low sensors that can monitor the temperature of non-destructively, i.e. without the need to reform the building.

Deals with the analysis of the use of wireless transmission networks with the IEEE 802.11 standard and the IEEE 802.15.4 standard, as a possible solution for temperature monitoring in buildings using wireless networks. Discusses the development of a technological application capable of performing the monitoring of the air temperature and surface buildings using standard wireless networks IEEE 802.15.4.

It also presents a solution for temperature monitoring in intelligent buildings, using the IEEE 802.11 standard.

Key- Words: Temperature of Monitoring, Wireless Networks, IEEE 802.11 Standard, IEEE 802.15.4 Standard.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Reflexão do sinal transmitido [24].
- Figura 2 – Refração do sinal transmitido [24].
- Figura 3 – Difração do sinal transmitido [24].
- Figura 4 – Dispersão do sinal transmitido [24].
- Figura 5 – Representação da Zona de Fresnel [24].
- Figura 6 – Esquema Servidor/Cliente.
- Figura 7 – Configuração 1.
- Figura 8 – Configuração 2.
- Figura 9 – Curva granulométrica do agregado miúdo.
- Figura 10 - Curva granulométrica do agregado graúdo.
- Figura 11 – Corpos de Prova de Concreto.
- Figura 12 – Corpos de Prova de Argamassa.
- Figura 13 – Divisão dos grupos e configuração das placas protótipos de edificação.
- Figura 14 – Configuração dos ensaios no 1º grupo de testes.
- Figura 15 – Configuração dos ensaios no 2º grupo de testes.
- Figura 16 – Comparação dos Resultados do 1º Grupo.
- Figura 17 – Comparação dos Resultados do 2º Grupo.
- Figura 18 – Comunicação Sem Fio padrão *IEEE* 802.15.4
- Figura 19 – Par de Rádios utilizados nos testes.
- Figura 20 - RFBee interfaces UART Rx e Tx.(Manual RFBee versão 1.1, 2011)
- Figura 21 – Bancada Completa de Ensaio.
- Figura 22 – Configuração das placas de corpos de prova utilizadas nos ensaios.
- Figura 23 – Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 1.
- Figura 24 – Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 2.
- Figura 25 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 1.
- Figura 26 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 2.
- Figura 27 – Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 1.
- Figura 28 – Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 2.
- Figura 29 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 1.
- Figura 30 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 2.
- Figura 31 – Diagrama de blocos do protótipo.

Figura 32 – Modelagem em 3D do sensor proposto em perspectiva.

Figura 33 – Modelagem em 3D do sensor proposto, vista lateral do sensor proposto.

Figura 34 - Modelagem em 3D do corpo de prova de concreto.

Figura 35 - Modelagem em 3D perspectiva do corpo de prova de concreto.

Figura 36 - Vista frontal da Modelagem em 3D importada dentro do software de simulação Ansys.

Figura 37 - Vista lateral da Modelagem em 3D importada no ambiente de simulação do software de simulação Ansys.

Figura 38 - Face do corpo de prova, escolhida para receber a condição de aquecimento.

Figura 39 - Vista frontal da distribuição de temperatura da simulação ao longo da estrutura simulada.

Figura 40 - Vista lateral, da distribuição de temperatura da simulação ao longo da estrutura simulada.

Figura 41 - Comportamento da temperatura na face do concreto.

Figura 42 - Comportamento da temperatura na placa de alumínio da capsula do sensor.

Figura 43 - Comportamento da temperatura no transdutor.

Figura 44 – Diferença entre a temperatura do concreto e a temperatura do alumínio.

Figura 45 – Diferença entre a temperatura do concreto e a temperatura do transdutor.

Figura 46 - Transdutor de temperatura LM35.

Figura 47 - Diagrama de ligação elétrica do transdutor de temperatura com um microcontrolador.

Figura 48 – Trecho do código de programação para transdução do sinal.

Figura 49 - Placas de cortiça para capsula do sensor de temperatura de superfície.

Figura 50 - Fixação do transdutor de temperatura no centro da quarta placa de cortiça.

Figura 51 - Estrutura da cápsula do sensor completa.

Figura 52 - Bancada montada para o teste de aquecimento do corpo de prova com o sensor de temperatura de superfície.

Figura 53 – Comportamento da temperatura no bloco de concreto.

Figura 54 – Teste de temperatura de superfície.

Figura 55 – Gráfico da temperatura de superfície.

Figura 56 – Protótipo do Sensor de Temperatura do Ar.

Figura 57 – Teste de temperatura do ar.

Figura 58 – Gráfico da temperatura do ar.

Figura 59 – Esquema elétrico da alimentação da placa.

Figura 60 – RFBee com os conectores *Headers* acoplados em suas extremidades.

Figura 61 – Placa para módulo rádio e módulo sensor.

Figura 62 – Diagrama de blocos do sistema de monitoramento de temperatura.

Figura 63 – Transdutores de temperatura, microcontrolador e o roteador *Wi-Fi* padrão *IEEE 802.11*.

Figura 64 – Cápsulas desenvolvidas, para os transdutores de temperatura.

Figura 65 – *Set-up* montado para análise da temperatura de superfície de uma edificação.

Figura 66 – *Set-up* detalhado, montado para análise da temperatura de superfície para um edifício inteligente.

Figura 67 – *Set-up* montado para análise da temperatura do ar de uma edificação.

Figura 68 – *Set-up* detalhado, montado para análise da temperatura do ar para uma edificação.

Figura 69 – Página na *Web* criada para realizar o *download* das informações dos sensores.

Figura 70 – Comportamento da temperatura de superfície na região da parede analisada no edifício.

Figura 71 – Comportamento da vazão do sinal, ensaio de temperatura de superfície.

Figura 72 – Comportamento da temperatura do ar.

Figura 73 – Comportamento da vazão do sinal, ensaio de temperatura do ar.

LISTA DE EQUAÇÕES

(1)	(25)
(2)	(25)
(3)	(25)
(4)	(25)
(5)	(25)
(6)	(26)
(7)	(26)
(8)	(26)
(9)	(29)
(10).....	(76)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IEEE = *Institute of Eletrical and Eletronic Engineer.*

RFID = *Radio-Frequency IDentifications.*

WI-Fi = *Wireless Fidelity.*

CSMA/CA = *Carrier SenseMultiple Access with Collision Avoidance.*

AP = *Access Point.*

PUC-Campinas = Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

RF = Rádio Frequência.

CI = Circuito Integrado.

AD = Analógico Digital.

RSSI = *Received Signal Strength Indication.*

TIC = Tecnologia da Informação e Comunicação.

TX = Transmissor.

RX = Receptor.

Labee = Laboratório de Eficiência Energética.

UFSC = Universidade Federal de Santa Catarina.

EAM = Erro Absoluto Médio.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados para análise da Vazão (MB/s).

Sumário

1. Introdução.....	19
1.1 Contextualização e Justificativa.....	20
1.2 Objetivos da Dissertação.....	21
1.3 O Padrão IEEE 802.11.....	21
1.4 O Padrão IEEE 802.15.4.....	21
1.5 Estrutura da Dissertação.....	22
2 Conceitos Aplicados à Redes Sem Fio.....	23
2.1 Padrão IEEE 802.11.....	23
2.2 Padrão IEEE 802.15.4.....	24
2.3 Conceitos aplicados às redes sem fio.....	24
2.3.1 Vazão do sinal da rede.....	24
2.3.2 Potência do sinal em redes de sensores sem fio.....	24
2.3.3 Atenuação.....	25
2.3.4 Reflexão.....	26
2.3.5 Refração.....	27
2.3.6 Difração.....	27
2.3.7 Dispersão.....	28
2.3.8 Ruídos e interferências.....	28
2.3.9 Zona de Fresnel.....	28
3. Análise da Transmissão Sem Fio Padrão IEEE 802.11 em Tipologias de Concreto e Argamassa.....	30
3.1 Abordagem metodológica.....	31
3.2 Moldagem dos Corpos de Prova.....	33
3.2.1 Corpos de prova de Concreto.....	34
3.2.2 Corpos de Prova de Argamassa.....	35
3.3 Resultados.....	37
3.4 Discussão dos resultados.....	40
4. Análise da Transmissão Sem Fio Padrão IEEE 802.15.4 em Tipologias de Concreto e Argamassa.....	42
4.1 Abordagem metodológica.....	43
4.1.1 Sistema de Transmissão Sem Fio com o Padrão IEEE 802.15.4.....	43
4.2 Resultados.....	47
4.2.1 Ensaio com distância entre TX e RX de 25 cm.....	47
4.2.2 Ensaio com distância entre TX e RX de 1,90m.....	51
4.3 Discussão dos resultados.....	54
5 Monitoramento de Temperatura do Ar e de Superfície em Edificações usando Redes Sem Fio Padrão IEEE 802.15.4.....	56
5.1 Abordagem metodológica.....	58
5.1.1 Módulo Sensor de Temperatura de Superfície.....	59
5.1.1.1 Simulação computacional.....	59
5.1.1.2 Resultados da simulação computacional.....	64
5.2 Transdutor de temperatura.....	69
5.3 Estrutura da Cápsula.....	71
5.4 Testes de bancada.....	73
5.4.1 Módulo Sensor de Temperatura do Ar.....	77
5.5 Protótipo.....	79
5.5.1 Análise custo.....	81

5.6 Discussão dos resultados.....	81
6 Monitoramento da Temperatura em Edifícios Inteligentes, Utilizando o Padrão IEEE 802.11.....	83
6.1 Abordagem metodológica.....	83
6.1.1 Sensores de temperatura de superfície.....	84
6.1.2 Roteador Wi-Fi padrão IEEE 802.11.....	86
6.1.3 Realização do ensaio.....	86
6.2 Resultados.....	89
6.2.1 Discussão dos resultados.....	92
7 Conclusão.....	94
Referências Bibliográficas.....	96
Anexos.....	103
Anexo I - Fluxograma de Software, para Capítulos 4 e 5.....	103
Anexo II - Código de Programação para Coleta de Dados de uma Temperatura, Capítulo 5.....	104
Anexo III - Código de Programação para Coleta de Dados de seis Temperaturas, Capítulo 6.....	105

1. Introdução

Nos últimos anos, as redes de comunicação crescem avanços significativos. Nesse sentido, o mercado também evoluiu e passou a pesquisar e investir cada vez mais no desenvolvimento tecnológico, criando produtos que operam com tecnologia capaz de realizar a transmissão de dados sem fio [1].

As redes sem fio presentes no meio urbano, em sua maioria, utilizam o padrão IEEE 802.11 (*Institute of Electrical and Eletronic Engineers*), que vem sendo utilizado em dispositivos eletrônicos portáteis como *lap-tops*, televisores, *smartphones*, *tablets* e sensores de modo geral. O padrão IEEE 802.11 é amplamente utilizado por seu perfil de qualidade e desempenho durante o período de utilização dos dispositivos [2].

Na atualidade, os sensores têm sido utilizados como grande ferramenta para monitoramento de dados no ambiente urbano, tais como consumo de energia elétrica, corrente elétrica, tensão elétrica, qualidade do ar, qualidade da água, velocidade de automóveis, dentre outros [3], e estão diretamente relacionados ao conceito de edifícios inteligentes. No caso dos sensores de temperatura, eles são empregados em diversas aplicações, como medição da temperatura de fluidos [4], monitoramento da temperatura do ar dos centros urbanos, monitoramento da temperatura de superfície do concreto de edificações comerciais e residenciais [5], e também como uma das ferramentas para aferição do conforto térmico em edificações e no ambiente urbano [6].

Aplicações que envolvem sensoriamento de grandezas, tais como umidade, temperatura, níveis de luminosidade, dentre outros, podem ser implementadas utilizando tecnologia de transmissão de dados sem fio. Nesse sentido, o padrão de comunicação sem fio IEEE 802.15.4 pode ser empregado em ambientes industriais em tarefas de monitoramento e controle, assim como em segurança pública, determinação de áreas de desastres, sensores automotivos, agricultura de precisão e automação de processos de Identificação por Rádio Frequência (*Radio-Frequency IDentifications* - RFID) [7]. Visando o mercado de redes de sensores, alguns fabricantes passaram a desenvolver seus próprios componentes dentro das especificações do padrão IEEE 802.15.4, com acréscimos de interfaces específicas de *firmware* para integração com outros dispositivos, como o caso de transdutores, relés,

dispositivos digitais e analógicos que possam ser controlados por sinais de baixa tensão e corrente, diretamente por solução embarcada.

1.1 Contextualização e Justificativa

O monitoramento de diferentes grandezas em uma edificação vem de encontro aos conceitos de cidades inteligentes e de edifícios inteligentes. Mais especificamente, o monitoramento da temperatura está, ainda, diretamente relacionado ao conforto térmico nas edificações e, conseqüentemente, ao consumo de energia e à eficiência energética das mesmas. Se uma edificação não é confortável termicamente, seus usuários tendem a acionar dispositivos de resfriamento do ambiente, como aparelhos de ar-condicionado, ocasionando o aumento do consumo de energia da edificação e a redução da eficiência energética da mesma [8, 9, 10, 11].

Alguns fatores podem agravar o problema do desconforto térmico nas edificações. Por exemplo, se não existir um planejamento adequado da envoltória da edificação, como utilização de zonas de sombreamento, cultivo de vegetação e preservação da ventilação natural no entorno da envoltória da edificação, a radiação solar aquece a face externa da edificação e pode provocar o aumento da temperatura nas faces internas da edificação, prejudicando o conforto térmico dos ocupantes [12,13, 14].

O aumento da temperatura nas grandes cidades, também acontece pelo aumento da população, aumento da quantidade de carros circulando, qualidade do ar, aumento da quantidade de áreas urbanizadas e, a partir desse conjunto de elementos, surgem as ilhas de calor, que são bolsas de ar quente, provocando o aumento de temperatura no meio urbano [15, 16, 17].

Conforme citado anteriormente, o aumento da temperatura nas edificações pode ter como consequência uma diminuição na eficiência energética da mesma. A eficiência energética é algo muito questionado na atualidade, pois os recursos naturais encontram-se em escassez na natureza, sendo que este conceito está presente em todos os setores como na agropecuária, na indústria, na própria geração, transmissão e distribuição de energia elétrica e, também, nas edificações [18, 19]. Nas edificações, a eficiência energética vem atrelada a diversos fatores sendo eles: autonomia do

uso dos recursos naturais como luz e ventilação natural, uso apropriado das fontes renováveis de energia elétrica, conforto térmico e ambiental [20].

1.2 Objetivos da Dissertação

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema para o monitoramento da temperatura de superfície e da temperatura do ar em edificações no meio urbano, utilizando transmissão de dados sem fio com os padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4. Esse sistema de monitoramento compreende, o desenvolvimento de sensores de baixo custo, que possam monitorar a temperatura de forma não destrutiva, ou seja, sem a necessidade de reformas nas edificações.

Como objetivos específicos, pretende-se analisar as características da transmissão sem fio com o padrão IEEE 802.11 e com o padrão IEEE 802.15.4. Pretende-se, ainda, desenvolver uma metodologia para aferição da temperatura de superfície e do ar em edificações no meio urbano, sem interferir nos circuitos de instalações elétricas e, também, sem causar fissuras e furos nas paredes da edificação, apoiando soluções no campo da eficiência energética das edificações e das certificações ambientais [21, 22].

1.3 O Padrão IEEE 802.11

O início de seu desenvolvimento foi no ano de 1991, mas só finalizado e lançado comercialmente no ano de 1997, com o intuito de estabelecer um método e uma técnica, para interação de conectividade de rede sem fio. Por ser um padrão de comunicação amplamente difundido e comercializado por suas características de qualidade do sinal e robustez a longas distâncias, fez com que o mesmo seja um meio de comunicação sem fio atual ainda nos dias de hoje [23].

1.4 O Padrão IEEE 802.15.4

A primeira versão deste padrão de comunicação sem fio, foi apresentada no ano de 2003, atualizado posteriormente em 2006, tendo como propósito atender redes de comunicação de baixa complexibilidade de implementação, baixo custo e também baixo consumo de energia elétrica. A gerência e controle

dos dados é efetuada através da técnica de acesso aleatório, conhecida como Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA), sendo capaz de trabalhar em diferentes topologias de redes como: estrela, ponto-a-ponto e multiponto [24].

1.5 Estrutura da Dissertação

O capítulo 2, apresenta os conceitos e os fenômenos de transmissão para redes sem fio com o padrão IEEE 802.11 e padrão IEEE 802.15.4.

O capítulo 3 trata da análise da utilização das redes de transmissão sem fio padrão IEEE 802.11, como possibilidade de solução para o monitoramento da temperatura em edificações usando redes sem fio.

No capítulo 4 é apresentada a análise da utilização das redes de transmissão sem fio padrão IEEE 802.15.4 como possibilidade de solução para o monitoramento da temperatura em edificações usando redes sem fio.

Já o capítulo 5 discorre sobre o desenvolvimento de uma aplicação tecnológica capaz de realizar o monitoramento da temperatura do ar e de superfície em edificações usando redes sem fio padrão IEEE 802.15.4.

O capítulo 6 apresenta uma solução para o monitoramento da temperatura em edifícios inteligentes, utilizando o padrão IEEE 802.11

E por último, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões desta dissertação.

2 Conceitos Aplicados à Redes Sem Fio

As redes sem fio são conhecidas, por permitirem que os dispositivos eletrônicos possam se comunicar uns com os outros, sem a necessidade de fontes cabeadas para realizar o tráfego das informações. Redes sem fio na atualidade se tornou um dos meios mais populares de acesso à rede de informações de dados, pela grande quantidade de dispositivos eletrônicos desenvolvidos e popularmente inseridos no cotidiano dos usuários [23].

A utilização das redes sem fio, em seu início não tinham como principal aplicação atender dispositivos eletrônicos móveis como nos dias de hoje. No primeiro momento as redes sem fio atendiam as necessidades e aplicações voltadas à satélites e transmissão de dados, com sinais de telecomunicações, rádio e televisão, transmitidas com técnicas de modulação e processamento de sinais [24].

Porém na atualidade, anualmente milhões de aparelhos eletrônicos como: *smartphones*, *tablets*, *smartvs*, *lap-tops*, são vendidos por todo o mundo e todos com capacidade de comunicação sem fio. O que fez com que os meios e os padrões de comunicação sem fio evoluíssem e conseguissem atingir um nível de alta robustez e qualidade de serviço, capaz de atender a demanda de fluxo de dados exigidas nos dias de hoje pela quantidade de dispositivos existentes [50].

2.1 Padrão IEEE 802.11

O início de seu desenvolvimento foi no ano de 1991, mas só finalizado e lançado comercialmente no ano de 1997, com o intuito de estabelecer um método e uma técnica, para interação de conectividade de rede sem fio. Por ser um padrão de comunicação amplamente difundido e comercializado por suas características de qualidade do sinal e robustez a longas distâncias, fez com que o mesmo seja um meio de comunicação sem fio atual ainda nos dias de hoje, operando na faixa de frequência de 2,4 GHz [23].

2.2 Padrão IEEE 802.15.4

A primeira versão deste padrão de comunicação sem fio, foi apresentada no ano de 2003, atualizado posteriormente em 2006, tendo como propósito atender redes de comunicação de baixa complexibilidade de implementação, baixo custo e também baixo consumo de energia elétrica, operando na faixa de frequência de 915 MHz. A gerência e controle dos dados é efetuada através da técnica de acesso aleatório, conhecida como Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA), sendo capaz de trabalhar em diferentes topologias de redes como: estrela, ponto-a-ponto e multiponto [24].

2.3 Conceitos aplicados às redes sem fio

A qualidade da transmissão do sinal e do fluxo de dados nas redes sem fio, está diretamente associada parâmetros de qualidade de serviço, e dos fenômenos físicos relacionados à propagação do sinal sem fio de modo geral, que serão apresentados à seguir.

2.3.1 Vazão do sinal da rede

A vazão do sinal da rede, é um dos parâmetros utilizados para avaliar a qualidade de transmissão da rede de comunicação, sua unidade de medida é (MB/s), em uma rede sem fio com o padrão IEEE 802.11, a taxa nominal de transmissão máxima é de 11 MB/s. Mas os dispositivos possuem capacidades de conexão em taxas inferiores como 5,5 MB/s, 2 MB/s e 1 MB/s, que também são autorizadas pelo padrão de comunicação. Indica-se para aferição e coleta de dados da vazão ou *throughout* do sinal, uma configuração com apenas uma estação em modo ativo, afim de eliminar a possibilidade do surgimento de anomalias [50].

2.3.2 Potência do sinal em redes de sensores sem fio

Uma rede de sensores sem fio, tem assim com uma rede sem fio o trafego de suas informações transmitidas por ondas eletromagnéticas no ar, com a diferença da implementação de sensores associados a rede, conceito muito utilizado em redes com o padrão IEEE 802.15.4. No entanto o sinal é medido

em (dB), unidade esta que representa entre a potência de entrada (P_{entrada}) e a potência de saída ($P_{\text{saída}}$), como expressado na Equação 1:

$$dB = 10 \log \left(\frac{P_{\text{saída}}(mW)}{P_{\text{entrada}}(mW)} \right) \quad (1)$$

Na Equação 1, os valores em dB podem ser tanto positivos quanto negativos, e como os valores trabalhados em redes de sensores sem fio são em mW, é estabelecida uma relação entre a potência transmitida e o valor de 1 mW. E a partir disso se surge a unidade de medida dBm (decibel miliwatt), como apresentado na Equação 2:

$$dBm = 10 \log \left(\frac{P(W)}{1mW} \right) \quad (2)$$

2.3.3 Atenuação

Consiste no resultado de fenômenos, que ocasionam perdas no sinal durante o processo de propagação do mesmo. Por sua vez a propagação do sinal, está relacionada com o ângulo de abertura da antena emissora, nas redes sem fio, são utilizadas antenas do tipo isotrópicas que possuem modelo de propagação em todas as direções, constituindo uma esfera [24]. A Equação 3, apresenta o modelo de cálculo da esfera.

$$A_{\text{esfera}} = 4\pi r^2 \quad (3)$$

Onde: r = Raio da esfera em (m).

A potência distribuída ao longo da esfera, conseqüentemente com a potência do sinal transmitido pela antena, é calculada a partir da Equação 4.

$$P_{\text{esfera}} = \frac{P_{\text{total}}}{4\pi r^2} \quad (4)$$

Onde: P_{total} = Potência do sinal transmitido em (W)

Com base nos resultados obtidos a partir da Equação 4, é possível concluir que a potência dada em um ponto, pode ser determinada a partir dos dados da potência da esfera e da distância estabelecida entre o ponto de interesse e a antena. Na Equação 5, é apresentada a equação para o cálculo da potência de um determinado ponto.

$$P_{\text{ponto}} = P_{\text{esfera}} \cdot 4\pi r^2 \quad (5)$$

Onde: d = Distância entre o ponto de interesse e a antena em (m).

A atenuação do sinal, também está associada com a capacidade que a antena possui de captar o sinal propagado. Na Equação 6 é apresentada a equação para o cálculo da potência recebida.

$$P_{recebida} = P_{esférica} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (6)$$

Onde: λ = Comprimento de onda do sinal (m).

Com base na Equação 5 e na Equação 6, e considerando $P_{recebida}$ como dado de entrada e P_{ponto} como dado de saída, é possível aplicar estes dados sobre a Equação 1 e definir a potência em dB, como mostra a Equação 7.

$$10 \log\left(\frac{P_{saída}}{P_{entrada}}\right) = 10 \log\left(\frac{P_{esférica} \cdot 4\pi d^2}{P_{esférica} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}}\right) = 10 \log\left(\frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2}\right) \quad (7)$$

Em suma a Equação 8 é a definição, de atenuação do sinal de micro-ondas no espaço livre (FSPL – Free Space Path Loss) [51].

$$FSPL = 10 \log\left(\frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2}\right) = 2 \cdot 10 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (8)$$

2.3.4 Reflexão

Outro fenômeno que pode atingir o sinal é a reflexão, fenômeno este que ocorre quando, o sinal transmitido entra em contato com as superfícies que se encontram ao longo do caminho do sinal transmitido e o mesmo por sua vez não consegue atravessar as superfícies, como pode ser visto na Figura 1.

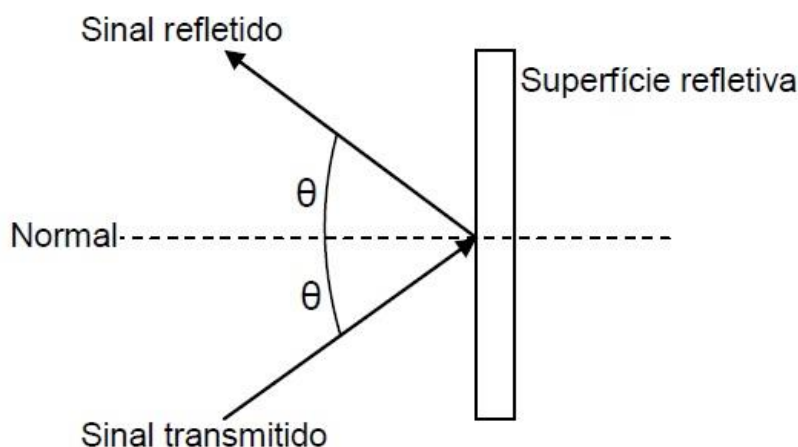


Figura 1 – Reflexão do sinal transmitido [24].

A reflexão, no entanto pode ser utilizada para contribuir com o percurso da transmissão do sinal, quando projetadas e instaladas superfícies reflexivas em locais estratégicos [51].

2.3.5 Refração

Quando um sinal propagado, se transfere de um meio para outro com densidade distinta, é classificado como o fenômeno de refração do sinal. Objetos existentes na área de propagação do sinal, também podem ocasionar refração. A Figura 2, ilustra o fenômeno de refração do sinal.

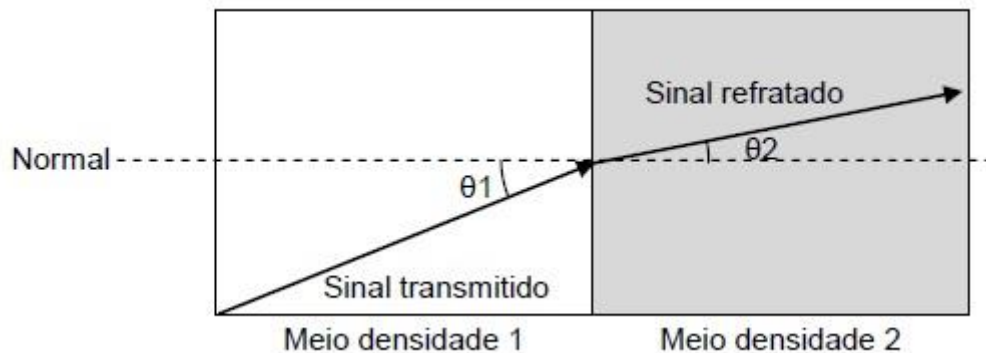


Figura 2 – Refração do sinal transmitido [24].

2.3.6 Difração

Já a difração, é um fenômeno que ocorre quando são geradas novas de acordo com a colisão das ondas propagadas com os obstáculos presentes na área de propagação do sinal, como apresentado na Figura 3 [51].

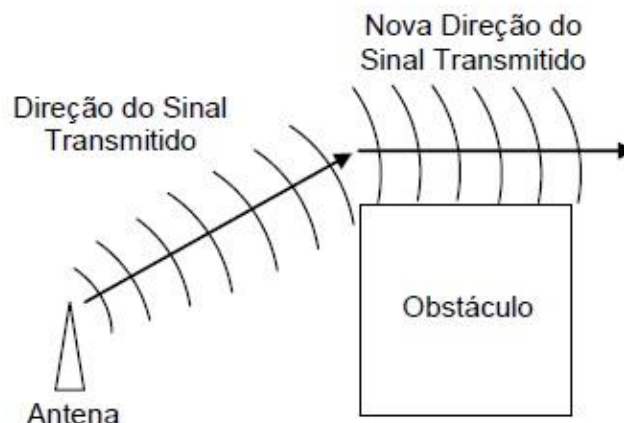


Figura 3 – Difração do sinal transmitido [24].

2.3.7 Dispersão

O fenômeno de dispersão do sinal transmitido ocorre, quando o mesmo é colidido em obstáculos durante sua propagação, e se reflete em diversas direções. A Figura 4, ilustra o fenômeno da dispersão do sinal [51].

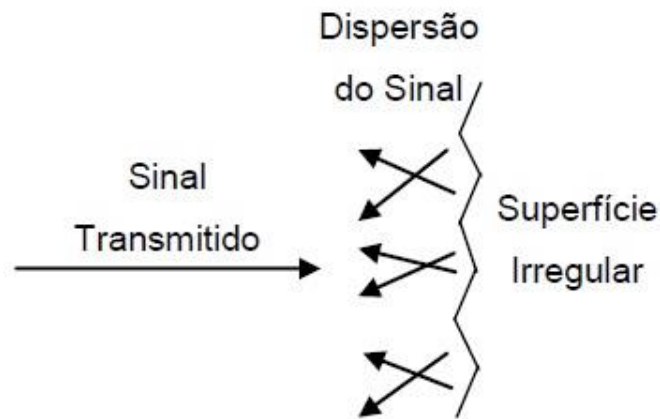


Figura 4 – Dispersão do sinal transmitido [24].

2.3.8 Ruídos e interferências

Todo sinal transmitido, encontra-se susceptíveis, as interferências existentes no meio em que o sinal se propaga como: umidade do ambiente, temperatura do ambiente, e os ruídos de modo geral, os ruídos são nomeados como [51]:

- ❖ **Ruído Impulsivo:** é o ruído que possui frequência e amplitude variada, podendo ser gerados por fontes eletromagnéticas de alta potência como motores, e raios. Dependendo da intensidade deste ruído o mesmo pode impedir a transmissão do sinal [24];
- ❖ **Ruído Branco:** é o ruído que possui baixa amplitude e baixa frequência, geralmente presentes durante o processo de comunicação [24].

2.3.9 Zona de Fresnel

A Zona de Fresnel, é a área em que se ocorre a propagação do sinal em linha de visada. E está relacionada com a distância e a altura, dos nós da rede de comunicação e com o comprimento de onda do sinal. A Figura 5, ilustra a Zona de Fresnel mencionada.

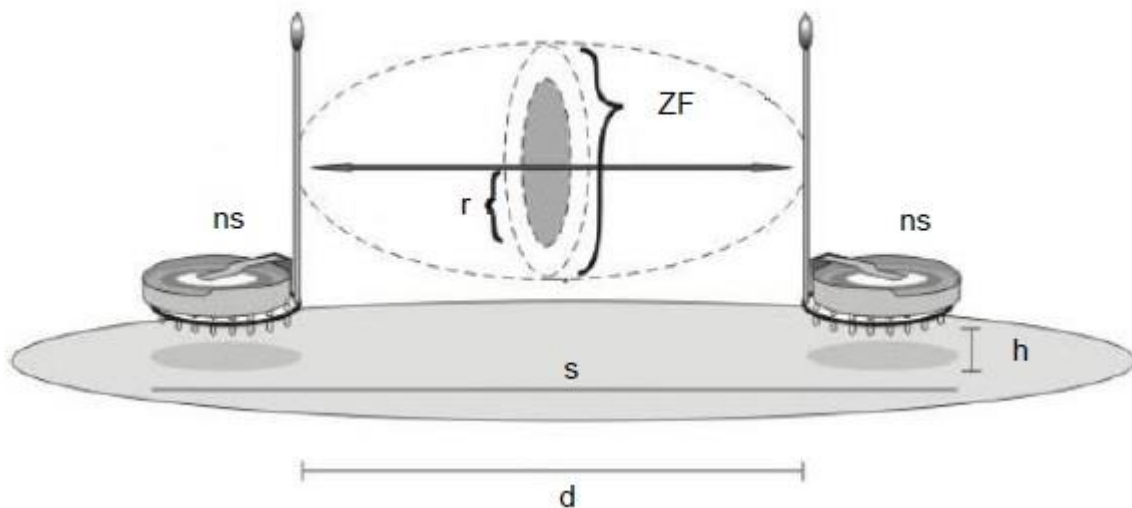


Figura 5 – Representação da Zona de Fresnel [24].

Sendo: ZF= Zona de Fresnel; r = Raio da primeira Zona de Fresnel; ns= Nó sensor; h= Altura do sensor (distância entre a superfície e o sensor); s = Superfície; d= Distância entre as antenas.

O raio estabelecido entre a primeira Zona de Fresnel, é quem delimita 60% da área da Zona de Fresnel. Nesta região, o fenômeno da atenuação é menor, a Equação 9 expressa o cálculo para a primeira Zona de Fresnel.

$$r = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\lambda \cdot d} \quad (9)$$

Onde: λ = Comprimento de onda do sinal (m); d= Distância entre as antenas (m).

3. Análise da Transmissão Sem Fio Padrão IEEE 802.11 em Tipologias de Concreto e Argamassa

Nas últimas décadas, houve avanços significativos na área de transmissão sem fio. Com isso, o mercado também evoluiu e passou a pesquisar e investir cada vez mais no desenvolvimento tecnológico, criando produtos que operam com essa tecnologia de transmissão de dados [25].

As redes sem fio disseminadas no meio urbano, em sua maioria, utilizam o padrão IEEE 802.11 [26]. Este padrão vem sendo utilizado em dispositivos eletrônicos portáteis como *lap-tops*, televisores, smartphones e, *tablets*, dentre outros.

O crescimento da utilização destes aparelhos nos últimos anos foi significativo. Atualmente muitas pessoas possuem, mais de um *smartphone*, mais de um *tablet*, ou seja, o sistema de transmissão sem fio deve ser bastante robusto para suportar uma grande quantidade de usuários conectados. Nesse contexto, para suportar essa grande demanda de utilização o padrão IEEE 802.11 (conhecido por *Wi-Fi – Wireless Fidelity – Fidelidade Sem Fio*) é amplamente utilizado por seu perfil de qualidade e desempenho durante o período de utilização dos dispositivos [27].

Em grande parte das horas de uso desses aparelhos, seja nas empresas durante o horário de trabalho, ou nas residências onde moram os titulares dos aparelhos eletrônicos, os mesmos estão operando dentro ou no entorno de edificações. Essas edificações são constituídas de concreto, concreto armado, argamassa ou argamassa armada, ou seja, elementos que podem causar interferência na transmissão de dados utilizando a tecnologia *Wi-Fi* padrão IEEE 802.11 [28].

Sendo assim, é de fundamental importância analisar o comportamento da vazão (*throughput*) do sinal (MB/s) na transmissão *Wi-Fi* padrão IEEE 802.11, considerando equipamentos como computadores portáteis e dispositivos de *hardware* reduzido como *smartphones* e tipologias de concreto e argamassa disseminados no meio urbano.

De forma mais específica, este capítulo trata da análise da utilização das redes de transmissão sem fio padrão IEEE 802.11 como possibilidade de

solução tecnológica de transmissão de dados para o monitoramento de zonas térmicas em edificações.

3.1 Abordagem metodológica

Para a montagem do *set-up* de testes, foi utilizado um computador DELL com processador Intel – Dual Core como *Access Point* (AP – Ponto de Acesso) com uma antena de roteador de sinal *Wi-Fi* operando na frequência de 2,4 GHz e sistema operacional *Linux*; um *lap-top* (cliente 1) do tipo HP Compaq 6910p com processador *Intel Centrino – Pro* e sistema operacional *Linux*; um *smartphone* (cliente 2) LG com sistema operacional *Android*; uma placa de concreto; uma placa de concreto armado; uma placa de argamassa e uma placa de argamassa armada. As 4 placas (concreto e argamassa) possuem 20 cm de altura e 20 cm de largura.

O tráfego de dados entre servidor e clientes foi implementado a partir da utilização do *software Iperf* injetando pacotes de dados na rede ilustrada na Figura 6, onde o computador com a antena *Wi-Fi* operou com o *software* em modo servidor e o *lap-top* e o *smartphone* operaram com o *software* em modo cliente. Durante os ensaios, o *Iperf* operou transitando 108 MB/s, o que representa o dobro da capacidade do canal de comunicação, a fim de saturar o canal para que o mesmo utilizasse o máximo da sua capacidade [49].

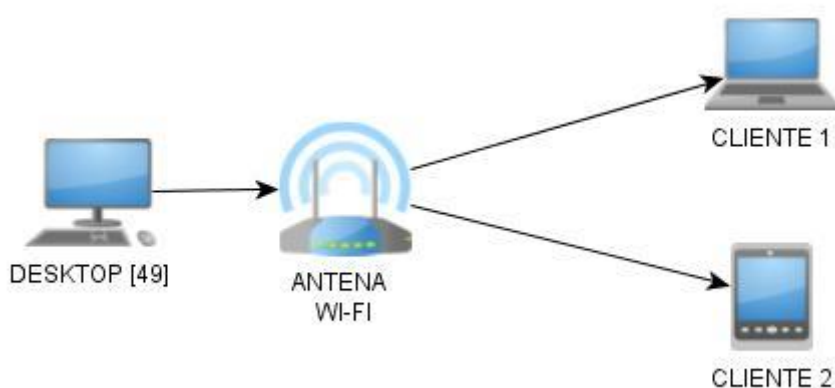


Figura 6 – Esquema Servidor/Cliente.

O *set-up* foi montado, considerando as seguintes configurações:

- ❖ Configuração 1: computador com antena Wi-Fi, uma placa protótipo de edificação posicionada a 25 cm após a antena de Wi-Fi, cliente (*smartphone* ou *lap-top*) atrás da placa protótipo da edificação. A Figura 7, ilustra a configuração descrita;

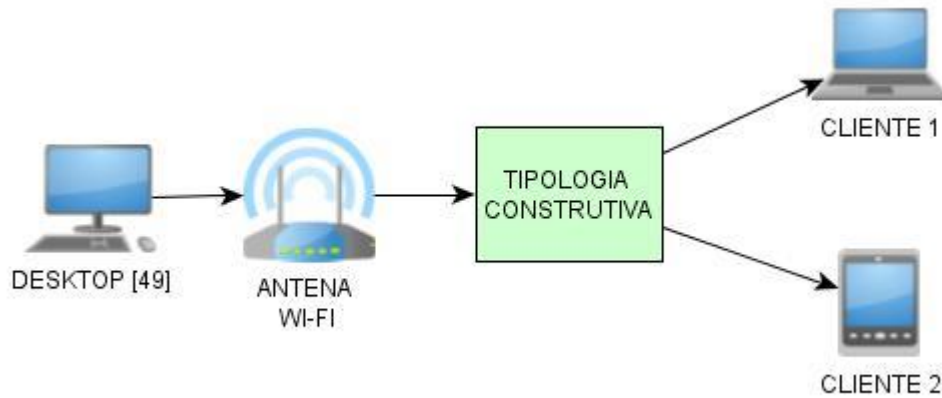


Figura 7 – Configuração 1.

- ❖ Configuração 2: computador com antena Wi-Fi, duas placas protótipo de edificação posicionadas a 25 cm após a antena de Wi-Fi, cliente (*smartphone* ou *lap-top*) atrás da placa protótipo da edificação. A Figura 8, ilustra a configuração descrita acima.

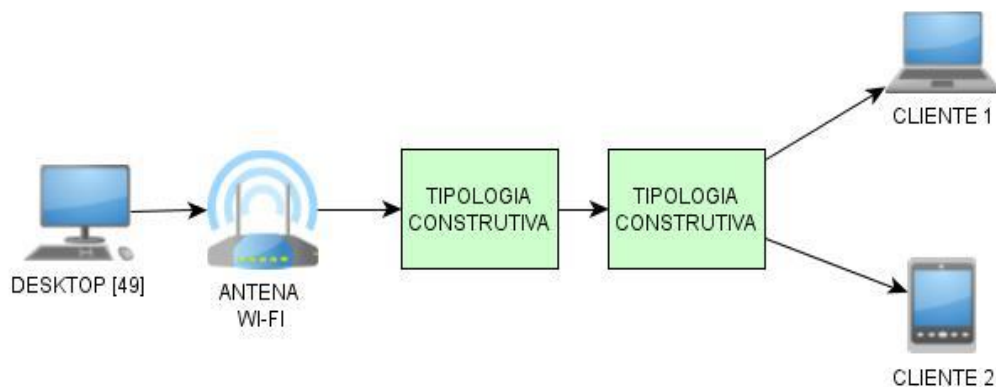


Figura 8 – Configuração 2.

3.2 Moldagem dos Corpos de Prova

Foram construídos 4 corpos de prova, sendo eles: um corpo de prova de concreto, um corpo de prova de concreto com armadura de aço (concreto armado), um corpo de prova de argamassa e um corpo de prova de argamassa com armadura de aço (argamassa armada). Os corpos de prova foram construídos no Laboratório de Materiais localizado no Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias (CEATEC) da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-CAMPINAS).

Para a caracterização dos materiais componentes dos concretos e argamassas, realizou-se o ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos. A Figura 9 apresenta o gráfico com a curva granulométrica do agregado miúdo. O módulo de finura do agregado miúdo foi de 2,39 mm que, de acordo com o padrão da norma ABNT NBR 7211:2009 [29], é classificado na zona ótima de utilização, sendo o diâmetro máximo do agregado de 4,8 mm.

Na Figura 10, é apresentada a curva granulométrica do agregado graúdo.

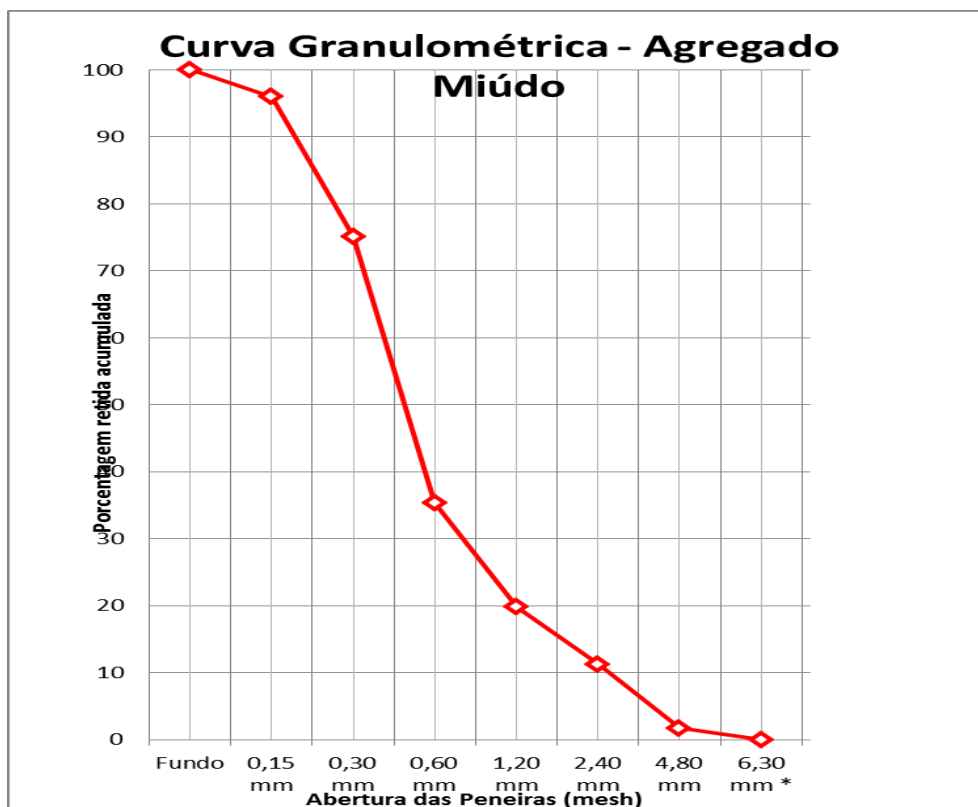


Figura 9 – Curva granulométrica do agregado miúdo.

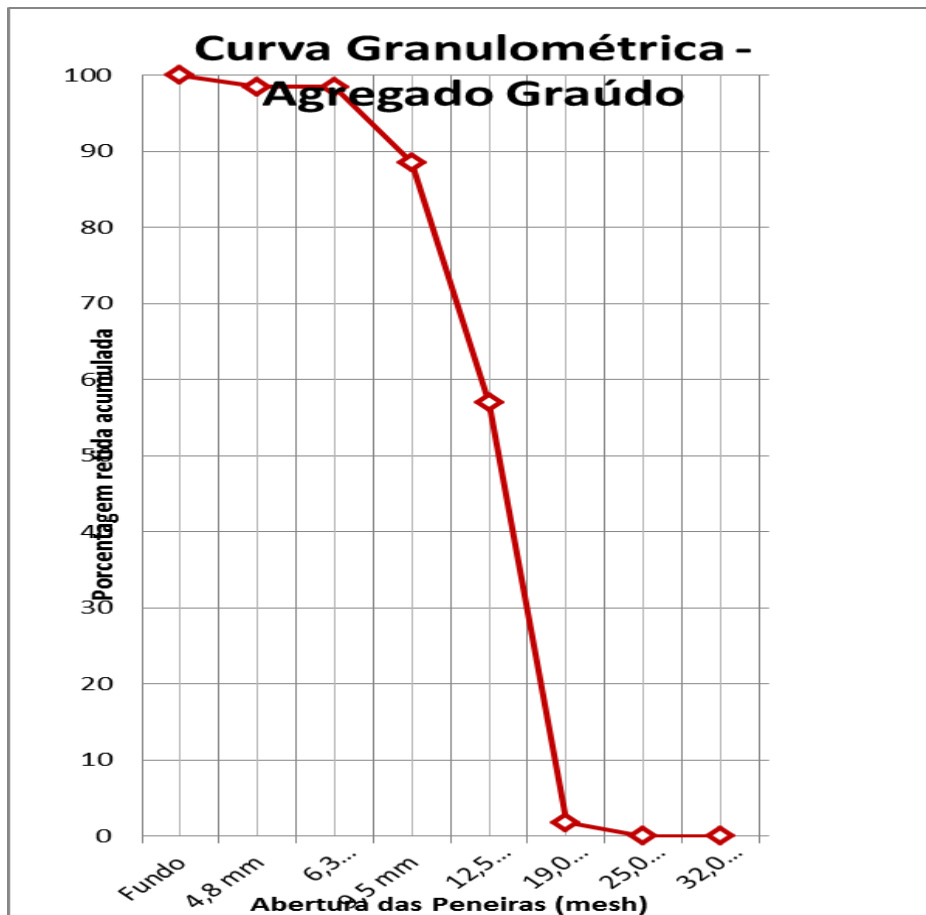


Figura 10 - Curva granulométrica do agregado graúdo.

O agregado graúdo apresentou como diâmetro máximo o valor de 19 mm, que se encontra na faixa granulométrica de 9,5/25 mm, na tabela ABNT NBR 7211:2009, o que o classifica como Brita do tipo 1.

3.2.1 Corpos de prova de Concreto

Os corpos de prova de concreto possuem dimensão de 200 mm de comprimento, 200 mm de altura e 100 mm de espessura. Foram fabricados concretos utilizando-se traço em massa 1:2:3 (cimento:areia:brita 1), com 0,5 de relação água/cimento. O corpo de prova de concreto armado contém uma armadura constituída de barras de aço CA50A de 6,3 mm de diâmetro, espaçadas 100 mm tanto na vertical quanto na horizontal. A Figura 11 ilustra os corpos de prova de concreto, sendo o corpo de prova de concreto situado à

esquerda da figura e o corpo de prova de concreto armado situado à direita da Figura 11.



Figura 11 – Corpos de Prova de Concreto.

3.2.2 Corpos de Prova de Argamassa

Os corpos de prova de argamassa foram executados com as mesmas dimensões dos corpos de prova de concreto em relação ao comprimento e à altura, porém com a espessura de 50 mm. O traço em massa usado foi de 1:2 (cimento:areia), com 0,65 de relação água/cimento. Para o corpo de prova de argamassa com armadura, a armadura inserida era composta por fios de aço de 1,22 mm de diâmetro espaçados de 25 mm na vertical e na horizontal. A Figura 12 ilustra os corpos de prova de argamassa, onde à direita da figura encontra-se o corpo de prova de argamassa e à esquerda encontra-se o corpo de prova de argamassa com armadura de aço.



Figura 12 – Corpos de Prova de Argamassa.

Os ensaios foram divididos em dois grupos sendo o primeiro grupo com apenas uma placa (apenas um corpo de prova) antes do cliente (*smartphone ou lap-top*), e o segundo grupo com duas placas (dois corpos de prova) antes do cliente. A Figura 13 ilustra a divisão dos grupos de testes e a configuração das placas protótipos de edificação (corpos de prova).

1º Grupo
Configuração das Placas
1- Concreto
2- Concreto Armado
3- Argamassa
4- Argamassa Armada
Average Values
2º Grupo
Configuração das Placas
1- Concreto e Concreto Armado
2- Concreto e Argamassa Pura
3-Concreto e Argamassa Armada
4-Concreto Armado e Concreto
5- Concreto Armado e Argamassa
6-Concreto Armado e Argamassa Armada
7- Argamassa e Concreto Puro
8- Argamassa e Concreto Armado
9- Argamassa e Argamassa Armada
10- Argamassa Armada e Concreto Puro
11- Argamassa Armada e Concreto Armado
12-Argamassa Armada e Argamassa

Figura 13 – Divisão dos grupos e configuração das placas protótipos de edificação.

Cada configuração de placa de cada grupo foi exposta à rede de comunicação sem fio durante 3 minutos considerando o cliente sendo o *lap-top*

e 3 minutos considerando o *smartphone* sendo o cliente. Foram coletadas medidas do tráfego da rede a cada 1 segundo, totalizando 180 medidas para cada configuração das placas. A Figura 14 ilustra a realização dos ensaios no 1º grupo (um único corpo de prova entre cliente e servidor).

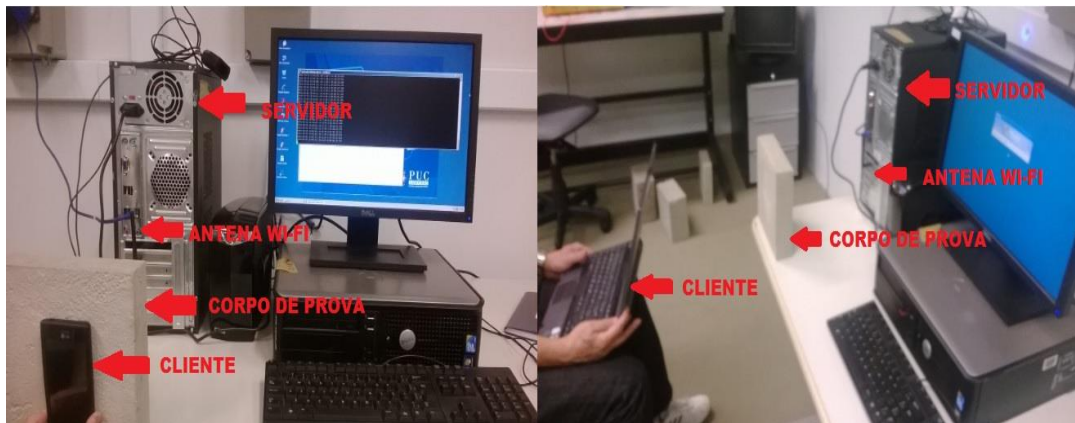


Figura 14 – Configuração dos ensaios no 1º grupo de testes.

Já a figura 15 ilustra como ocorreu a realização dos ensaios no 2º grupo (dois corpos de prova entre cliente e servidor).

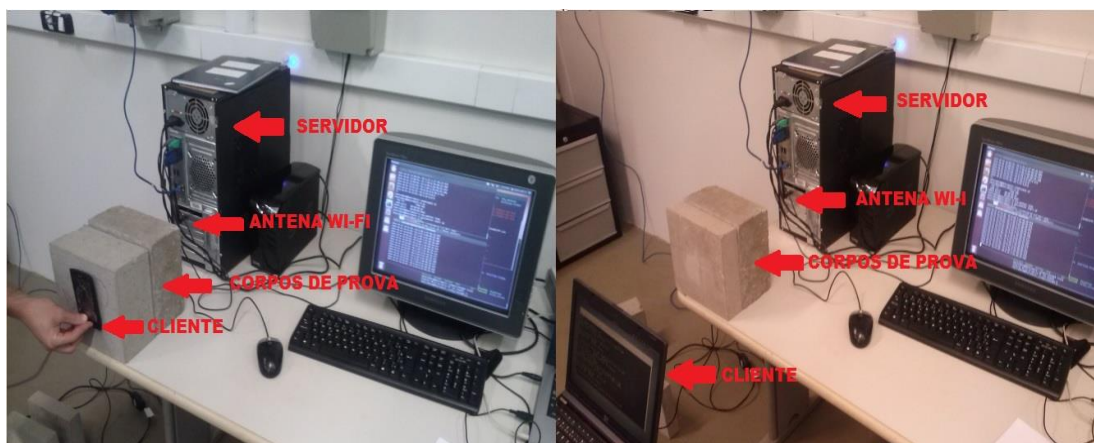


Figura 15 – Configuração dos ensaios no 2º grupo de testes.

3.4 Resultados

Com a finalização dos ensaios e a filtragem dos dados, foi possível realizar uma análise para a vazão do sinal (MB/s) com o padrão *Wi-Fi* IEEE 802.11. Nessa análise, foram utilizados parâmetros estatísticos como: média,

desvio padrão, variância, ponto máximo e ponto mínimo para os dados extraídos durante a transmissão ora com o *smartphone* e ora com o *lap-top* configurado em modo cliente, para os dois grupos de configuração dos corpos de prova. Os resultados desta análise, assim como os dados dos parâmetros estatísticos calculados, para a vazão do sinal com o padrão *Wi-Fi* IEEE 802.11 encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados para análise da Vazão (MB/s).

	SMARTPHONE					LAPTOP				
	Média da Vazão (MB/s)	Desvio Padrão (MB/s)	Variância (MB/s) ²	Máximo (MB/s)	Mínimo (MB/s)	Média da Vazão (MB/s)	Desvio Padrão (MB/s)	Variância (MB/s) ²	Máximo (MB/s)	Mínimo (MB/s)
1º Grupo										
Configuração das Placas										
1- Concreto	29,61	0,55	0,3025	30,38	27,12	29,78	2,41	5,8081	30,63	15,35
2- Concreto Armado	29,26	1,88	3,5344	30,09	5,68	29,43	3,42	11,6964	30,6	6,3
3- Argamassa	29,43	0,6	0,36	30,33	26,98	26,55	7,12	50,6944	30,61	7,09
4- Argamassa Armada	29,32	0,58	0,3364	30,27	25,65	29,52	2,85	8,1225	30,58	13,75
Média dos Valores	29,405	0,9025	1,13	30,2675	21,3575	28,82	3,95	19,08035	30,605	10,6225
2º Grupo										
Configuração das Placas										
1- Concreto e Concreto Armado	28,91	0,77	0,59	29,80	25,20	29,08	3,21	10,30	30,63	14,65
2- Concreto e Argamassa	28,17	2,44	5,95	29,79	8,74	29,36	3,39	11,49	30,62	11,77
3- Concreto e Argamassa Armada	28,28	2,14	4,58	29,89	5,30	29,57	2,80	7,84	30,57	15,11
4- Concreto Armado e Concreto	28,73	0,77	0,59	30,07	23,80	27,07	7,25	52,56	30,64	8,23
5- Concreto Armado e Argamassa	29,35	0,50	0,25	30,19	27,24	29,27	3,40	11,56	30,64	13,99
6- Concreto Armado e Argamassa Armada	28,86	1,51	2,28	30,24	13,51	29,52	3,24	10,50	30,73	10,07
7- Argamassa e Concreto	29,17	1,20	1,44	30,06	16,78	27,79	5,56	30,91	30,55	11,33
8- Argamassa e Concreto Armado	28,56	1,93	3,72	30,35	15,77	29,42	2,94	8,64	30,50	13,45
9- Argamassa e Argamassa Armada	29,35	0,67	0,45	30,29	25,44	29,47	2,94	8,64	30,61	13,79
10- Argamassa Armada e Concreto	29,33	0,61	0,37	30,23	26,81	29,21	3,28	10,76	30,53	12,04
11- Argamassa Armada e Concreto Armada	29,22	0,85	0,72	30,12	20,58	29,38	2,83	8,01	30,53	15,14
12- Argamassa Armada e Argamassa	29,22	0,56	0,31	30,22	26,94	29,19	3,06	9,36	30,62	14,38
Média dos Valores	28,93	1,16	1,77	30,10	19,68	29,03	3,66	15,05	30,60	12,83
Comparação 2º Grupo com o 1º Grupo	2%	29%	56%	-1%	-8%	0,7%	-7%	-21%	0%	21%

Pôde-se observar na Figura 9, que na média geral dos resultados, a configuração composta por duas placas apresentou maior variação na vazão do sinal com o padrão *Wi-Fi IEEE 802.11* (quando observados os resultados de média da vazão dentro das configurações do próprio grupo), para os ensaios

realizados com o *smartphone* configurado como cliente, como pode ser observado também nas figuras 16 e 17 respectivamente.

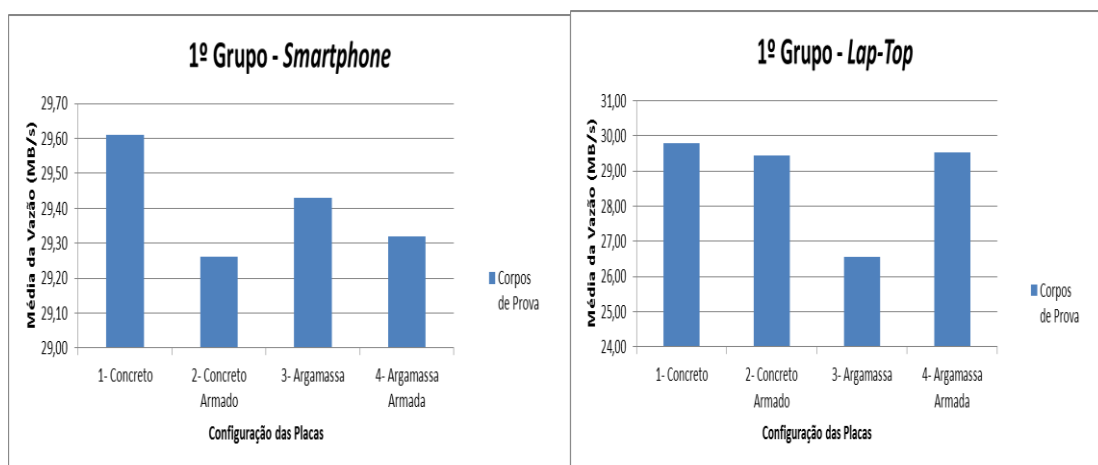


Figura 16 – Comparação dos Resultados do 1º Grupo.

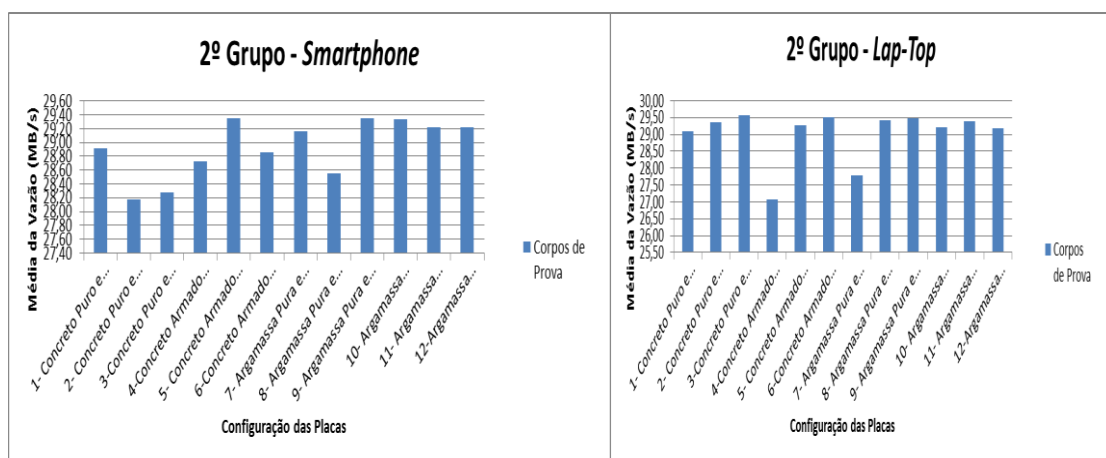


Figura 17 – Comparação dos Resultados do 2º Grupo.

3.5 Discussão dos resultados

Os ensaios permitiram avaliar que houve variação na vazão do sinal (analisando o comportamento da mesma durante o ensaio), principalmente quando o cliente foi o *smartphone* considerando os ensaios do segundo grupo

(variação de 2%). Quando o cliente foi o *lap-top*, houve uma variação de cerca de 1% entre os ensaios realizados para o primeiro grupo e para o segundo grupo.

Em um quadro geral a maior média atingida pelo *smartphone* foi na configuração 1, com a tipologia construtiva de concreto com maior média da vazão do sinal, em 29,61 MB/s. Já o *lap-top*, também atingiu sua maior média da vazão do sinal na configuração 1, com 29,78 MB/s.

Portanto, a partir dos resultados obtidos, é possível concluir que existe variação nos valores de vazão do sinal para dispositivos de *hardware* reduzido quando configurados como clientes em um *set-up* de transmissão do sinal *Wi-Fi* com o padrão IEEE 802.11, sendo que a maior variação de valores da vazão do sinal, foi obtida quando o cliente da rede era o *smartphone*.

4. Análise da Transmissão Sem Fio Padrão IEEE 802.15.4 em Tipologias de Concreto e Argamassa

Conforme citado anteriormente, existe, atualmente, uma forte tendência de crescimento da utilização de tecnologias de comunicação sem fio. Na área de sistemas de transmissão sem fio, existem vários padrões de comunicação sendo um deles o padrão IEEE 802.11 abordado no capítulo anterior. Outro padrão utilizado para a comunicação sem fio é o padrão IEEE 802.15.4, desenvolvido com o intuito de atender soluções portáteis com baixo consumo de energia elétrica e baixo custo de implementação do sistema [30]. Esse padrão é amplamente utilizado por suas características de qualidade e desempenho, tendo aplicações em monitoramento da qualidade de energia, monitoramento de temperatura em ambientes internos e externos, monitoramento da qualidade de transmissões sem fio dentre outras aplicações [30].

Conforme apresentado no capítulo anterior, espera-se que as tipologias de elementos construtivos existentes no meio urbano possam causar interferência na transmissão de dados sem fio, uma vez que o sinal de transmissão dos sistemas sem fio sofre degradações ao longo de seu percurso e essas degradações podem ser causadas por diversos elementos como: paredes, edifícios, mobília, carros, quantidade de usuários do sistema, distância entre o elemento transmissor e o receptor e até mesmo a quantidade de pessoas presentes no ambiente em que acontece a transmissão de dados [31].

Uma vez que o padrão IEEE 802.15.4 também é amplamente utilizado no ambiente construído, é de fundamental importância analisar a transmissão de dados com esse padrão. De forma mais específica, este capítulo trata da análise da utilização das redes de transmissão sem fio padrão IEEE 802.15.4 como possibilidade de solução tecnológica de transmissão de dados para o monitoramento de zonas térmicas em edificações. Para tanto, foi implementada uma bancada de testes composta por dois módulos de rádio operando com o padrão IEEE 802.15.4, sendo um utilizado como base e outro utilizado como módulo sensor, conectados a um *desktop*.

4.1 Abordagem metodológica

A abordagem metodológica desta análise utilizou os corpos de provas moldados e descritos no Capítulo 2, porém houve a implementação de um sistema de transmissão sem fio com o padrão IEEE 802.15.4, conforme ilustra a Figura 18 com o diagrama de blocos da montagem.



Figura 18 – Comunicação Sem Fio padrão *IEEE* 802.15.4

No diagrama de blocos da Figura 12, o desktop é responsável por estabelecer a comunicação com o módulo TX e armazenar os dados transmitidos por RX, o TX é responsável por enviar as ações de execução e gerência para o módulo RX, e por último RX é responsável em responder ao módulo de comunicação TX.

4.1.1 Sistema de Transmissão Sem Fio com o Padrão IEEE 802.15.4

Para a realização dos testes, foi implementado um sistema de transmissão sem fio com o padrão IEEE 802.15.4 composto por um par de rádios (RFBee) [32] que trabalham com tensão de entrada de 3,3V, podendo ser conectados diretamente a um ponto de energia (tomada) ou a uma bateria externa (pilha). Os rádios operam na faixa de Rádio Frequência (RF) de 915 MHz, sendo que cada rádio contém uma antena (AT), um Circuito Integrado (CI) do tipo CC1101, um microcontrolador Atmega 168, além dos pinos de entrada e saída de dados localizados nas extremidades de cada rádio. A Figura 19 ilustra o par de rádios descritos anteriormente.

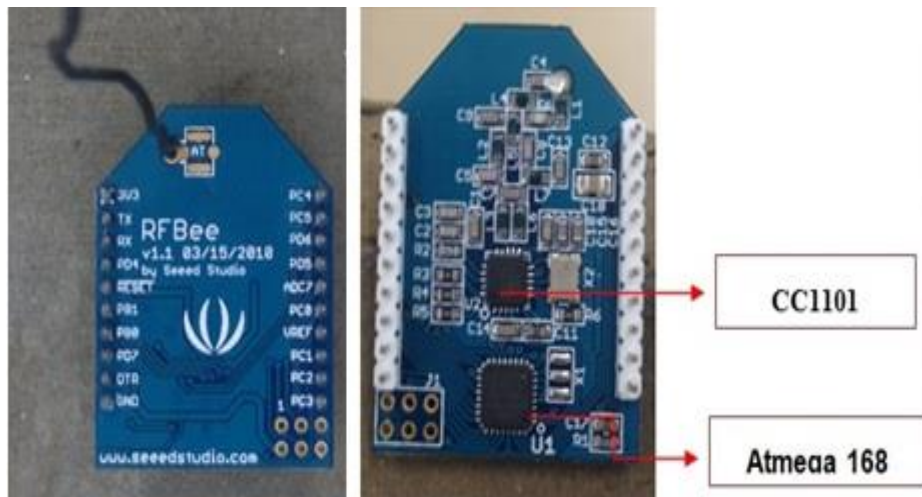


Figura 19 – Par de Rádios utilizados nos testes.

3.2.1.1 Circuito Integrado CC1101

Este CI corresponde a um transceptor por sua capacidade de configuração no nível lógico de programação em C, podendo atuar como transmissor (TX) ou como receptor (RX) do sinal com o padrão IEEE 802.15.4 [33].

3.2.1.2 Circuito Integrado Atmega 168

Este CI é um microcontrolador com capacidade de processamento e de realizar operações simultaneamente. Esse CI é da família Atmel 8 bits com 8 conversores do tipo analógico-digital (AD), capazes de converter um sinal de entrada analógico para um sinal de saída digital [34].

Na prática, um rádio foi configurado no ambiente de programação como transmissor e o outro rádio foi configurado no ambiente de programação como receptor, estabelecendo, assim, o *link* de transmissão sem fio com o padrão IEEE 802.15.4, onde o CI Transceptor CC1101 é responsável por estabelecer e realizar a transmissão dos dados e o CI Atmega 168 é responsável por realizar a gerência do sistema.

Os rádios operam por meio de comunicação serial o que possibilita a gravação do microcontrolador com interface UART pinos UART, Tx (Pino 2) e

UART Rx (Pino 3). A Figura 20 ilustra o processo de comunicação UART com os dispositivos RX e TX.

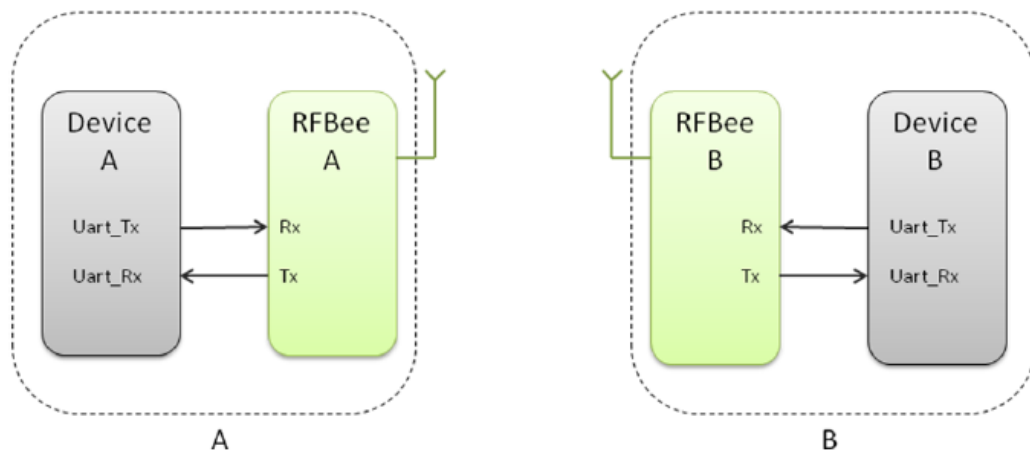


Figura 20 - RFBee interfaces UART Rx e Tx.(Manual RFBee versão 1.1, 2011)

O lado A da Figura 20, corresponde ao módulo TX do par de rádios onde este é responsável pela gerência e controle das ações a serem estabelecidas entre RX. Já o lado B da Figura 20 corresponde ao módulo RX, que recebe as informações de TX e posteriormente se reporta ao mesmo.

Os ensaios foram realizados colocando o par de rádios em linha de visada (um de frente para o outro) a uma certa distância (no 1º ensaio, 25 cm e no 2º ensaio, 1,90 m), sendo que os corpos de prova foram posicionados dentro da linha de visada dos rádios, conforme ilustra a Figura .21

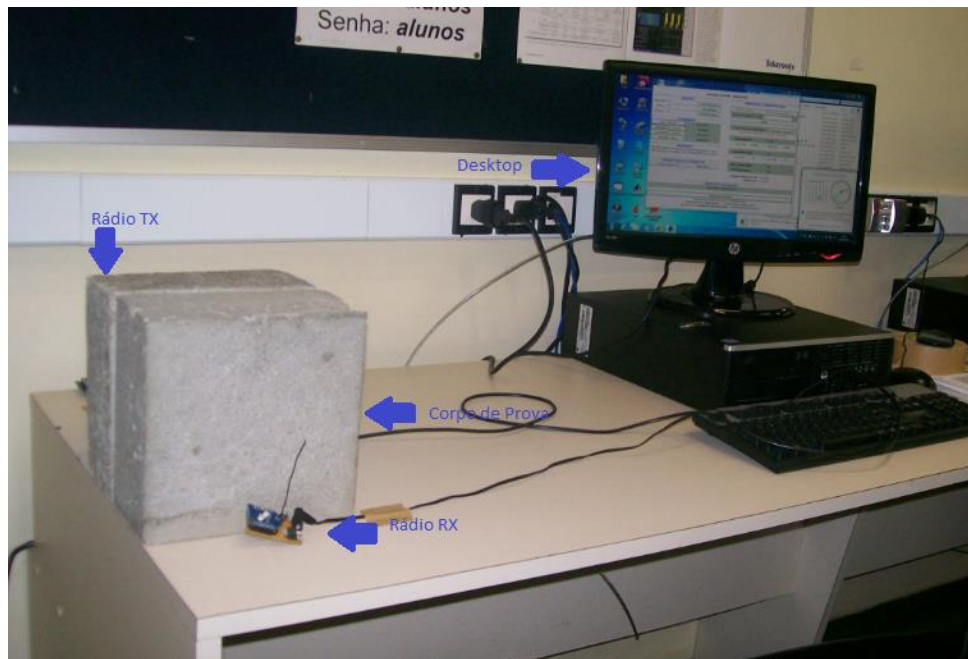


Figura 21 – Bancada Completa de Ensaio.

Esses ensaios foram divididos em dois grupos. O primeiro grupo conta apenas com um corpo de prova dentro da linha de visada dos rádios e o segundo grupo conta com dois corpos de prova dentro da linha de visada dos rádios. A Figura 22 apresenta a configuração das placas de corpos de prova utilizadas durante os ensaios, ordem semelhante à ordem apresentada na figura 13 do capítulo anterior.

1º Grupo
Configuração das Placas
1- Concreto
2- Concreto Armado
3- Argamassa
4-Argamassa Armada
Média dos Valores
2º Grupo
Configuração das Placas
1- Concreto e Concreto Armado
2- Concreto e Argamassa
3-Concreto e Argamassa Armada
4-Concreto Armado e Concreto
5- Concreto Armado e Argamassa
6-Concreto Armado e Argamassa Armada
7- Argamassa e Concreto
8- Argamassa e Concreto Armado
9- Argamassa e Argamassa Armada
10- Argamassa Armada e Concreto
11- Argamassa Armada e Concreto Armado
12-Argamassa Armada e Argamassa

Figura 22 – Configuração das placas de corpos de prova utilizadas nos ensaios.

Cada configuração foi exposta à rede de comunicação sem fio durante o período de 3 minutos, sendo que a cada 1 segundo foram coletados os dados de intensidade do sinal recebido (*Received Signal Strength Indication – RSSI*) em dBm. Este parâmetro de potência do sinal permite analisar e quantificar a qualidade do sinal da transmissão de dados no padrão IEEE 802.15.4.

4.2 Resultados

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos a partir de ensaios realizados no Laboratório de Eletrônica do CEATEC da PUC-Campinas.

4.2.1 Ensaio com distância entre TX e RX de 25 cm

Neste ensaio, a linha de visada estabelecida entre os rádios foi de 25 cm, que ficaram dispostos dessa forma durante 3 minutos sem nenhum obstáculo. Após os 3 minutos iniciais, começou o ensaio para o grupo 1 dos

corpos de prova, onde cada configuração de placa também ficou exposta à linha de visada por 3 minutos. A figura 23 ilustra o ensaio realizado.

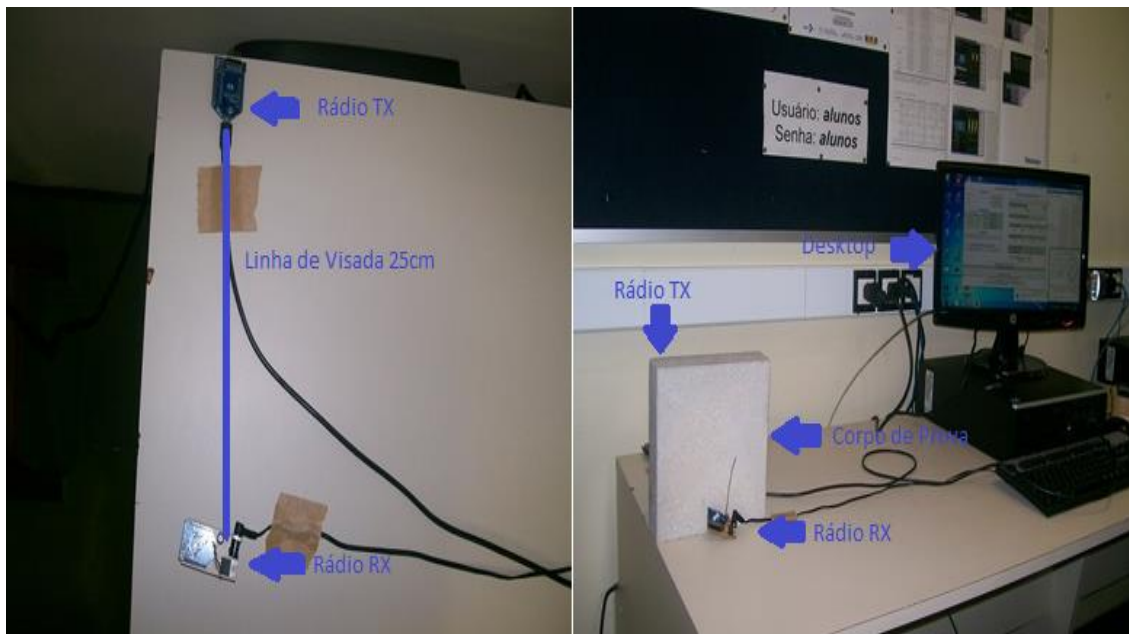


Figura 23 – Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 1.

Posteriormente, foi realizado o ensaio para a configuração dos corpos de prova do grupo 2. A figura 24 ilustra o ensaio do grupo 2 com linha de visada em 25 cm.

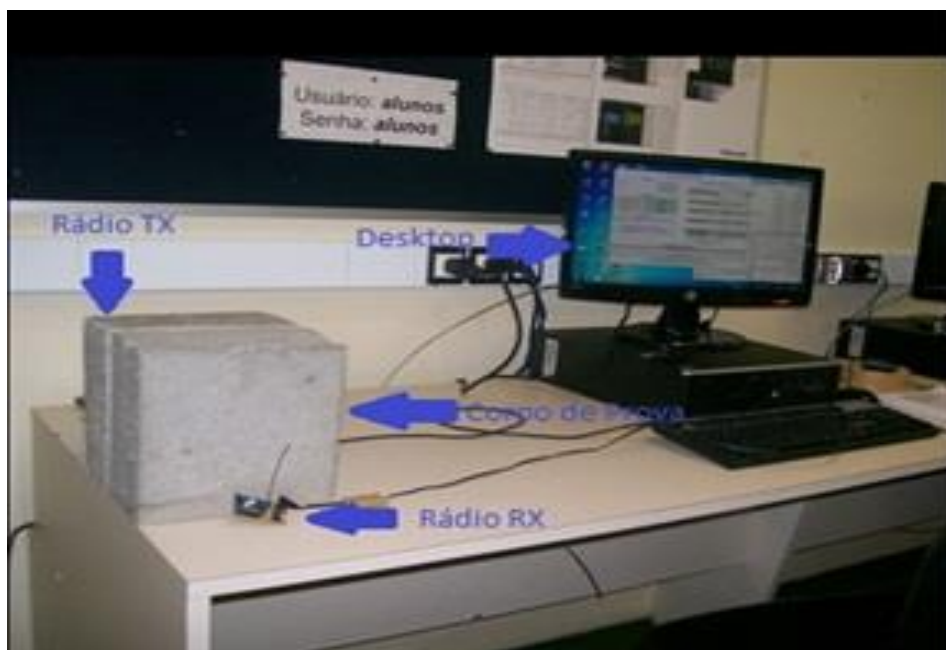


Figura 24 – Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 2.

Após o término destes ensaios, foram gerados gráficos com o resultado das médias da RSSI em dBm para o momento da transmissão sem fio de cada configuração dos corpos de prova. A figura 25 ilustra o gráfico do Grupo 1 e a Figura 26 ilustra o gráfico do Grupo 2.

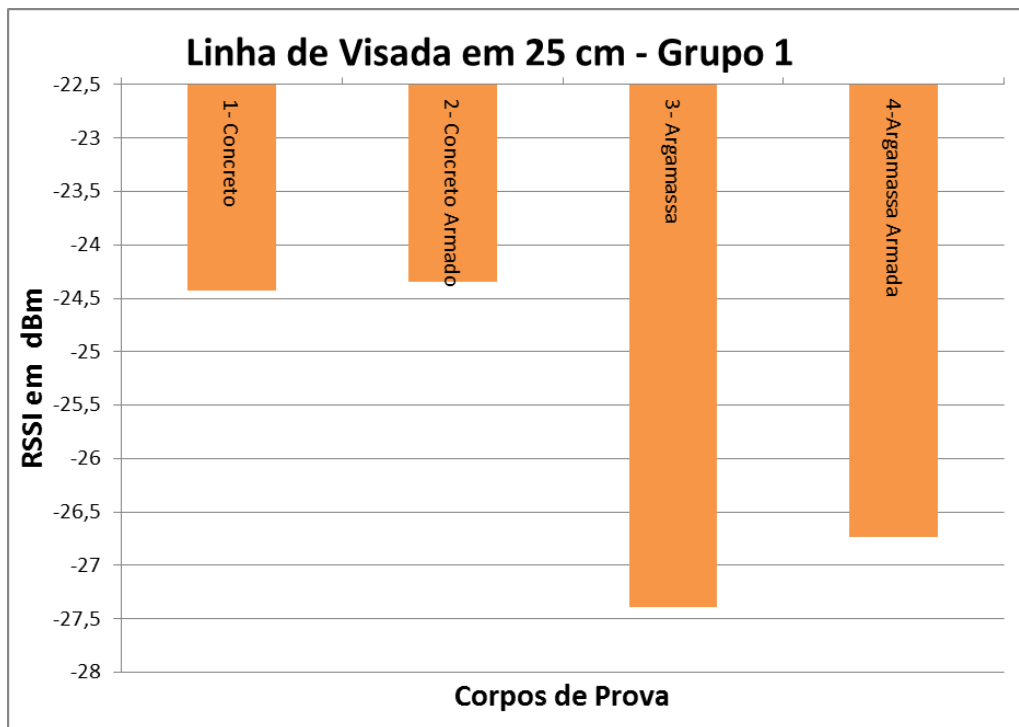


Figura 25 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 1.

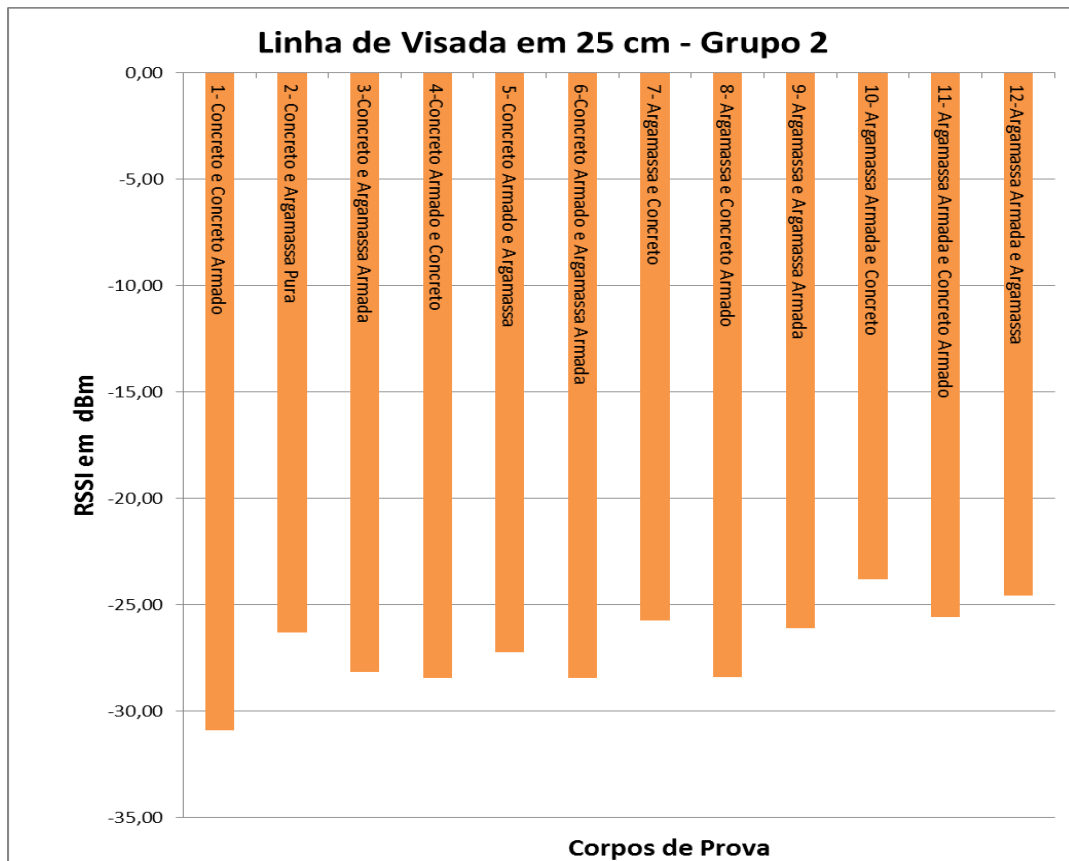


Figura 26 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 25 cm – Grupo 2.

Analisando os dados do ensaio com linha de visada em 25 cm, pôde-se constatar que, no Grupo 1, a configuração composta por concreto armado foi a que teve menor degradação do sinal em torno de -24,3 dBm, e a configuração composta por argamassa teve maior degradação do sinal, em torno de -27,3 dBm. Já no Grupo 2, a configuração de placas composta por argamassa armada e concreto foi a que apresentou menor degradação do sinal (ou seja, teve menos perda da potência do sinal), tendo média em torno de -24 dBm. No entanto, a configuração de placa composta por concreto puro e concreto armado foi a configuração que apresentou maior degradação do sinal, atingindo média geral em torno de -31 dBm.

4.2.2 Ensaio com distância entre TX e RX de 1,90 m

Para este ensaio, a linha de visada estabelecida foi de 1,90 m e, assim como no ensaio de linha de visada em 25 cm, os rádios, inicialmente, ficaram dispostos sem obstáculo por um período de 3 minutos. Em seguida, o ensaio prosseguiu com a configuração dos corpos de prova para o Grupo 1. A Figura 27 ilustra o ensaio em linha de visada em 1,90 m para o Grupo 1.



Figura 27 – Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 1.

Posteriormente, foi realizado o ensaio para a configuração dos corpos de prova do grupo 2. A Figura 28 ilustra o ensaio do Grupo 2 com linha de visada em 1,90 m.



Figura 28 – Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 2.

Com o término destes ensaios, foram construídos gráficos com os resultados das médias da RSSI em dBm para o momento da transmissão sem fio de cada configuração dos corpos de prova. A Figura 29 ilustra o gráfico do Grupo 1 e a Figura 30 ilustra o gráfico do Grupo 2.

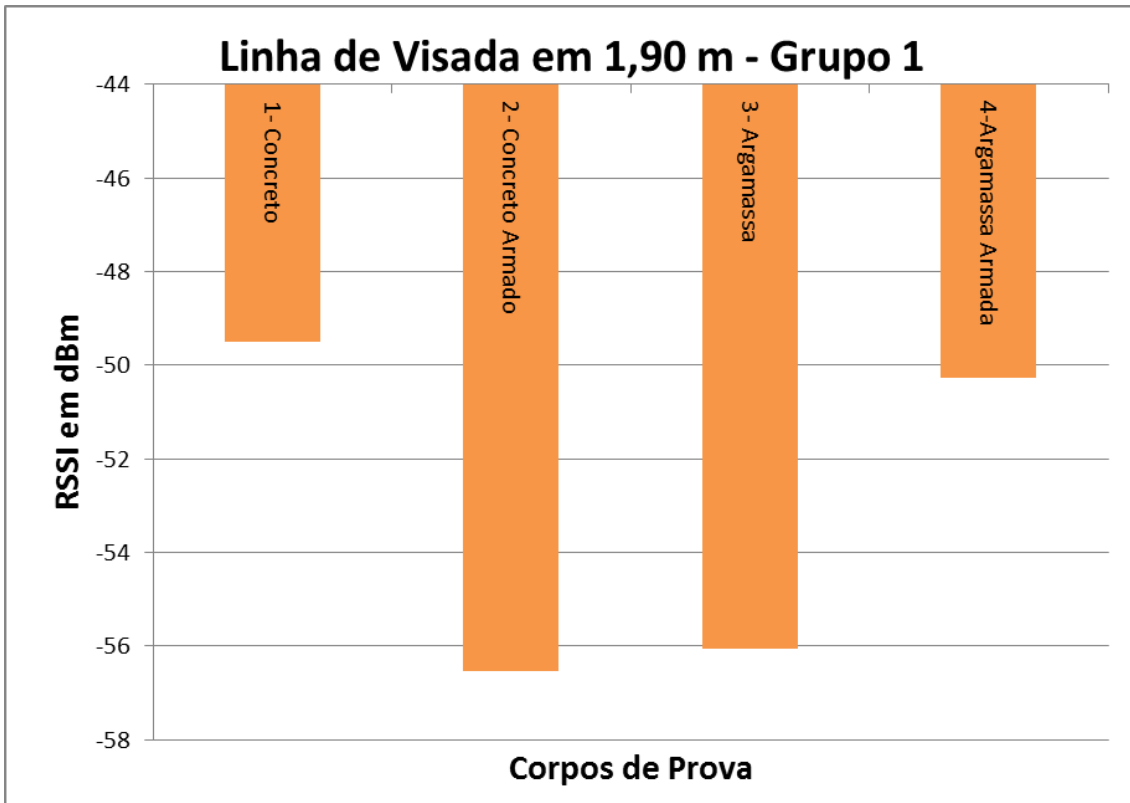


Figura 29 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 1.

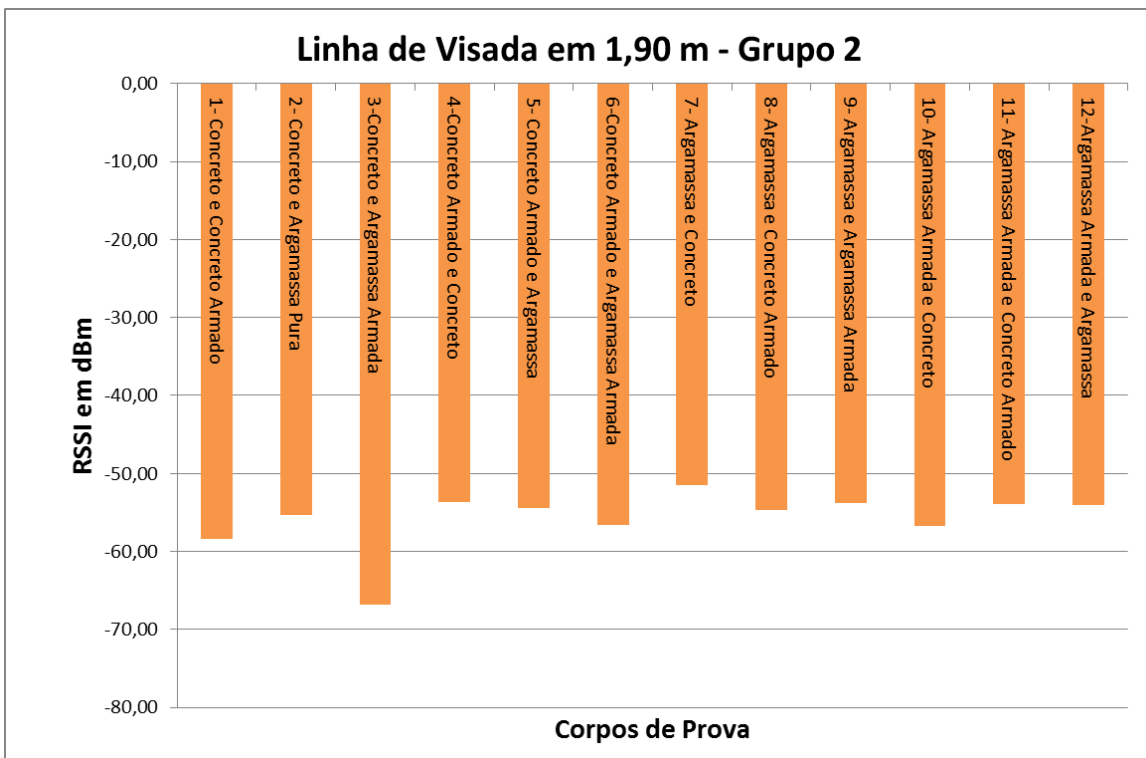


Figura 30 – Gráfico do Ensaio com Linha de Visada em 1,90 m – Grupo 2.

Efetuada a análise dos dados coletados durante o ensaio realizado com linha de visada em 1,90 m, é possível observar que, no Grupo 1, a configuração de placa composta por concreto foi a configuração com menor degradação do sinal (menos perda de intensidade de potência do sinal), atingindo média em torno de -49,5 dBm, porém a configuração com maior degradação do sinal foi concreto armado com média por volta de -56,5 dBm. Porém, os dados do Grupo 2 mostraram que a configuração de placa com menor degradação do sinal foi a argamassa pura e concreto com valor médio em -51 dBm, e a configuração composta por concreto e argamassa armada atingiu valor médio por volta de -68 dBm se destacando como a configuração de placas com maior degradação do sinal para o Grupo 2.

4.3 Discussão dos resultados

Com a realização dos ensaios e com a análise dos resultados obtidos, pôde-se concluir que existiu degradação do sinal com o padrão IEEE 805.15.4. No ensaio com linha de visada em 25 cm, o Grupo 1 (um corpo de prova colocado como obstáculo na linha de visada) apresentou uma degradação do sinal transmitido 13% maior que a degradação encontrada no ensaio realizado com o Grupo 2 (dois corpos de prova colocados como obstáculos na linha de visada). Já no ensaio realizado com linha de visada em 1,90 m, a degradação do sinal para o Grupo 1 foi 5% maior que a degradação do sinal encontrada no ensaio realizado com o Grupo 2.

Em um quadro comparativo com relação ao padrão IEEE 802.11 e o padrão IEEE 802.15.4, ambos apresentaram resultados satisfatórios, dentro das suas características de funcionamento. O padrão IEEE 802.11 tem como uma das suas vantagens robustez em relação ao seu alcance de atuação e ter mais dispositivos eletrônicos disponíveis como: *tablets*, *smatphones* e *smartvs*, com este tipo de tecnologia embarcada o que permite evoluir o *set-up* com uma aplicação de análise móvel das informações; porém, para que o servidor atue, é necessária infraestrutura de rede elétrica instalada na edificação.

No entanto, uma desvantagem para a utilização do padrão IEEE 802.15.4 é o seu alcance limitado a 100 m, pois a partir desta distância, a transmissão

de dados tende a perder pacotes com as informações tanto na transmissão quanto na recepção [35]. Já a principal vantagem do padrão IEEE 802.15.4 sobre o padrão IEEE 802.11 consiste no fato de não necessitar da infraestrutura de rede elétrica cabeada instalada, pois para o seu funcionamento o *set-up* pode ser alimentado por uma fonte externa de energia (pilha ou bateria), com baixo consumo de energia elétrica.

Com relação à degradação do sinal (vazão para o IEEE 802.11 e RSSI para o IEEE 802.15.4), comparando-se ambos os padrões, pode-se concluir que apresentaram desempenhos diferentes o padrão IEEE 802.11 apresentou degradação do sinal de 2% do Grupo 2 para com o Grupo 1. Já no padrão IEEE 802.15.4 apresentou 13% de degradação do sinal do Grupo 1 quando comparado com o Grupo 2 quando a linha de visada foi de 25 cm (mesma distância do ensaio no padrão IEEE 802.11), e 5% de degradação do sinal do Grupo 1 sobre o Grupo 2, quando a linha de visada foi de 1,90 m.

Portanto, em situações em que o monitoramento de grandezas na edificação (como a temperatura de superfície) exijam medições a longas distâncias (superiores a 100m), pode-se indicar a utilização do padrão IEEE 802.11. Por outro lado, situações que demandem tecnologia de comunicação com alimentação própria, pode-se indicar a utilização do padrão IEEE 802.15.4. Foi justamente devido a essa vantagem que o padrão IEEE 802.15.4 foi adotado para a implementação do sistema de monitoramento de temperatura do ar e de superfície em edificações, descrito no próximo capítulo.

5 Monitoramento de Temperatura do Ar e de Superfície em Edificações usando Redes Sem Fio Padrão IEEE 802.15.4

Este capítulo trata do desenvolvimento de um sistema de monitoramento capaz de realizar o monitoramento da temperatura do ar e de superfície em edificações, usando redes sem fio padrão IEEE 802.15.4. Na atualidade, as regiões metropolitanas em todo o mundo enfrentam diversos problemas no ambiente urbano, como o aumento da temperatura nos grandes centros urbanos, devido a vários fatores como: ilhas de calor, aumento da população, aumento do número de edificações, aumento do tráfego, etc. [36]. Esse aumento da temperatura se reflete nas diferentes tipologias de edificações disseminadas no meio urbano, podendo acarretar um aumento do consumo de energia elétrica associado ao funcionamento de equipamentos de resfriamento como, por exemplo, o ar-condicionado.

Nesse contexto, se o usuário de um ambiente estiver confortável tecnicamente, sua tendência é não utilizar o condicionamento de ar, portanto, o consumo de energia elétrica na edificação pode ser minimizado a partir da tomada de ações, baseadas na análise do desempenho e do conforto térmico da edificação. Nesse sentido, a referência [37] explora a caracterização do ambiente térmico urbano na cidade de Campinas no interior do Estado de São Paulo, investigando a influência da estrutura urbana e o ambiente térmico nos espaços urbanos abertos, concluindo que existe diminuição da temperatura da edificação quando existem áreas de vegetação no perímetro urbano.

Já o Laboratório de Eficiência Energética (Labeec) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em pesquisa no tema de sustentabilidade nas edificações, mostrou um panorama geral sobre a sustentabilidade nas edificações existentes no cenário mundial [38]. Essa referência mostra que a redução dos impactos na construção civil não se trata de uma tarefa fácil e, se otimizada, comprova que as edificações podem consumir menos recursos e, conseqüentemente, energia elétrica, mantendo o conforto térmico.

Inúmeros estudos mostraram que o meio atmosférico urbano vem sofrendo alterações em relação ao meio atmosférico rural. A principal delas é a elevação da temperatura, provocando as chamadas “ilhas de calor”. O surgimento

dessas ilhas se dá pelo conjunto denso e compactado de edificações no centro das cidades. Modificar um elemento climático causa grande impacto ecológico, pois causa desconforto aos habitantes e aumenta a concentração de poluentes. Esse aumento da temperatura, em contrapartida, se reflete nas diferentes tipologias de edificações, disseminadas no meio urbano como concreto puro, concreto armado, argamassa, argamassa armada, blocos de concreto, etc. [39].

Atualmente, existem diversas normas técnicas afim de regulamentar as condições de conforto térmico como por exemplo: ISO 11079-2007 [40] que trata da determinação e interpretação do estresse térmico por frio, utilizando isolamento requerido de vestimenta; ISO 8996-2004 [41] que trata da ergonomia do ponto de vista da determinação da produção de calor metabólico; ISO 9920-2007 [42] que aborda ergonomia de ambientes térmicos através da estimativa de isolamento térmico e resistência evaporativa de um traje; NR 15 [43] desenvolvida pelo Ministério do Trabalho que cuida dos limites de tolerância para exposição ao calor, dentre outras [38].

Essas grandezas são monitoradas, atualmente, por diversos tipos de sensores, como sensores compostos de sondas específicas para aferição de temperatura do ar, temperatura de superfície, temperatura ambiente, temperatura radiante média, velocidade do vento, existindo também a necessidade de outros elementos como *data-loggers*, globos negros, etc, para o monitoramento, aquisição e armazenamento dessas grandezas [38]. Uma das soluções existentes para aferição de dados de conforto térmico de uma edificação são os sensores de temperatura de superfície e sensores de temperatura do ar, amplamente difundidos e disponíveis no mercado que são instalados nas edificações, coletando os dados de temperatura (em alguns casos até por um ano) para inferir o comportamento da temperatura na edificação durante as estações do ano [44]. Porém, estes sensores, na maioria de suas aplicações, não trabalham com a transmissão dos dados em modo sem fio [44]. Contudo, a transmissão sem fio se faz importante pois faz com que o sistema de aquisição dos dados da temperatura se torne mais robusto, permitindo que se necessite de menos recursos humanos realizando a manutenção do sistema.

Nesse contexto, o presente capítulo propõe a implementação de um sensor de temperatura do ar e de um sensor de temperatura de superfície utilizando o padrão de transmissão sem fio IEEE 802.15.4. Conforme citado anteriormente a escolha desse padrão se deve ao fato de ser uma solução de baixo custo, com capacidade de armazenamento dos dados adquiridos, capaz de transmitir os dados de temperatura de maneira sem fio, sem a necessidade de uma fonte externa para a alimentação dos sensores.

5.1 Abordagem metodológica

A abordagem metodológica deste capítulo está dividida em três etapas: o módulo sensor que consiste no desenvolvimento e construção dos sensores de temperatura do ar e de temperatura de superfície; o módulo rádio responsável pela transmissão sem fio (com o padrão IEEE 802.15.4) dos dados de temperatura; e o protótipo que consiste na unificação do módulo sensor e do módulo rádio, como pode ser visto no diagrama de blocos ilustrado da Figura 31.

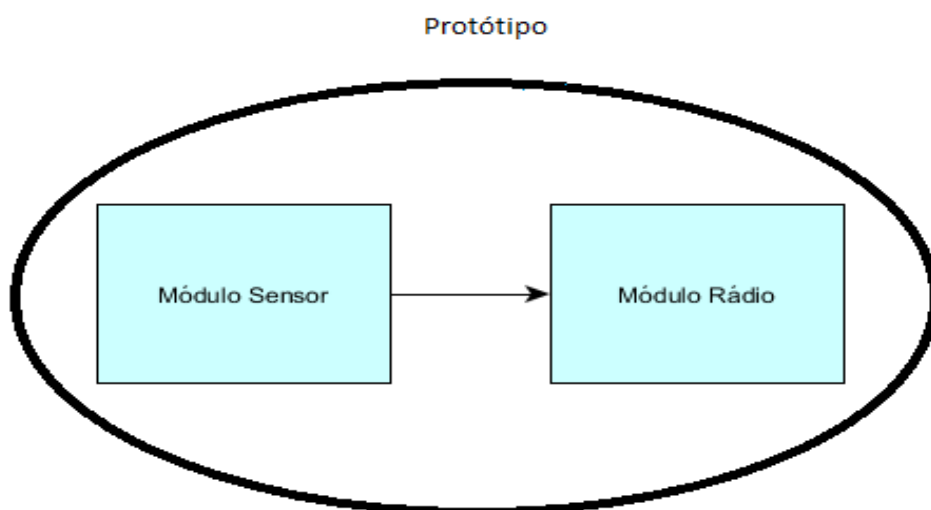


Figura 31 – Diagrama de blocos do protótipo.

Neste diagrama de blocos, do protótipo desenvolvido, o módulo sensor corresponde aos sensores de temperatura do ar e de temperatura de superfície desenvolvidos; o módulo rádio corresponde à tecnologia de transmissão de

dados sem fio com o padrão IEEE 802.15.4, formando assim o protótipo como um todo.

5.1.1 Módulo Sensor de Temperatura de Superfície

5.1.1.1 Simulação computacional

Antes de efetuar os testes de bancada, foi realizada uma simulação computacional, utilizando o *software Ansys*, versão 15.0.1.1R15.0 -*ACADEMIC*. Essa simulação tinha por objetivo verificar a influência da massa do sensor proposto na medição da temperatura de superfície. Isso foi feito a partir da análise do comportamento da temperatura de superfície em função do tempo, em uma tipologia construtiva utilizada em edificações, quando a mesma é aquecida por uma fonte externa de calor.

Para isso, houve a necessidade de modelar em três dimensões (3D) a geometria do sensor proposto. A geometria foi modelada inicialmente no *software Sketchup*, quando importada para o *Ansys* apresentou erros de incompatibilidade, sendo então necessário modelar novamente a geometria no *software Auto-cad Professional 3D*, exportando como um sólido em extensão “.iges”.

Esse sensor foi projetado com uma cápsula composta por quatro placas de cortiça na seguinte dimensão: 40 mm X 15 mm, com 3 mm de espessura e uma placa de alumínio com as mesmas dimensões das placas de cortiça, porém com 1 mm de espessura, em formato retangular. A Figura 32 ilustra, em perspectiva, o sensor proposto.

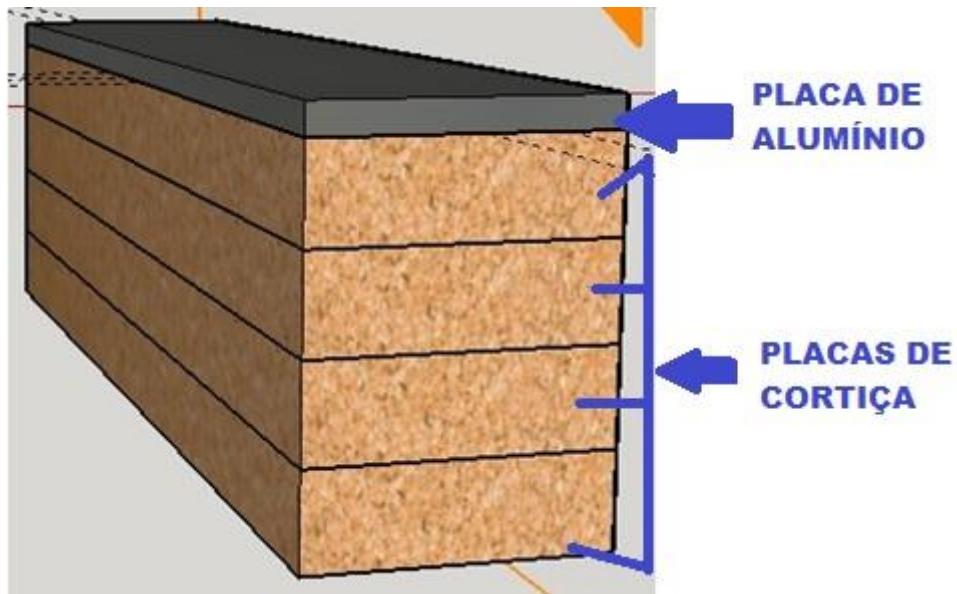


Figura 32 – Modelagem em 3D do sensor proposto em perspectiva.

Na figura 32 disposta em perspectiva, é possível visualizar a estrutura da cápsula modelada em 3D, composta por quatro placas de cortiça e uma placa de alumínio.

Já a Figura 33 ilustra a vista lateral do sensor proposto. O lado esquerdo da figura representa o sensor proposto e o lado direito da figura representa a vista lateral em corte, onde pode-se visualizar o transdutor de temperatura no interior da capsula.

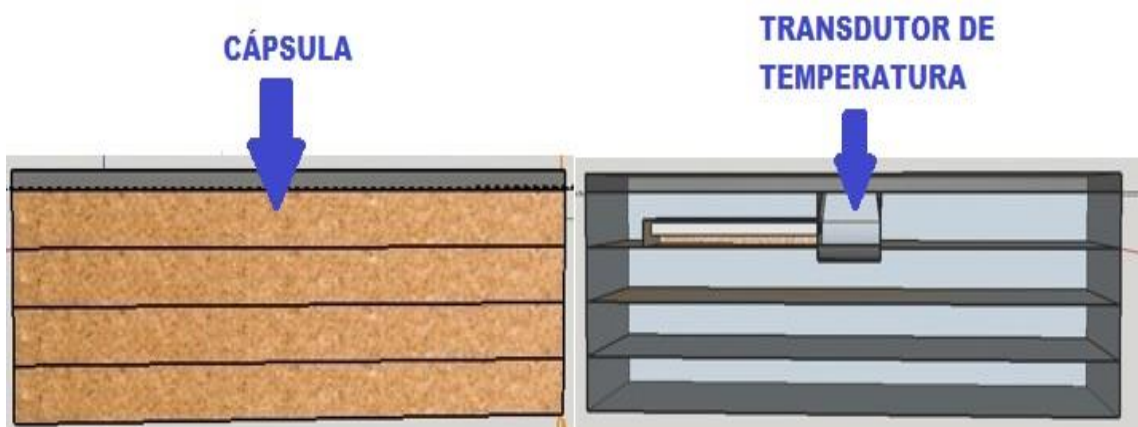


Figura 33 – Modelagem em 3D do sensor proposto, vista lateral do sensor proposto.

O corpo de prova de concreto, já descrito anteriormente, também foi modelado em 3D, respeitando as características da tipologia de uma parede de concreto, porém com dimensões menores. A Figura 34 ilustra o corpo de prova e o sensor de temperatura de superfície modelados em 3D.

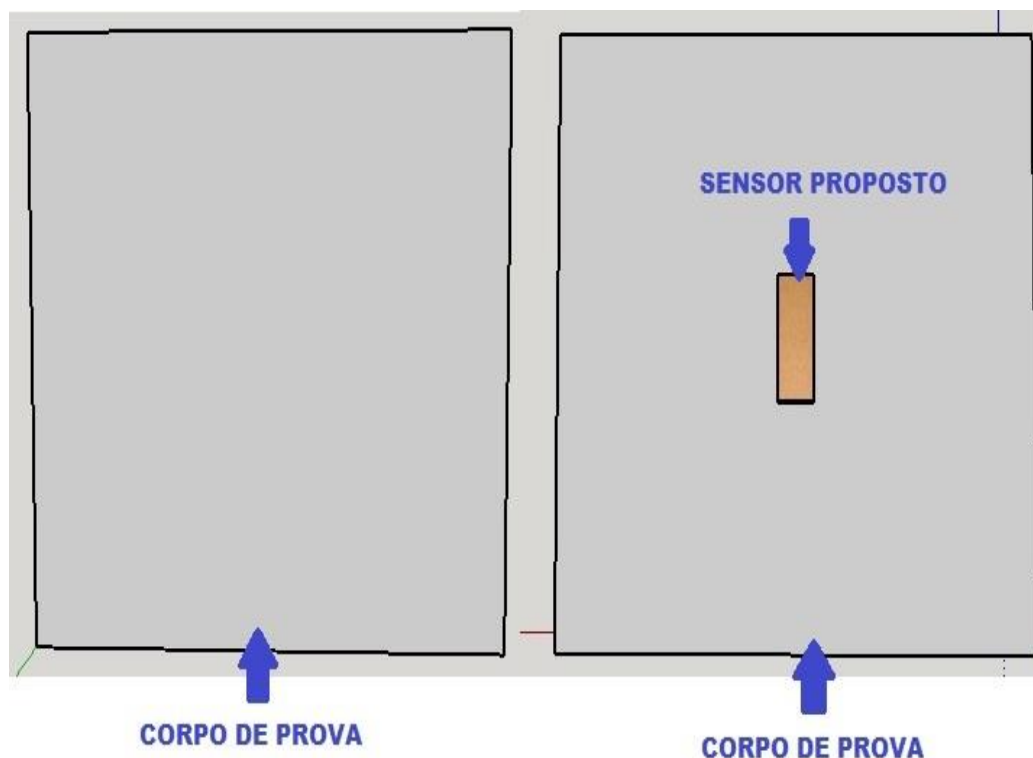


Figura 34 - Modelagem em 3D do corpo de prova de concreto.

O lado esquerdo, da figura representa a face traseira do corpo de prova, já o lado direito da figura representa a face frontal do corpo de prova onde foi posicionado o sensor de temperatura. Na figura 35 é possível visualizar em perspectivas as faces apresentadas na figura 34.

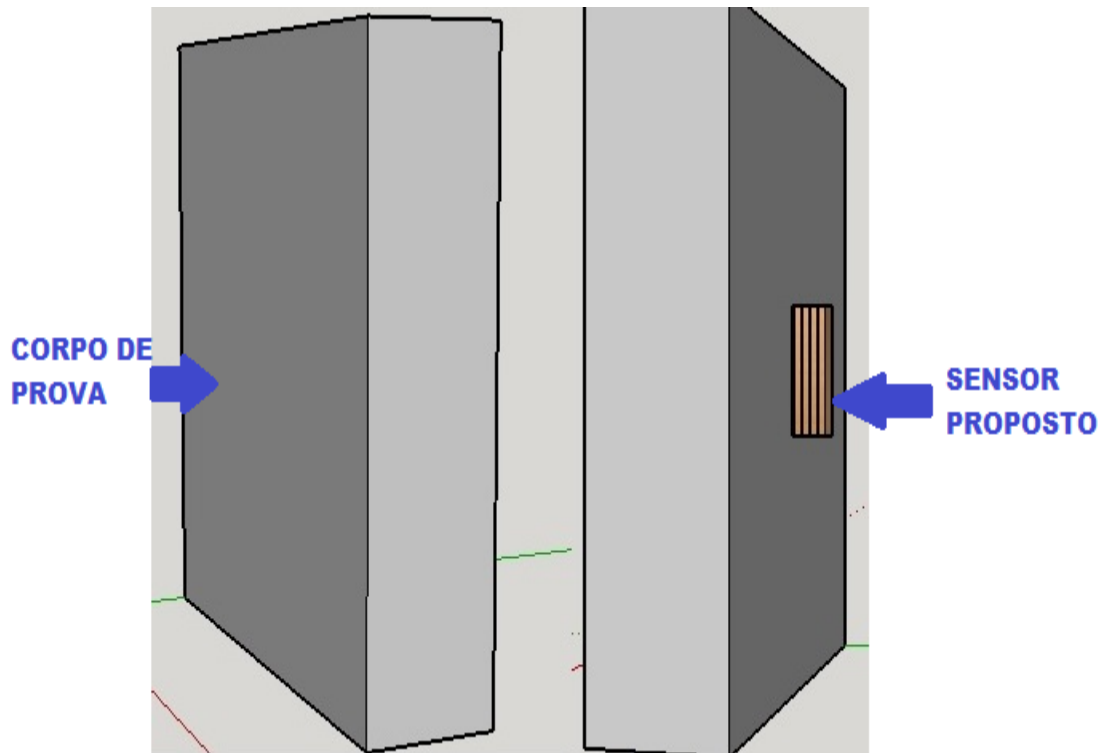


Figura 35 - Modelagem em 3D perspectiva do corpo de prova de concreto.

Com o término, da modelagem em 3D tanto do corpo de prova de concreto, como do sensor de temperatura, este arquivo em 3D foi importado para o ambiente de simulação do *software* Ansys. A figura 36 ilustra a modelagem em 3D importada dentro do simulador.

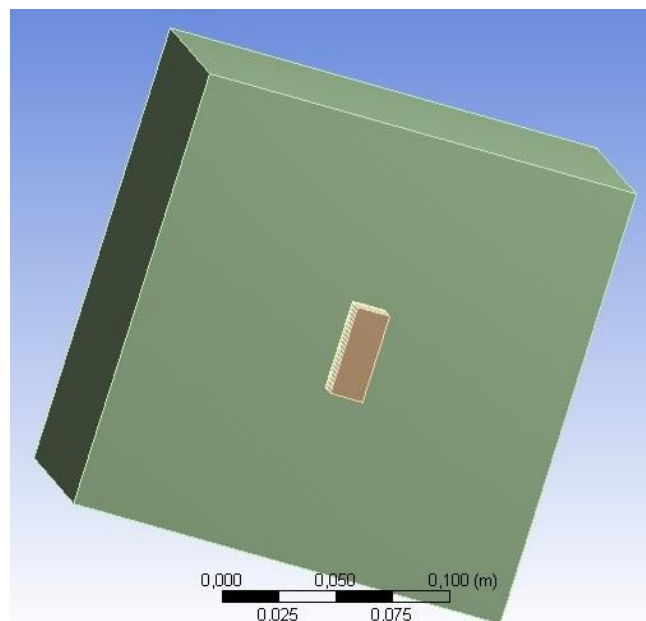


Figura 36 - Vista frontal da Modelagem em 3D importada dentro do *software* de simulação Ansys.

Este *software* de simulação resolve as condições configuradas nos objetos importados em 3D, a partir do Método dos Elementos Finitos, técnica que permite analisar estruturas sólidas do ponto de vista de sua resistência, sua flexibilidade, sua resposta em uma condição de aquecimento, dentre outras aplicações. E para isto, é necessário criar uma malha sobre toda a estrutura que se deseja simular. Na figura 37, é apresentada a malha criada sobre os objetos da simulação.

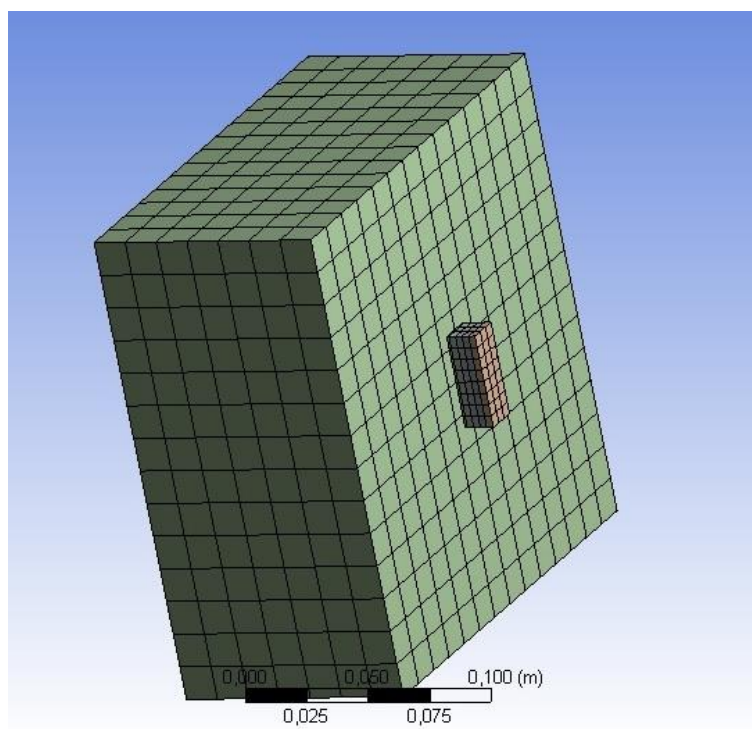


Figura 37 - Vista lateral da Modelagem em 3D importada no ambiente de simulação do *software* de simulação *Ansys*.

Uma vez que a malha foi gerada sobre os objetos que se deseja simular, é possível configurar os parâmetros da simulação. Neste caso, foi inserido o dado convencional para a temperatura ambiente de um objeto sólido de 22° C, o tempo total para análise do comportamento da temperatura ao longo dos objetos da simulação, que para este simulação foi de 3600 segundos (o equivalente a uma hora), a face que irá receber a incidência de calor, seguida do valor da temperatura. Para essa simulação, a face escolhida foi a face oposta à face em que se encontra o sensor e a temperatura configurada foi de

90° C. A figura 38 destaca, em vermelho, a face escolhida para receber a temperatura de aquecimento no valor de 90° C.

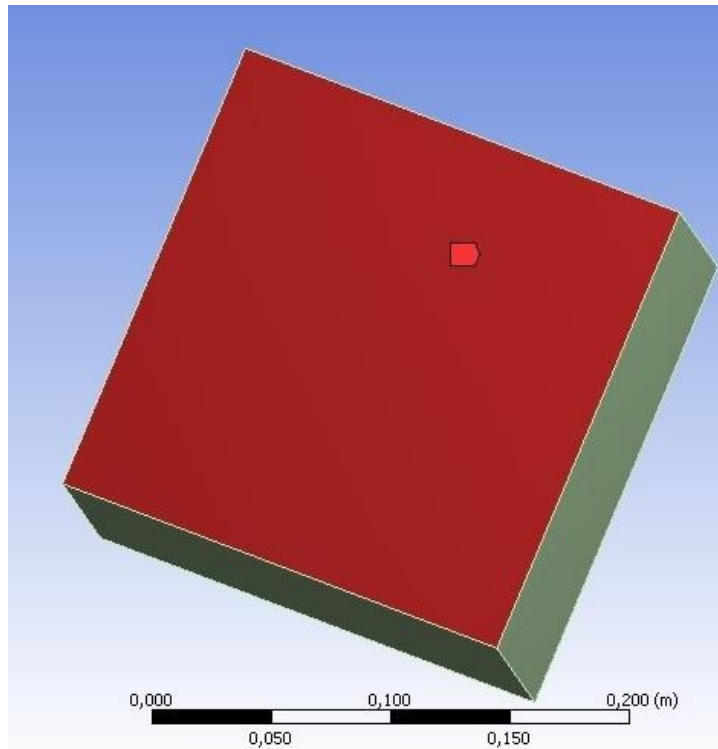


Figura 38 - Face do corpo de prova, escolhida para receber a condição de aquecimento.

5.1.1.2 Resultados da simulação computacional

A Figura 39 ilustra a vista frontal da distribuição de temperatura da simulação.

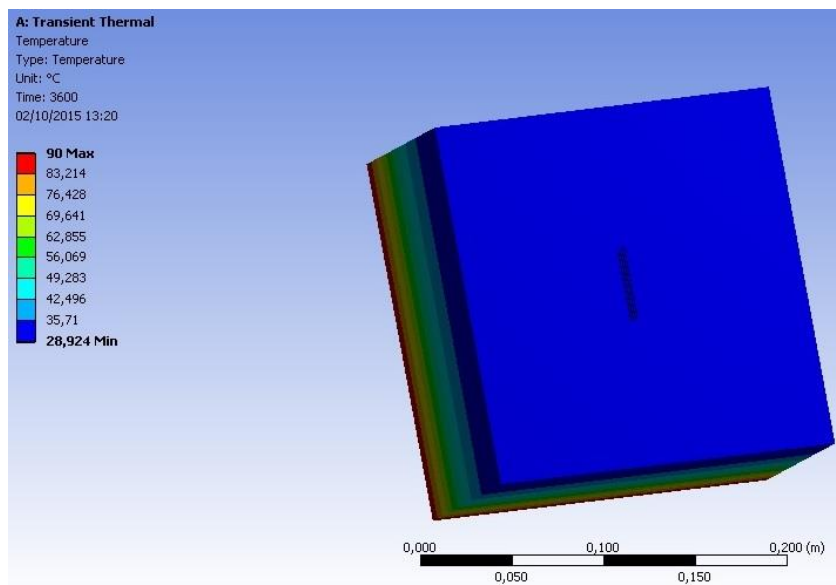


Figura 39 - Vista frontal da distribuição de temperatura da simulação ao longo da estrutura simulada.

Já na figura 40, é possível visualizar a vista lateral da distribuição de temperatura da simulação térmica realizada.

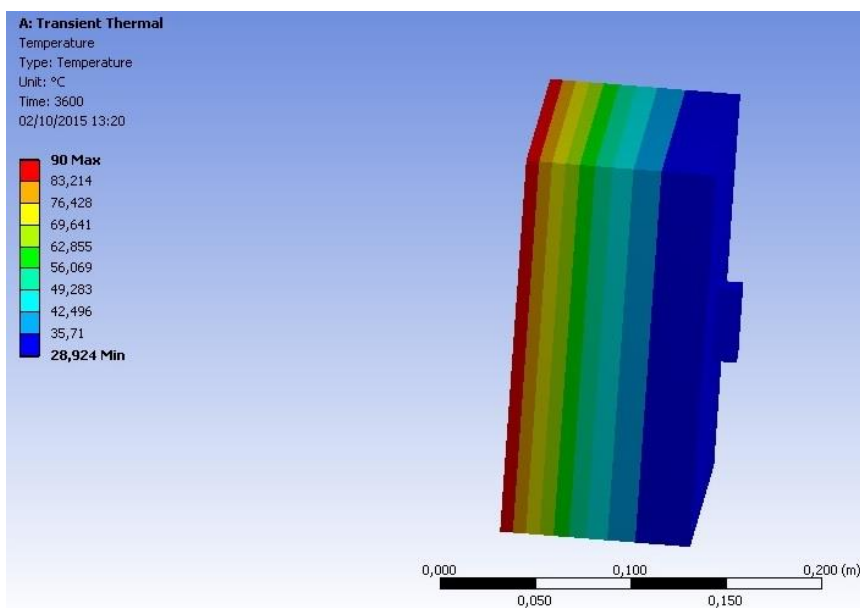


Figura 40 - Vista lateral, da distribuição de temperatura da simulação ao longo da estrutura simulada.

Nesta simulação foram gerados três gráficos, sendo eles: comportamento da temperatura na face do concreto, comportamento da temperatura na placa de alumínio da cápsula do sensor, comportamento da temperatura no

transdutor. Estes gráficos gerados estão apresentados nas Figuras 41, 42 e 43, respectivamente.

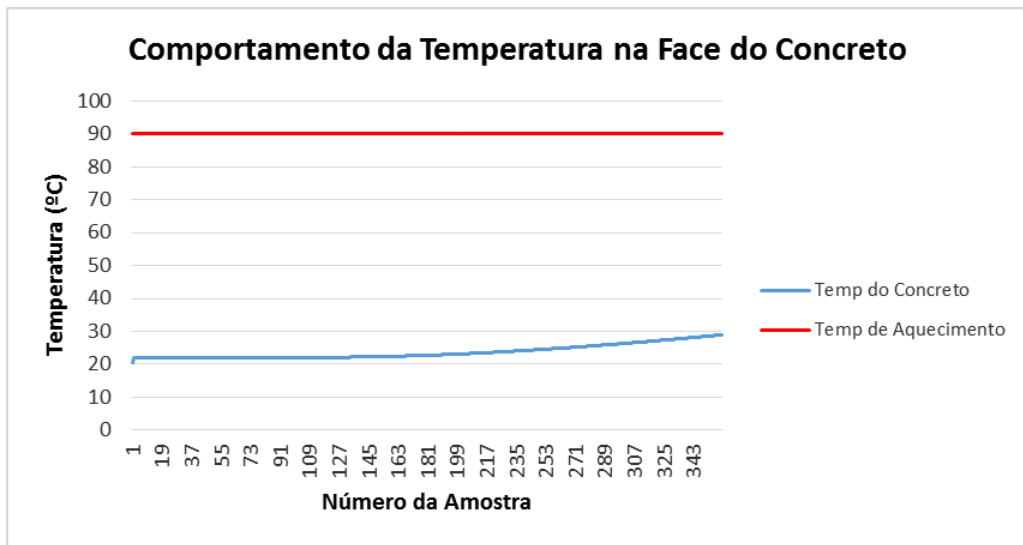


Figura 41 - Comportamento da temperatura na face do concreto.

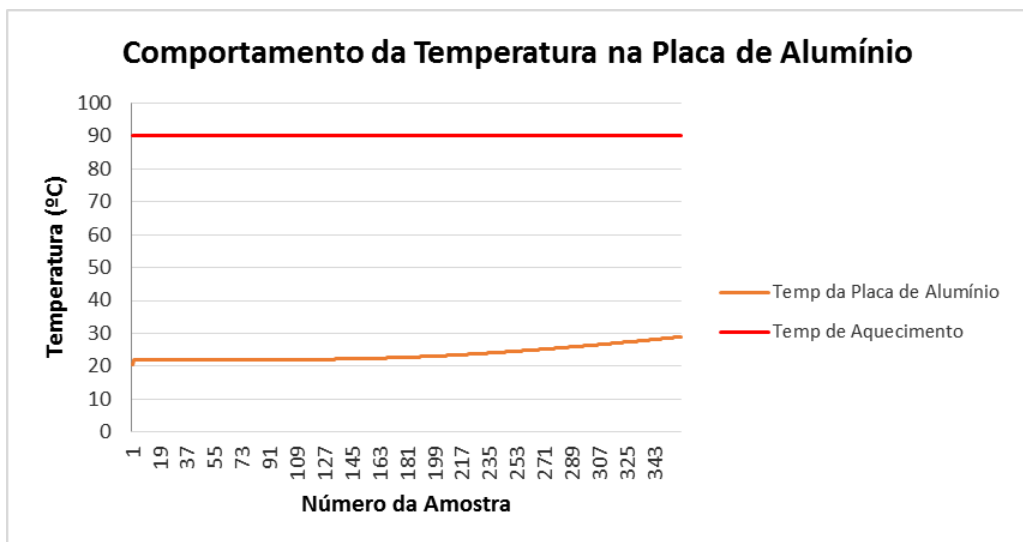


Figura 42 - Comportamento da temperatura na placa de alumínio da capsula do sensor.

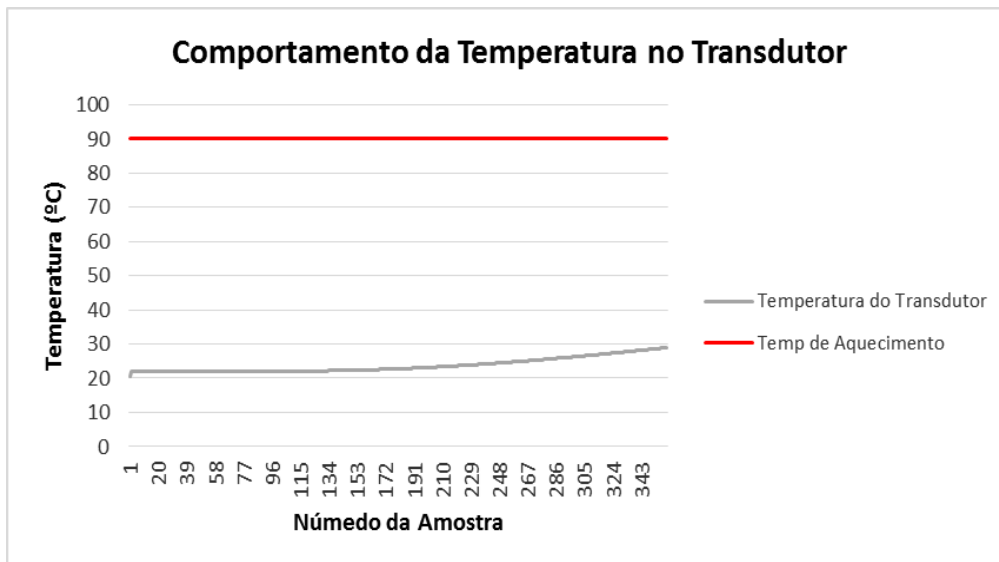


Figura 43 - Comportamento da temperatura no transdutor.

Através desta simulação computacional realizada, foi possível constatar o comportamento da temperatura ao longo do corpo de prova de concreto que variou, dentro do range de 90°C na face com a condição de aquecimento direto à 28,92°C na face onde o sensor de temperatura estava posicionado.

Outro dado importante, que vale ressaltar no diagrama de cores da simulação foi ter a comprovação de que a massa do sensor construído não interferiu na massa do corpo de prova, pois a mesma temperatura aferida no corpo de prova foi aferida na placa de alumínio da cápsula do sensor e também no transdutor de temperatura, como apresentado nos gráficos das Figuras 41, 42 e 43.

Também foram construídos gráficos com as diferenças de temperaturas, na Figura 44 encontra-se o gráfico a diferença entre a temperatura do concreto e a temperatura do alumínio, tendo como resultado a diferença de 0,01 °C.

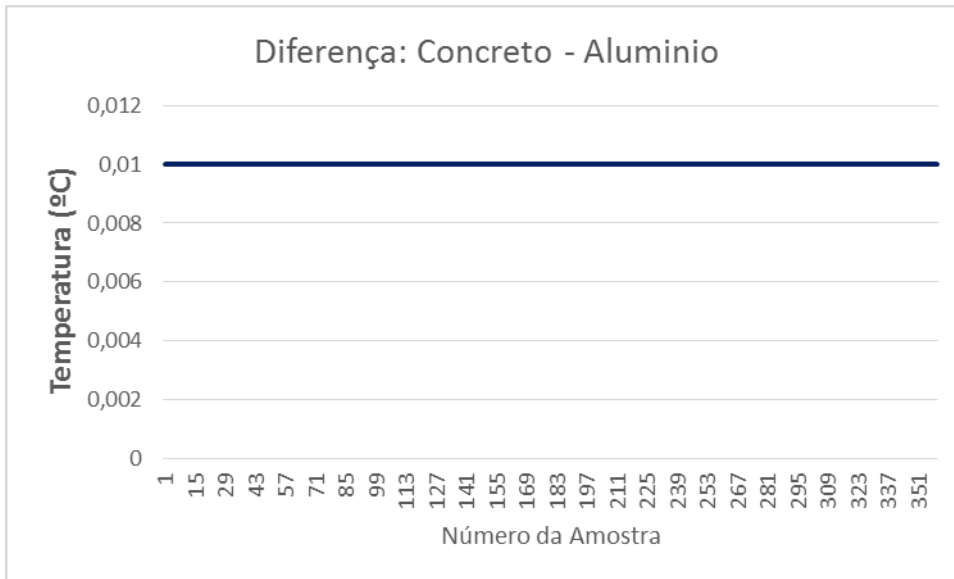


Figura 44 – Diferença entra a temperatura do concreto e a temperatura do alumínio.

Já a diferença entre a temperatura do concreto com a temperatura do transdutor, é apresentada na Figura 45, onde a diferença encontrada foi de 0,02 °C.

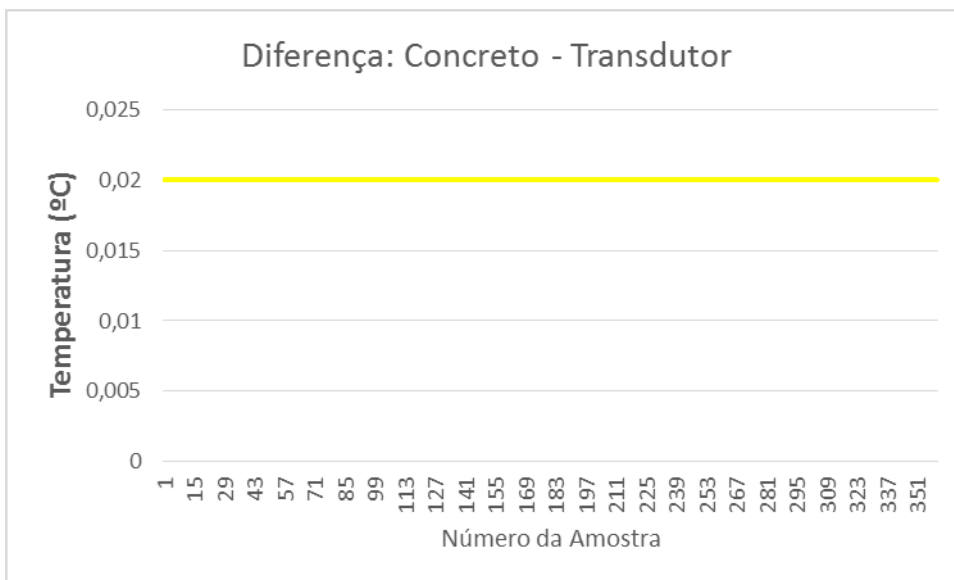


Figura 45 – Diferença entra a temperatura do concreto e a temperatura do transdutor.

5.2 Transdutor de temperatura

Com o foco na construção, de um sensor de temperatura de superfície de baixo custo, existem inúmeros transdutores de temperatura comercializados mundialmente. Porém, neste trabalho, o transdutor escolhido foi o LM35, um circuito integrado, com encapsulamento do tipo TO-92 com três pinos sendo eles: +Vs (tensão de entrada), Vout (tensão de saída) e GND (terra). Sua alimentação está na faixa de tensão entre 4V e 20V; sua capacidade de operação está na faixa de -55°C à 150°C , com precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$ [45], sendo que esta tolerância é considerada aceitável para os índices de aferição de temperatura, por se tratar de um erro durante o processo químico de dopagem dos materiais na camada de valência. A relação de transdução de temperatura é dada pela ordem de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ no pino de tensão de saída (Vout), ou seja, se na saída do transdutor LM25 constar 0V significa que a temperatura medida corresponde a 0°C . As principais vantagens deste tipo de transdutor são o seu custo e o fato do transdutor não necessitar de nenhum tipo de circuito intermediário para que ele possa entrar em regime de funcionamento. A Figura 46 ilustra o transdutor LM35, e a Figura 47, ilustra o diagrama de ligação elétrica do transdutor de temperatura com um micro controlador.

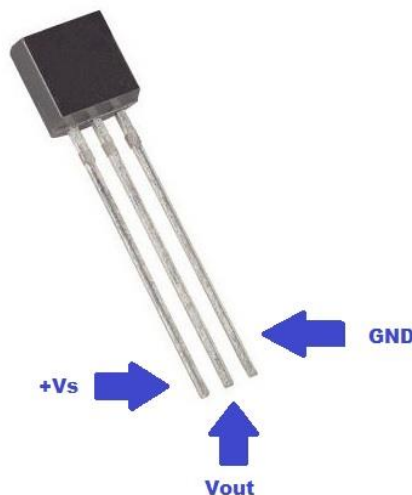


Figura 46 - Transdutor de temperatura LM35.

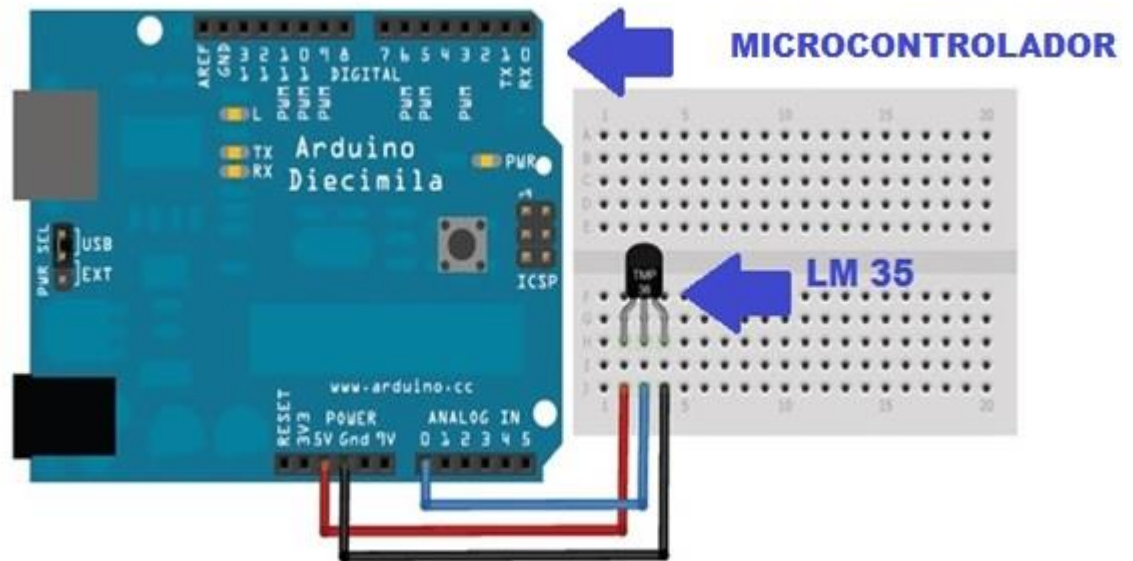


Figura 47 - Diagrama de ligação elétrica do transdutor de temperatura com um microcontrolador.

O transdutor de temperatura LM35, não requer qualquer tipo de fonte de calibração externa ou circuito de condicionamento de tensão para seu funcionamento. No entanto para que a transdução seja realizada via recurso de *software* é necessária uma conversão dos valores coletados para bits, pois os microcontroladores, trabalham com valores inteiros entre 0 e 1023.

Como já dito anteriormente, este transdutor trabalha com uma resolução de 10 mV para cada 1 °C, com isso uma expressão é inserida dentro do ambiente de programação para que o processo de transdução e exibição dos dados de temperatura em graus Celsius seja efetuada com sucesso [45]. A Figura 48, ilustra o trecho do código de programação responsável pela transdução do sinal de tensão elétrica em um dado de temperatura em graus Celsius.

```

valorLidoA = analogRead(pinoSensor0);
temperatura0 = (valorLidoA * 0.00488);
temperatura0 = temperatura0 * 100;

```

Figura 48 – Trecho do código de programação para transdução do sinal.

Inicialmente o dado de tensão elétrica é lido pela porta analógica do microcontrolador, e multiplicado por 0,000488 que corresponde a 5V (capacidade de alimentação do transdutor), dividido por 1023 (10 bits), e por último o dado é multiplicado por 100, para imprimir o valor em graus Celsius.

5.3 Estrutura da Cápsula

Como já dito anteriormente, o LM35 é um circuito integrado com o tipo de encapsulamento TO-92. Assim, este circuito integrado precisa ser adaptado para que seja utilizado como sensor de temperatura de superfície. Sem essa adaptação, o ambiente em que o transdutor está aferindo a temperatura de superfície pode influenciar nas medidas. Por exemplo, a própria radiação solar sobre a estrutura do circuito integrado, quando se encontrar fixado nas superfície das edificações, ou até mesmo correntes de ar circulantes no ambiente da coleta de dados poderão interferir na medição da temperatura.

Assim, foi construída uma cápsula constituída de 4 placas de cortiça com a seguinte dimensão: 40 mm X 15 mm, onde uma das placas de cortiça possui um rasgo para acomodar o transdutor de temperatura no formato retangular com 3 mm X 3 mm no centro da placa de cortiça, esta configuração pode ser visualizada na Figura 49.



Figura 49 - Placas de cortiça para capsula do sensor de temperatura de superfície.

Em seguida, sobre o transdutor de temperatura foi soldado um cabo do tipo *flat* com extensão de 1m para dar maior mobilidade no momento de fixação do sensor na superfície da edificação. O transdutor de temperatura foi posicionado no centro da quarta placa de cortiça, como pode ser visualizado na Figura 50.

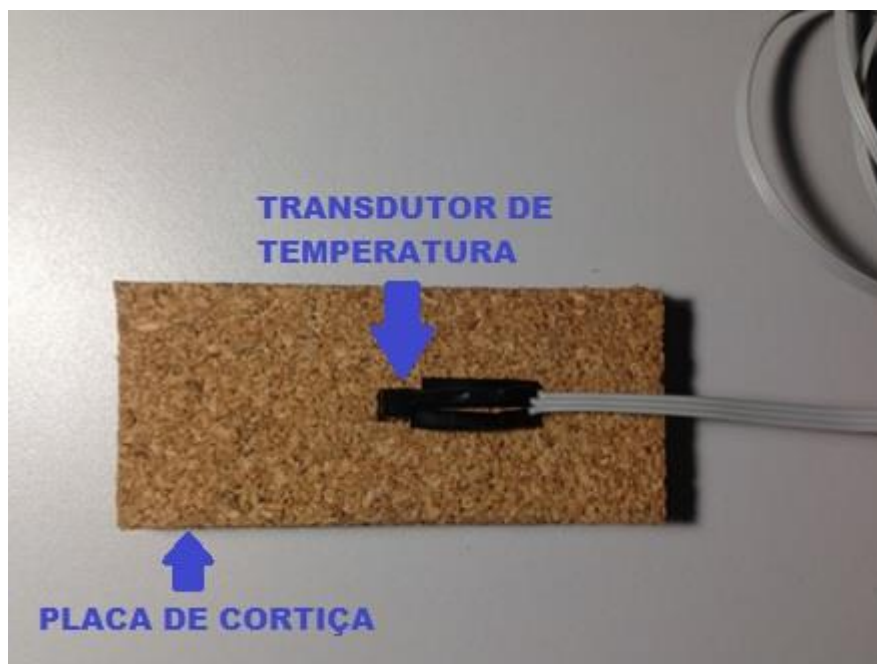


Figura 50 - Fixação do transdutor de temperatura no centro da quarta placa de cortiça.

Para finalização da estrutura da cápsula do sensor de temperatura de superfície, foi utilizada uma placa de alumínio devido a suas características de condutividade térmica e de preservação da temperatura. Esta placa de alumínio segue a mesma dimensão das placas de cortiça (40 mm X 15 mm), e foi colocada sobre a quarta e última placa de cortiça da estrutura, untada com uma pasta térmica para garantir a uniformidade da temperatura da superfície em análise. Para finalizar, as placas de cortiça, a placa de alumínio e o transdutor de temperatura no interior da estrutura foram fixados com uma fita isolante de alta resistência térmica. Na Figura 51 se encontra a estrutura da cápsula montada, juntamente com o transdutor de temperatura.



Figura 51 - Estrutura da cápsula do sensor completa.

5.4 Testes de bancada

Os testes de bancada foram divididos em duas partes:

- ❖ Teste de aquecimento do corpo de prova com sensor de temperatura de superfície;
- ❖ Teste de temperatura de superfície;

A) Teste de aquecimento do corpo de prova com o sensor de temperatura de superfície

Este teste tem o intuito de reproduzir, na prática, as condições configuradas na simulação computacional da seção anterior (utilizando o *software* Ansys). Portanto, foram utilizados os seguintes materiais: corpo de prova de concreto, com 200 mm X 200 mm com 100 mm de espessura, conjunto de rádios para transmissão sem fio dos dados de temperatura, duas resistências domésticas de aquecimento para aquecer o corpo de prova e um *notebook* para realizar o armazenamento dos dados coletados.

A duração do ensaio foi de uma hora (3600 segundos como na simulação computacional), com as resistências de aquecimento configuradas em 90°C, posicionadas em frente a uma das faces do corpo de prova, e na face oposta foi posicionado o sensor construído, na parte central do corpo de prova de concreto.

Foi observado o processo de aquecimento do corpo de prova, realizando aquisições dos dados de temperatura a cada 10 segundos. Após uma hora de aquecimento do corpo de prova, as resistências de aquecimento foram

desligadas e retiradas de perto do corpo de prova. A Figura 52 apresenta a bancada montada para realização deste teste.



Figura 52 - Bancada montada para o teste de aquecimento do corpo de prova com o sensor de temperatura de superfície.

O resultado deste teste está representado na figura 53, onde a linha em vermelho representa a temperatura das resistências domésticas e a linha em azul representa a temperatura medida pelo sensor construído.

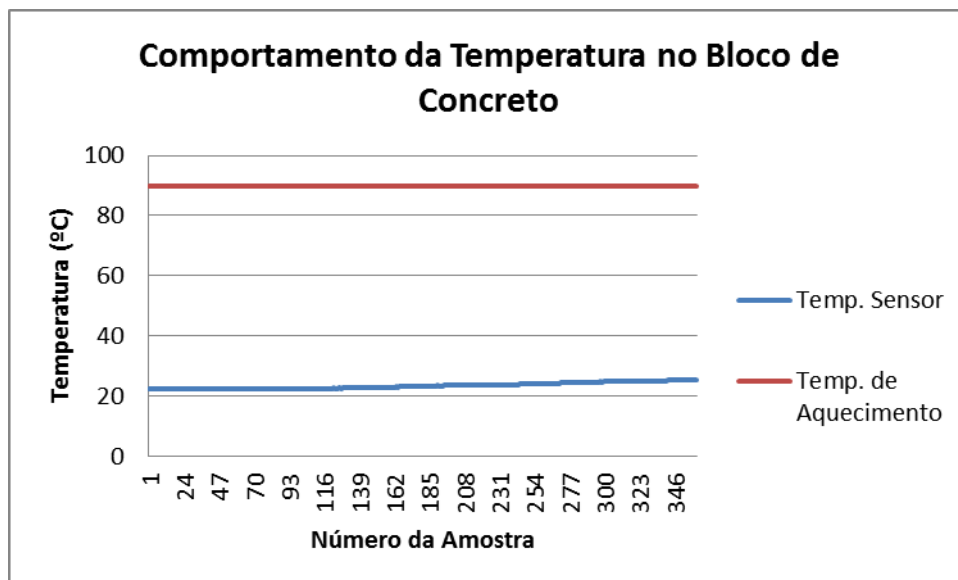


Figura 53 – Comportamento da temperatura no bloco de concreto.

Comparando os dados dos resultados da simulação computacional, a temperatura máxima atingida após uma hora de aquecimento, na face de

concreto do corpo de prova, na placa de alumínio da cápsula do sensor e no transdutor de temperatura foi de 28,92 °C. Nos testes realizados em bancada com os mesmos requisitos da simulação computacional, a temperatura máxima atingida no término do ensaio foi de 25,41 °C, o que representa uma diferença de 12,13% entre uma medida e outra, mas isso se justifica pois no teste de bancada as condições do ambiente não são extremamente controladas como na simulação computacional.

B) Teste de temperatura de superfície

O teste com o sensor de temperatura de superfície foi realizado no interior do Laboratório de Conforto Ambiental da PUC-Campinas. Para este ensaio, os equipamentos utilizados foram: sensor de temperatura de superfície construído, sensor de temperatura de superfície de uso comercial para calibração e validação do sensor construído, um *notebook* para realizar o armazenamento das informações, conjunto de rádios para transmissão sem fio dos dados de temperatura e duas resistências domésticas de aquecimento. Como superfície, foi utilizado um corpo de prova de argamassa (traço 1:2), nas dimensões de 200mm X 200mm com 50mm de espessura, emulando a superfície de uma edificação. Este corpo de prova foi escolhido por ser uma tipologia utilizada na construção das edificações no meio urbano. A Figura 54 apresenta o *set-up* de teste.



Figura 54 – Teste de temperatura de superfície.

O ensaio teve início com os dois sensores de superfície fixados em uma das faces do corpo de prova de argamassa na região central. Na outra face do corpo de prova, foram posicionadas as duas resistências domésticas de aquecimento, em aproximadamente 90°C (capacidade de aquecimento das resistências utilizadas), por uma hora, sendo observado o processo de aquecimento do corpo de prova, realizando aquisições dos dados de temperatura a cada 30 segundos. Após uma hora de aquecimento do corpo de prova, as resistências de aquecimento foram desligadas e retiradas de perto do corpo de prova, sendo observado o comportamento da queda de temperatura do bloco de argamassa durante uma hora.

O sensor construído gera um arquivo com extensão em “.txt” onde a capacidade de armazenamento de dados é proporcional à capacidade de memória do *notebook*. Já o sensor comercial tem capacidade para 36 horas de armazenamento em sua memória interna.

O resultado das medidas de temperatura pelos dois sensores de temperatura de superfície pode ser visto no gráfico da figura 55.

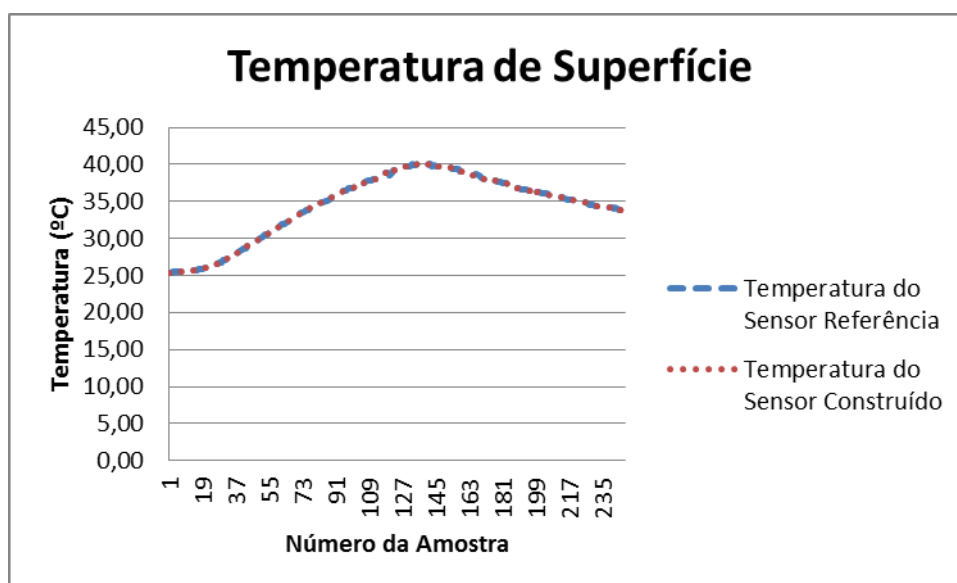


Figura 55 – Gráfico da temperatura de superfície.

Na figura 55, a linha em azul representa os dados de temperatura coletados com o sensor referência e a linha em vermelho representa os dados de temperatura coletados com o sensor construído.

Após a análise dos dados coletados, constatou-se que o erro absoluto médio entre as medidas do sensor de temperatura de superfície construído e

do sensor de referência foi de apenas 2%, cálculo realizado a partir da equação 1.

$$EAM = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N |T_{spi} - T_{refi}| / T_{refi} \quad (10)$$

Onde: EAM= Erro Absoluto Médio; N= nº total de amostras; i = amostra “i”; Tsp= temperatura do sensor proposto; Tref = temperatura do sensor referência.

5.4.1 Módulo Sensor de Temperatura do Ar

Com a construção do sensor de temperatura de superfície e com o término do teste de temperatura de superfície, foi possível notar que, com algumas adaptações, era possível transformar o sensor construído em um sensor de temperatura do ar.

Foram necessários alguns ajustes como, por exemplo, retirar a cápsula construída e deixar apenas o transdutor de temperatura soldado ao cabo do tipo *flat* com um 1m de comprimento, para possibilitar maior agilidade ao processo de aferição da temperatura como pode ser visto na Figura 56.



Figura 56 – Protótipo do Sensor de Temperatura do Ar.

O teste foi realizado a partir do *set-up* montado no teste de temperatura de superfície no Laboratório de Conforto Ambiental da PUC-Campinas, dotado de ventilação natural em um dia de temperatura amena, sem grandes alterações. Para este teste, além do sensor construído, de um conjunto de rádios para transmissão sem fio e de um *notebook*, também foi utilizado um

sensor de uso comercial para calibração e validação do sensor construído. A Figura 57 ilustra o ensaio.

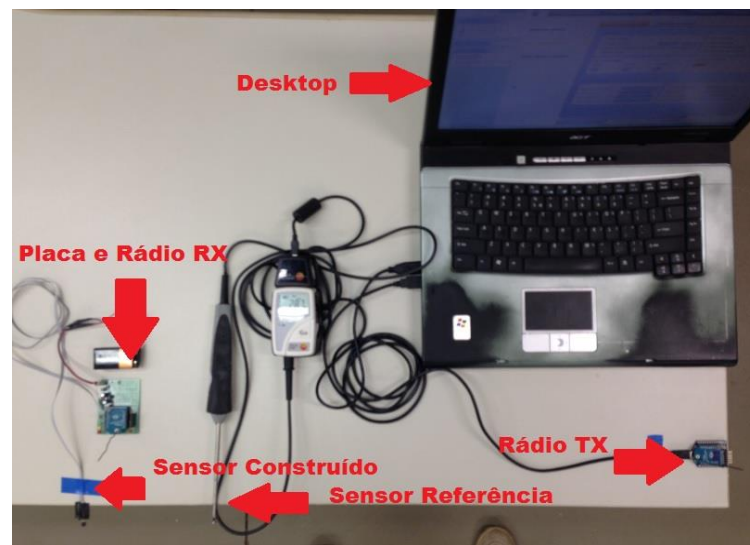


Figura 57 – Teste de temperatura do ar.

O ensaio foi realizado por duas horas, onde foram adquiridos os dados de temperatura do ar a cada 30 segundos, pois a temperatura não é um dado que se altera bruscamente na maioria dos casos, sua alteração levam-se alguns minutos para que a temperatura se altere. A Figura 58 apresenta um gráfico com o dados da temperatura do ar com o sensor construído e com o sensor referência.

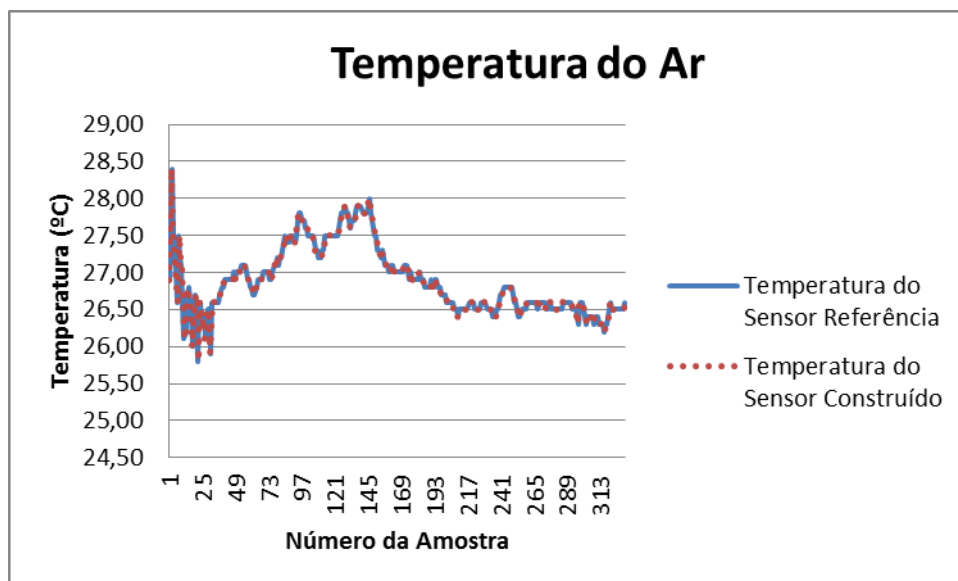


Figura 58 – Gráfico da temperatura do ar.

Analisando os dados coletados, foi possível atestar a validade do sensor desenvolvido neste trabalho, uma vez que o erro absoluto médio (calculado a partir da equação 1) foi de 1,5%.

5.5 Protótipo

O módulo rádio utilizado para realizar a coleta e a transmissão dos dados de temperatura, em modo sem fio, foi o mesmo utilizado e descrito no capítulo 3 deste trabalho, com tecnologia do padrão IEEE 802.15.4.

Porém, para agrupar os *hardwares* (sensor e módulo RFBee), foi desenvolvida uma placa de circuito impresso afim de atingir essa demanda e proporcionar ao projeto um modelo de protótipo o mais próximo possível de um produto a ser comercializado. O *software* utilizado para a confecção do *layout* da placa foi o *software Eagle* versão 5.0 livre para estudantes.

A Figura 59 contém o diagrama esquemático do circuito de alimentação para o circuito; a tensão de entrada vem de uma bateria de 9 V, tensão essa que seguiu para um regulador de tensão de 5V para o módulo sensor e 3.3V para o módulo RFBee de transmissão.

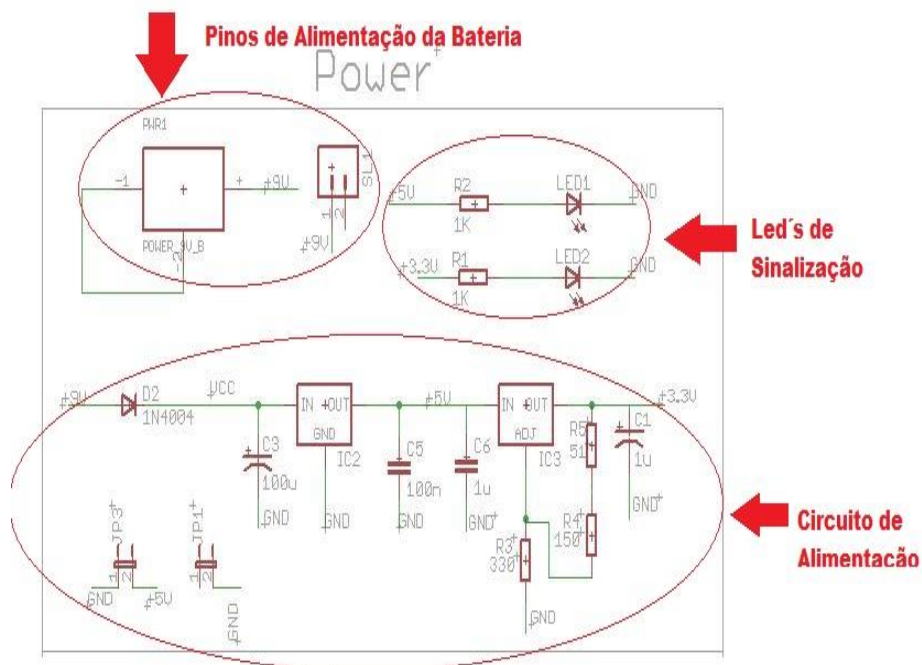


Figura 59 – Esquema elétrico da alimentação da placa.

Já para o módulo RFBee de transmissão foram adicionados um conector do tipo *Header* fêmea com 10 pinos para cada extremidade do módulo, como pode ser visto no esquemático ilustrado na Figura 60.

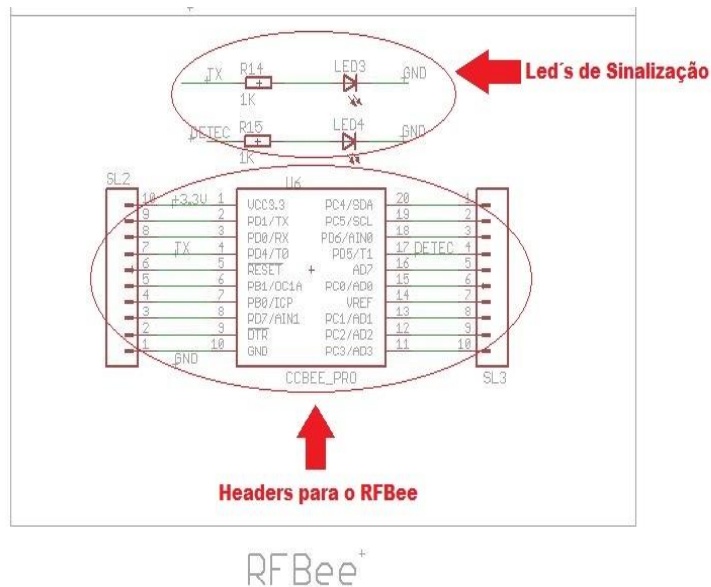


Figura 60 – RFBee com os conectores *Headers* acoplados em suas extremidades.

A placa de circuito impresso preparada para receber o módulo rádio possui alimentação de uma bateria de 9V, espaço para acoplamento do módulo rádio e do módulo sensor, onde foi utilizado tanto o sensor de temperatura do ar quanto o sensor de temperatura de superfície, como pode ser observado na Figura 61.

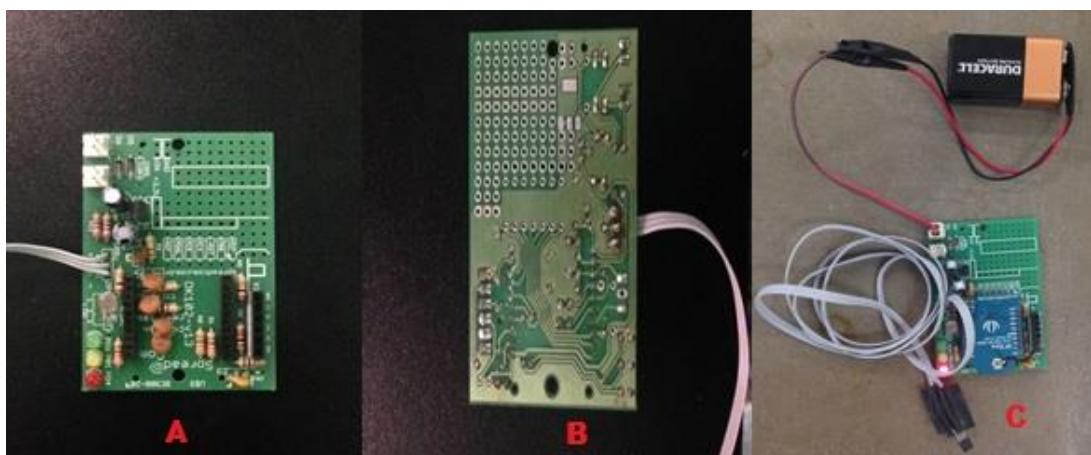


Figura 61 – Placa para módulo rádio e módulo sensor.

A figura 61 foi dividida em três partes sendo elas: A, B e C respectivamente. A primeira parte ilustra a placa de circuito impresso a partir da vista superior com os componentes soldados, a segunda parte da figura ilustra a vista inferior da placa de circuito impresso com as trilhas de cobre, já a terceira parte ilustra a placa de circuito impresso completa com acoplamento da bateria de alimentação, módulo rádio de comunicação sem fio e o sensor.

5.5.1 Análise custo

Também foi realizada uma pesquisa sobre o custo dos sensores de temperatura do ar e sensores de temperatura de superfície vendidos comercialmente, sendo que cada um deles é comercializado por, aproximadamente, R\$700,00 (\$233,33). Já os sensores construídos tiveram um custo inferior a este preço, sendo que o custo do sensor de temperatura do ar foi de R\$260,00 (\$86,66) e o custo do sensor de temperatura de superfície foi de R\$272,50 (\$90,83).

O protótipo desenvolvido possui a possibilidade de expansão para até oito sensores, sendo que, no caso do sensor de temperatura do ar, o custo para oito sensores seria de R\$330,00 (\$110,00) e, no caso do sensor de temperatura de superfície, o custo para oito sensores seria de R\$430,00 (\$143,33). Considerando o custo para oito sensores disponíveis comercialmente, chegaria-se a um valor de R\$5.600,00 (\$1866,66, custo correspondente a oito sensores de temperatura de superfície ou oito sensores de temperatura do ar)

Assim, a construção dos sensores desenvolvidos mostra-se uma alternativa muito interessante para o monitoramento da temperatura.

5.6 Discussão dos resultados

Com a análise dos resultados tanto da simulação computacional como dos testes de bancada, foi possível constatar que a escolha do CI LM35 utilizado para transdução do dado de temperatura foi uma escolha assertiva.

Como dito anteriormente no teste realizado na simulação computacional, a temperatura máxima atingida após uma hora de aquecimento, na face de

concreto do corpo de prova, na placa de alumínio da cápsula do sensor e no transdutor de temperatura foi de 28,92 °C. Nos testes realizados em bancada com os mesmos requisitos da simulação computacional, a temperatura máxima atingida no término do ensaio foi de 25,41 °C, o que representa uma diferença de 12,13% entre uma medida e outra, mas isso se justifica pois no teste de bancada as condições do ambiente não são extremamente controladas como na simulação computacional.

No ensaio de temperatura do ar o EAM em relação ao sensor referência foi de apenas 1,5%; já no ensaio de temperatura de superfície os resultados também foram positivos em relação à escolha do CI LM35 e do desenvolvimento da cápsula com placas de cortiça e alumínio para proteger o CI e também manter a temperatura da superfície do corpo de prova uniforme em toda a região do sensor construído, pois o EAM foi de 2% em relação ao sensor utilizado como referência.

O fato dos sensores construídos terem o modo de transmissão sem fio do sinal operando no padrão IEEE 802.15.4, traz um diferencial de inovação tecnológica para os sensores utilizados atualmente nas edificações que não operam neste tipo de tecnologia, necessitando sempre manter um computador ao lado do sensor durante o processo de aquisição de dados. Outro diferencial também é a capacidade de armazenamento de dados que nos sensores construídos a capacidade de armazenamento está diretamente ligada a capacidade de memória do computador em que o módulo base do rádio estiver conectado, ao contrário dos sensores de uso comercial que possuem uma capacidade de memória limitada.

O custo dos sensores construídos apresentaram dados significativos perante o custo dos sensores de uso comercial disponíveis no mercado, sendo que os sensores construídos apresentaram uma economia em torno de 70% com relação aos sensores referências.

6 Monitoramento da Temperatura em Edifícios Inteligentes, Utilizando o Padrão IEEE 802.11

Dentro do conceito de Cidades Inteligentes, a cidade é capaz de fornecer diversas informações para seus gestores e habitantes como: temperatura do ar, intensidade luminosa da abóbada celeste, tráfego urbano, nível de qualidade do ar, nível de qualidade da água, dentre outros [46, 47].

Neste contexto, destacam-se os edifícios inteligentes, que podem ser edifícios residenciais, comerciais ou públicos, e que possuem suas informações monitoradas controladas por um sistema de gerência. Essas informações, normalmente, são dados da edificação disponibilizados para seus moradores como dados de: conforto, segurança, iluminação inteligente, economia de energia elétrica, economia de água, qualidade do ar, etc. [48].

Considerando o contexto dos edifícios inteligentes, e os aspectos relacionados ao conforto térmico em edificações já descritos anteriormente, torna-se interessante o desenvolvimento de uma metodologia para o monitoramento da temperatura de superfície em diferentes pontos da edificação. Para isso, foi implementado um sistema de transmissão Wi-Fi com o padrão IEEE 802.11 capaz de aferir e transmitir os dados de temperatura de superfície de diferentes faces da edificação para uma estação de monitoramento de dados.

6.1 Abordagem metodológica

A abordagem metodológica deste capítulo se divide em três partes, sendo elas:

- ❖ Grupo de sensores de temperatura de superfície;
- ❖ Roteador Wi-Fi padrão IEEE 802.11;
- ❖ Realização do ensaio.

O diagrama de blocos deste sistema de monitoramento de temperatura de superfície encontra-se ilustrado na Figura 62. Nessa figura, observa-se a presença de seis sensores de temperatura de superfície, que foram conectados

a um roteador Wi-Fi com o padrão IEEE 802.11, e o *notebook* conectado a rede do roteador para que, posteriormente, possa-se efetuar o *download* das informações.

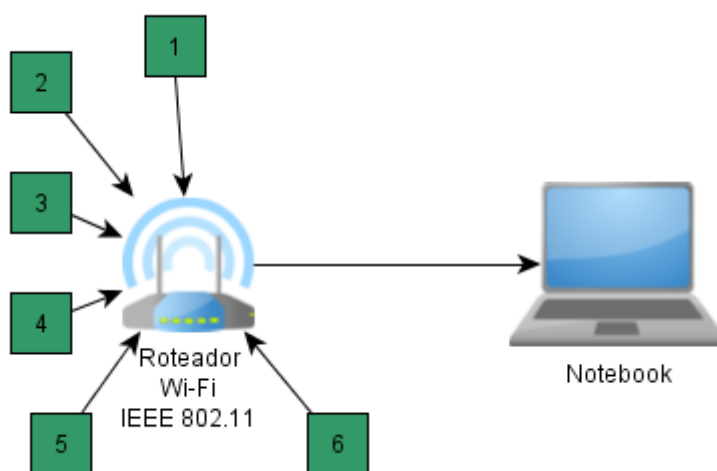


Figura 62 – Diagrama de blocos do sistema de monitoramento de temperatura.

6.1.1 Sensores de temperatura de superfície

Para que seja realizado o monitoramento da temperatura de superfície em uma edificação (por exemplo, um edifício inteligente), são necessários vários sensores de temperatura de superfície. Neste caso, foram construídos seis sensores de temperatura de superfície com a mesma técnica apresentada no Capítulo 4. No entanto, antes da construção das seis cápsulas que compõem os sensores de temperatura, os transdutores, também descritos no Capítulo 4, foram devidamente acoplados ao microcontrolador que teve seu código de programação alterado para ler e receber as informações dos seis transdutores de temperatura. Então, o microcontrolador foi conectado ao roteador *Wi-Fi* com o padrão IEEE 802.11. A Figura 63 ilustra os transdutores de temperatura conectados ao microcontrolador e ao roteador *Wi-Fi*.

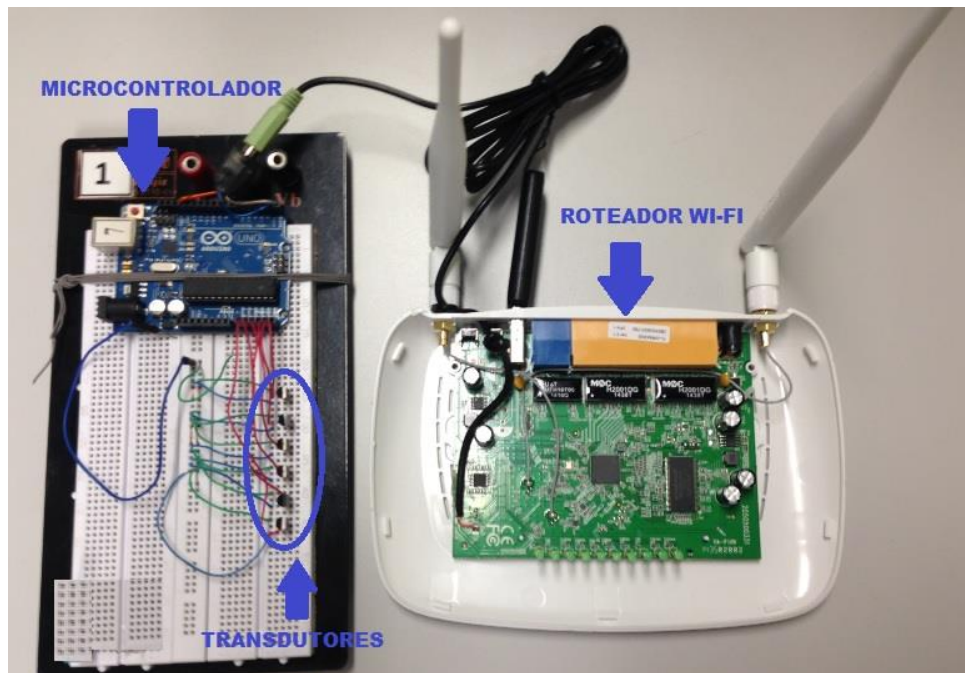


Figura 63 – Transdutores de temperatura, microcontrolador e o roteador *Wi-Fi* padrão *IEEE 802.11*.

A partir da montagem apresentada na Figura 63, foram construídas as seis cápsulas para os transdutores de temperatura como pode ser visto na Figura 64.



Figura 64 – Cápsulas desenvolvidas, para os transdutores de temperatura.

6.1.2 Roteador *Wi-Fi* padrão IEEE 802.11

O roteador *Wi-Fi* padrão IEEE 802.11 utilizado neste *set-up* foi um TP LINK, modelo TL-WR742ND, com duas antenas, quatro portas para rede cabeada, com desempenho de até 150 Mb/s e com porta USB acoplada na parte traseira.

Para que o roteador pudesse ler, receber e armazenar as informações dos sensores de temperatura acoplados no microncontrolador, foi instalado, no mesmo, o software *OpenWRT* que trabalha com o sistema operacional *Linux* e é distribuído de maneira livre para utilização dos usuários. Este *software* foi instalado em um *pen-drive* conectado na porta USB do roteador e adaptado para armazenar os dados coletados. O *OpenWRT* fornece um sistema de gerenciamento de pacotes, podendo, desta forma ser adaptado para trabalhar com um microcontrolador e ler os dados dos sensores conectados ao mesmo, transmitindo estes dados para uma página *Web* ou a uma central de monitoramento, que pode, então, realizar a tomada de decisão [52].

6.1.3 Realização do ensaio

Este ensaio também foi realizado no interior de um dos laboratórios da PUC-Campinas, por um período de duas horas, onde os seis sensores de temperatura de superfície foram posicionados em uma das paredes internas do laboratório. Os dados de temperatura de superfície foram coletados a cada trinta segundos e armazenados no *pen-drive* do roteador *Wi-Fi* com o padrão IEEE 802.11, onde os sensores foram posicionados em seis diferentes pontos da superfície da parede, pois a temperatura ao longo da mesma é diferente, por uma questão de distribuição térmica ao longo da estrutura do material, e também por possuir influências externas como: quantidade de equipamentos em operação, distância do sistema de condicionamento de ar, quantidade de pessoas trabalhando, quantidade de pessoas trafegando, dentre outros. A configuração geral do *set-up* montado pode ser vista na figura 65.

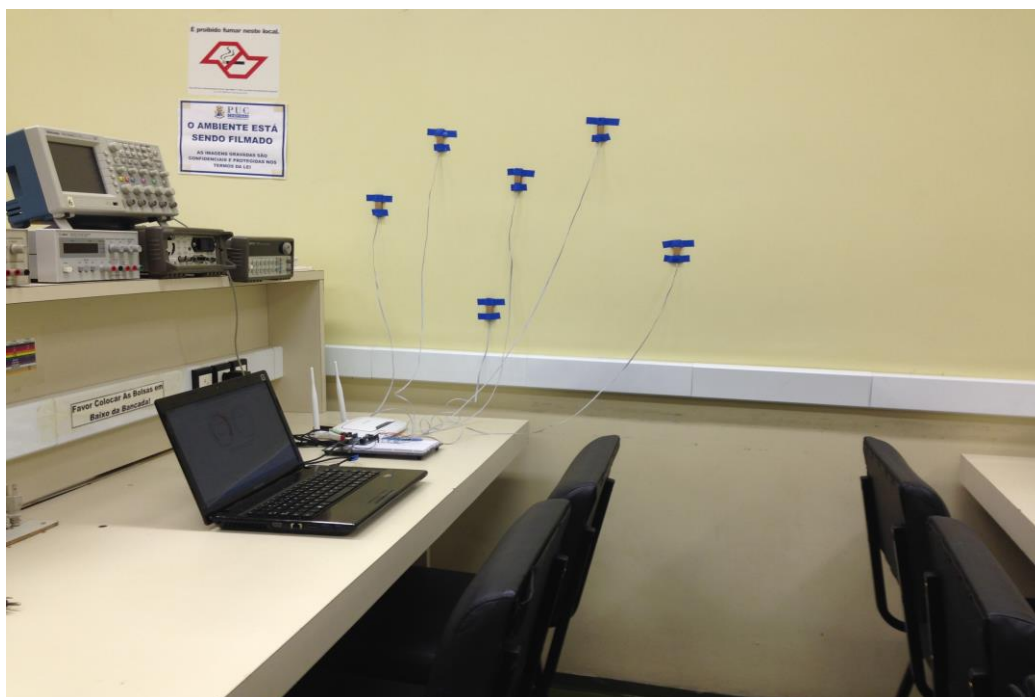


Figura 65 – *Set-up* montado para análise da temperatura de superfície de uma edificação.

Na figura 66, é possível observar o *set-up* montado e apresentado na figura 65, de forma detalhada.

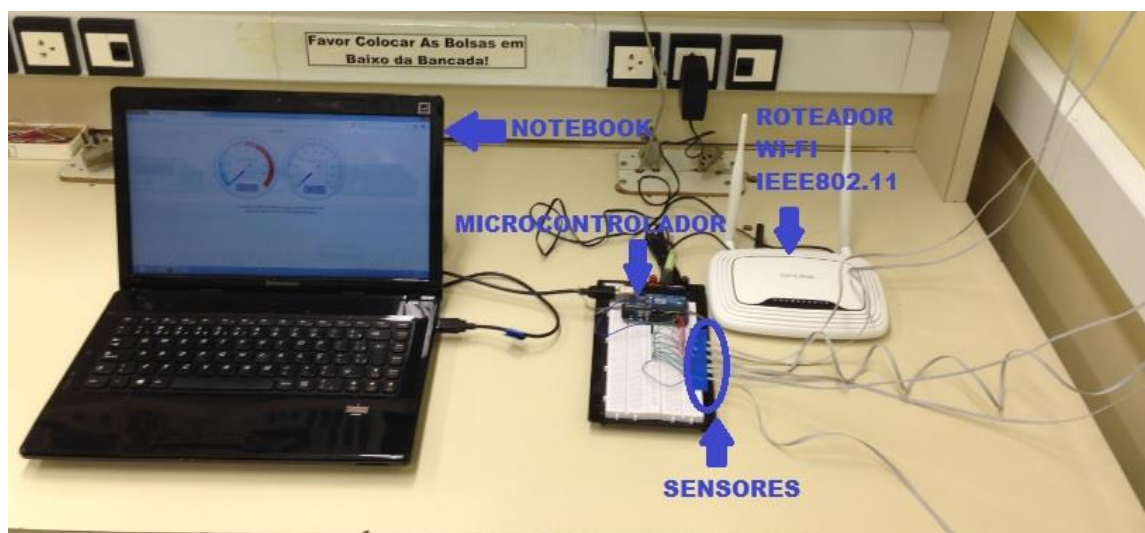


Figura 66 – *Set-up* detalhado, montado para análise da temperatura de superfície para um edifício inteligente.

Durante este ensaio, também encontrava-se em operação o *software Iperf*, instalado e utilizado no *lap-top* com a mesma configuração descrita no

Capítulo 3, com as seguintes características: transitando dados com 108MB/s, valor com o dobro da capacidade do canal de comunicação, com o intuito de saturar o canal para que ele trabalhe no limite de sua capacidade de transmissão.

Além do ensaio de coleta da temperatura de superfície, também foi realizado um ensaio para a coleta de dados da temperatura do ar, do mesmo laboratório. Os dados de temperatura do ar foram coletados a cada trinta segundos, totalizando cento e vinte medidas de temperatura do ar do laboratório onde o *set-up* foi instalado.

Assim como no ensaio da temperatura de superfície da parede da edificação, neste ensaio de temperatura do ar, também foram coletados os dados da vazão do sinal, seguindo as mesmas características de configuração do ensaio anterior. A Figura 67 mostra a visão geral de como o *seu-up* para coleta dos dados de temperatura do ar foi montado.



Figura 67 – *Set-up* montado para análise da temperatura do ar de uma edificação.

Já na Figura 68, é possível visualizar em detalhe o *set-up* montado.

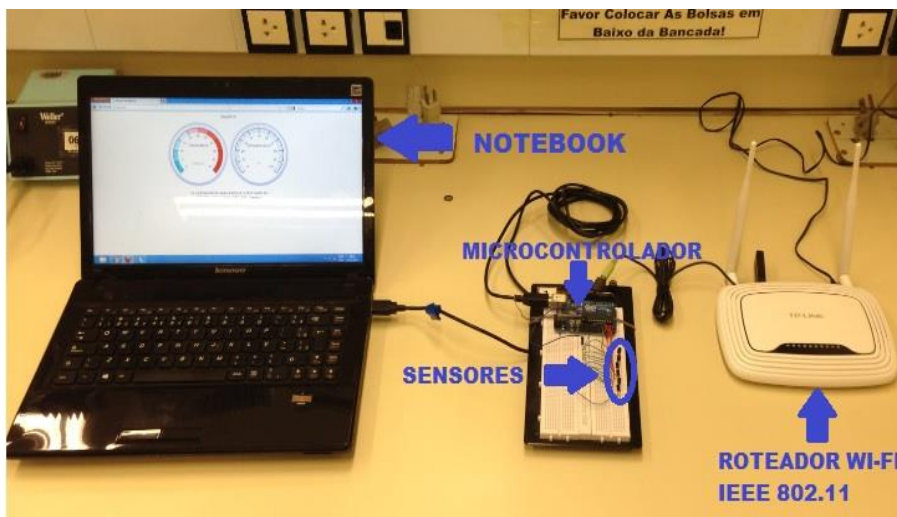


Figura 68 – *Set-up* detalhado, montado para análise da temperatura do ar para uma edificação.

6.2 Resultados

Um dos resultados deste *set-up* montado foi a criação de uma página na Web onde é possível realizar o *download* das informações dos seis sensores através do seguinte endereço: 192.168.1.1/index.php. A Figura 69 ilustra a página criada.



Figura 69 – Página na Web criada para realizar o *download* das informações dos sensores.

Com o *download* das informações dos sensores e dos dados da vazão do sinal, foram construídos gráficos para o comportamento da temperatura (°C) e para o comportamento da vazão do sinal (MB/s). Nas Figuras 70 e 71 respectivamente, se encontram o gráfico com o comportamento da temperatura

de superfície para os seis sensores e o gráfico com comportamento da vazão do sinal durante o período de realização do ensaio.

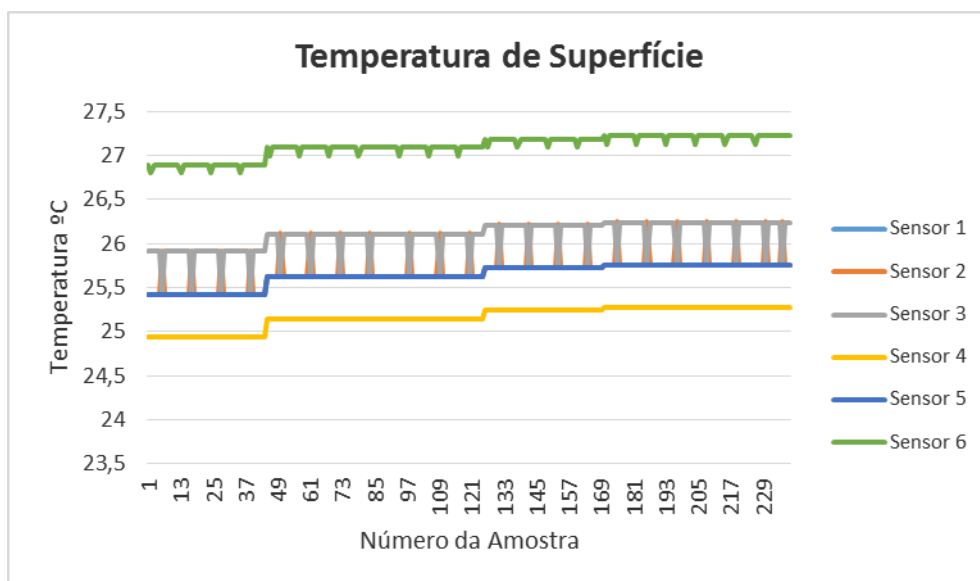


Figura 70 – Comportamento da temperatura de superfície na região da parede analisada no edifício.

Com a análise dos dados da temperatura de superfície, é possível constatar que a temperatura média coletada através dos sensores é de 25,88°C, também não houveram grandes variações da temperatura ao longo do período analisado, uma vez que esta parede do edifício encontra-se em uma região de sombreamento causada pela própria arquitetura do edifício. Segue na Figura 71, gráfico com o comportamento da vazão do sinal (MB/s).

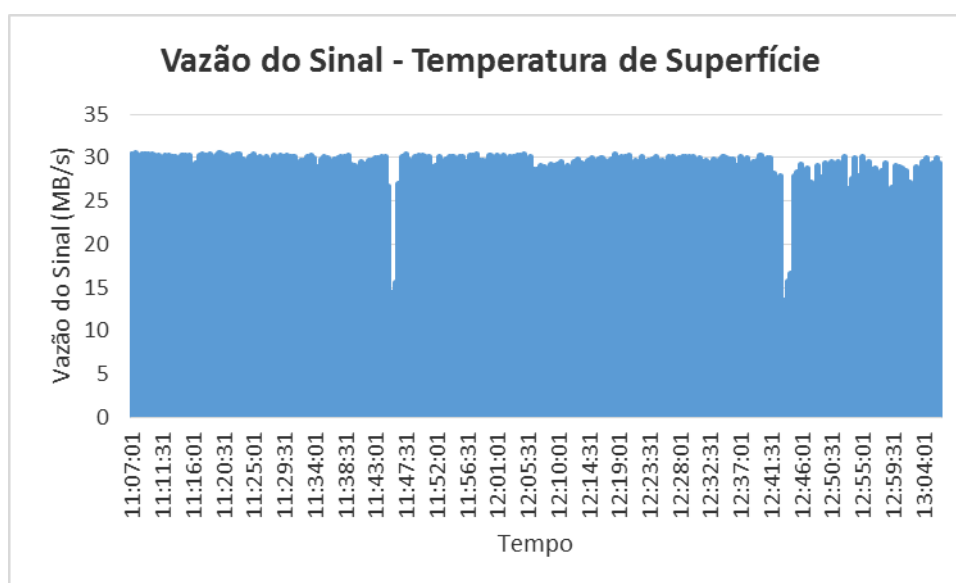


Figura 71 – Comportamento da vazão do sinal, ensaio de temperatura de superfície.

Com a análise dos dados do comportamento da vazão do sinal (MB/s), constatou-se que o valor médio foi de 29,23 (MB/s) com pequenas diferenças dos valores durante o período analisado.

No gráfico da Figura 72, é possível visualizar o comportamento da temperatura do ar, do laboratório da PUC-Campinas onde o *set-up* foi instalado para realizar a coleta de dados, durante o período de uma hora.

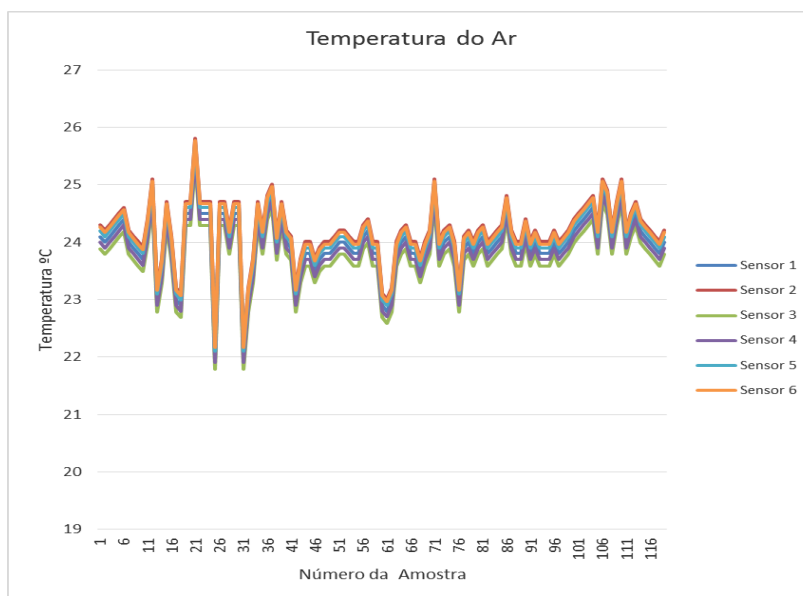


Figura 72 – Comportamento da temperatura do ar.

Calculando a média da temperatura do ar dos seis sensores de temperatura, constatou-se que a temperatura média do ar, no laboratório, durante o período do ensaio, foi de 24°C.

Já no gráfico da Figura 73, é possível visualizar o comportamento da vazão do sinal (MB/s), durante a realização do ensaio de temperatura do ar.

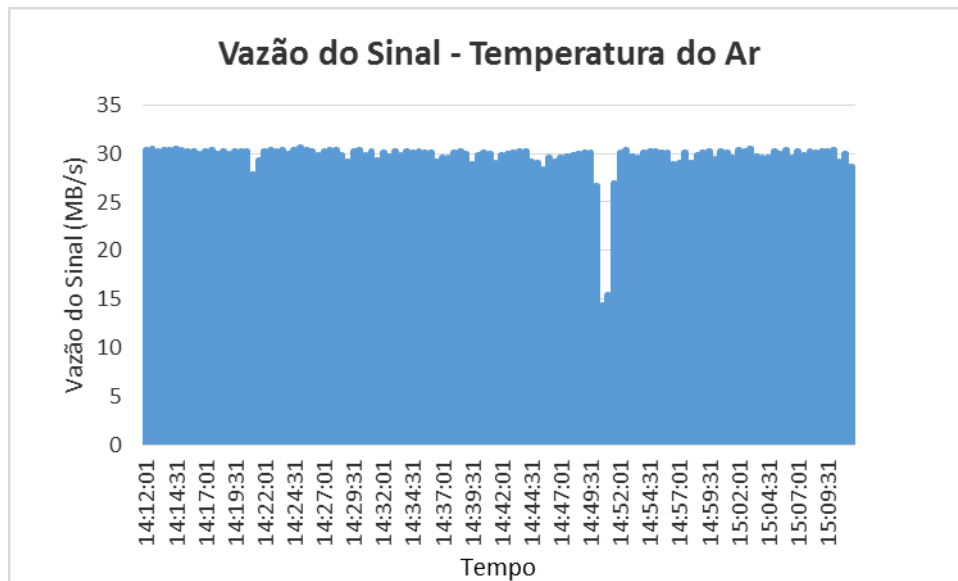


Figura 73 – Comportamento da vazão do sinal, ensaio de temperatura do ar.

Realizando uma análise, sobre os dados do comportamento da vazão do sinal (MB/s), pode-se constatar que o valor médio foi de 29,67 (MB/s), também com pequenas diferenças dos valores durante o período analisado.

6.2.1 Discussão dos resultados

O sistema para monitoramento da temperatura do ar e de superfície em edificações desenvolvido se mostrou robusto e eficiente, uma vez que com poucas adaptações na disposição dos sensores, pode-se coletar tanto dados de temperatura de superfície quanto dados de temperatura do ar.

O *set-up* construído a partir de um roteador *wireless* e do conjunto de seis transdutores de temperatura adaptados como sensores de temperatura do ar, se mostrou uma solução eficaz para aferir a temperatura do ar e transmitir os dados através do padrão IEEE 802.11, para uma eventual central de monitoramento e promover a tomada de decisão quando necessário.

Sobre o comportamento da temperatura nos dois ensaios realizados, a temperatura de superfície possui um comportamento mais uniforme tendendo a um comportamento crescente linear. Diferente do comportamento da temperatura do ar, que sobre variações abruptas, que podem ser atribuídas a fenômenos físicos e mecânicos que venham a acontecer no ambiente analisado como: abertura de portas e janelas, movimentação de pessoas e correntes de ar.

Em relação ao comportamento da vazão do sinal (MB/s), o mesmo se mostrou com poucas modificações durante o período dos dois ensaios, o que resulta numa linha de comunicação com sua qualidade pouco afetada, sendo esta uma característica do padrão IEEE 802.11, escolhido justamente por este aspecto.

7 Conclusão

Este trabalho tratou do desenvolvimento de um sistema para o monitoramento da temperatura em edificações, usando redes sem fio nos padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4. Além disso, foi possível analisar a transmissão de dados para os dois padrões mencionados.

Sobre a análise da transmissão de dados sem fio com o padrão IEEE 802.11 em tipologias de concreto e argamassa, os ensaios permitiram concluir que existem variações na vazão do sinal para dispositivos de *hardware* reduzido quando configurados em modo cliente em um sistema de transmissão sem fio. Deve-se ressaltar que quando o dispositivo de *hardware* reduzido foi o *smartphone*, este apresentou variação de 2% na vazão do sinal durante a transmissão, enquanto que quando o cliente foi o *lap-top*, a variação do sinal foi de apenas 1% na vazão do sinal, sinalizando, então, que o *lap-top* mostra-se um dispositivo de *hardware* reduzido mais robusto em relação ao *smartphone*.

Na análise da transmissão sem fio com o padrão IEEE 802.15.4 em tipologias de concreto e argamassa, os ensaios demonstraram que no ensaio com linha de visada em 25 cm, o Grupo 1 (1 corpo de prova na linha de visada) apresentou uma degradação do sinal transmitido 13% maior que a degradação encontrada no ensaio realizado com o Grupo 2 (2 corpos de prova na linha de visada). Já no ensaio realizado com linha de visada em 1,90 m, a degradação do sinal para o Grupo 1 foi 5% maior que a degradação do sinal encontrada no ensaio realizado com o Grupo 2.

Porém, comparando o padrão IEEE 802.11 com o padrão IEEE 802.15.4, sua principal vantagem do padrão IEEE 802.11 é robustez no quesito alcance de atuação, e maior gama de dispositivos eletrônicos mundialmente comercializados como: *tablets*, *smatphones* e *smartvs*, No entanto, sua principal desvantagem é que para que o sistema possa atuar é sempre necessário ter infraestrutura de rede elétrica instalada na edificação. Já o padrão IEEE 802.15.4 tem como sua principal vantagem em relação ao padrão IEEE 802.11 o fato de poder ser alimentado por uma fonte externa de alimentação como, por exemplo, uma pilha ou uma bateria, e a sua principal

desvantagem é o fator limitante sobre a sua região de operação que é de apenas 100 m.

Quanto ao monitoramento de temperatura do ar e de superfície, em edificações usando redes sem fio com o padrão IEEE 802.15.4, a simulação computacional foi uma ferramenta fundamental para o entendimento do comportamento da temperatura em situação de aquecimento sobre um corpo de prova com tipologia construtiva de uma edificação. E também para validar o projeto da construção do sensor de temperatura de superfície.

Os testes de bancada foram conclusivos para validação do método adotado para a construção dos sensores de temperatura do ar e de temperatura de superfície, pois os resultados foram compatíveis com os dados dos sensores utilizados como referência para validar os sensores construídos. Outro fator muito importante sobre os sensores construídos foi o custo dos mesmos que se mostrou muito atrativo em relação aos sensores existentes no mercado.

Evoluindo para o campo dos edifícios inteligentes, o *set-up* construído a partir de um roteador *wireless* e dos transdutores de temperatura adaptados como sensores de temperatura de superfície e do ar, mostra-se uma solução eficaz para aferir a temperatura e transmitir os dados utilizando do padrão IEEE 802.11, e disponibilizar esses dados através de uma página via *Web*, alimentando uma possível central de monitoramento de dados.

Em suma, nas situações em que o monitoramento de grandezas na edificação necessite de medições a longas distâncias, recomenda-se utilizar do padrão IEEE 802.11. Mas, nas situações que demandem tecnologia de comunicação com alimentação própria, é recomendado o padrão IEEE 802.15.4.

Para trabalhos futuros, sugere-se novos ensaios em superfícies de edificações monitorando a temperatura de diferentes paredes dentro de um ambiente; variar as distâncias do roteador entre os sensores para analisar se existe algum tipo de anomalia neste recorte; expor os sensores a condições distintas como, por exemplo, analisar o comportamento da edificação nas diferentes estações do ano.

Referências Bibliográficas

- [1] CLARO, LUCIANA DEL. “O avanço tecnológico no mundo econômico”. Revista Vitrine da Conjuntura, Curitiba, V2, Nº8, Outubro de 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/14382402.LAB-INF/Downloads/731424487250267.pdf>. Acesso em: 3 de Março de 2015.
- [2] REDES DE SENSORES SEM FIO PADRÃO IEEE 802.11. “IEEE 802.11 wireless local area networks”. Disponível em: <http://www.ieee802.org/11/>. Acesso em; 03 de Março de 2015.
- [3] GHAYVAT, HEMANT. MUKHOPADHYAY, SUBHAS CHANDRA. GUI, XIANG. “Wellness sensor networks: a proposal and implementation for smart home for assisted living”. Disponível em; <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7234860>. Acesso em: 11 de Novembro de 2015.
- [4] YABUKI, TOMOHIDE. SAMAROO, RANDY. NAKABEPPU, OSAMU. KAWAJI, MASAHIRO. “Experimental thermal and fluid science”. Volume 67, Outubro 2015, páginas 24-29. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089417771500028X#>. Acesso em: 04 de Julho de 2015.
- [5] JINYOUNG, KIM. RODRIGUEZ, LUIS. MARSHALL, S. SMITH. “Concrete temperature monitoring using passive wireless surface acoustic wave sensor system”. Sensors and Actuators A: Physical, Volume 224, 1 de Abril 2015, páginas 131-139. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424715000370#>. Acesso em: 04 de Julho de 2015.
- [6] DENCHAI, WORADECHJUMROEN. YUEBIN YU, H. LI. “Virtual partition surface temperature sensor based on linear parametric model”. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915008508#>. Acesso em: 04 de Julho de 2015.
- [7] PADRÃO IEEE 802.15.4. Disponível em; <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>. Acesso em; 09 de Abril de 2015.
- [8] MELO, J. J. S. “Edificações sustentáveis um estudo sobre a integração entre ambiente, projeto e tecnologia”. Revista Especialize, Maio de 2012.

- [9] SATO, A. LUANA. *“Evolução das técnicas construtivas em são paulo: residências unifamiliares de alto padrão”*. Dissertação de Mestrado (Escola Politécnica de São Paulo) – Universidade de São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/.../Dissertacao_Luana_Sato.pdf> Acesso em: 21 de Maio de 2015.
- [10] NORMA ISO 5001. *“Energy management standart”*. Disponível em: <<http://www.lrq.com.br/Certificacao/ISO-50001-Gestao-de-Energia/>>. Acesso em: 10 de Julho de 2015.
- [11] NORMA EN 15232. *“Energy performance of buildings, impact of building automation, control and building management”*. Disponível em: <<http://www.schneider-electric.it/sites/italy/it/soluzioni/energy-efficiency/leggi-e-regolamenti/prestazioni-energetiche/standard-EN-15232.page>>. Acesso em: 10 de Julho de 2015.
- [12] GHAHRAMANI, ALI CHAO, TANG. BURIN, BECERIK. *“An online learning approach for quantifying personalized thermal comfort via adaptive stochastic modeling”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315001833>>. Acesso em 05 de Julho de 2015.
- [13] YINGYING, WANG. YANFENG, LIU. CONG, SONG. JIAPING, LIU. *“Appropriate indoor operative temperature and bedding micro climate temperature that satisfies the requirements of sleep thermal comfort”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231500181X>>. Acesso em: 5 de Julho de 2015.
- [14] BALDI, SIMONE. ATHANASIOS, KARAGECREKIS. IAKOVOS, T. MICHAELIDIS. ELIAS, B. KOSMATOPOULOS. *“Joint energy demand and thermal comfort optimization in photovoltaic-equipped interconnected microgrids”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041500504X>>. Acesso em: 05 de Julho de 2015.
- [15] CHENG, YUANDA. JIANLEI, NIU. ZHENYU, DU. YONGGANG, LEI. *“Investigation on the thermal comfort and energy efficiency of stratified air distribution systems”*. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082615000538>>.

Acesso em: 06 de Julho de 2015.

[16] JEONG, TAI KIM. TODOROVIS, S. MARIJA. *“Tuning control of buildings glazing's transmittance dependence on the solar radiation wavelength to optimize daylighting and building's energy efficiency”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881300204>>. Acesso em: 06 de Julho de 2015.

[17] SATU, PAIHO. PINTO, SEPPA, ISABEL. JIMENEZ, CHRISTEL. *“An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670714001401>>. Acesso em 06 de Julho de 2015.

[18] LEI CAO, DI SU, YAOJIE. TANG, GUIYIN ,FANG. *“Properties evaluation and applications of thermal energystorage materials in buildings”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115003111>>. Acesso em: 6 de Julho de 2015.

[19] ZHIHUA, ZHOU. ZHIMING, ZHANG. JIAN, ZUO. KE, HUANG. LIYING, ZHANG. *“Phase change materials for solar thermal energy storage in residential buildings in cold climate”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115003184>>. Acesso em: 6 de Julho de 2015.

[20] LI, YANG. BAO-JIE HE, MIAO YE. *“The application of solar technologies in building energy efficiency: BISE design in solar-powered residential buildings”*. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X14000220>>. Acesso em: 6 de Julho de 2015.

[21] CERTIFICAÇÃO AQUA. Disponível em: <<http://www.vanzolini.org.br/hotsite-aqua.asp>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2015.

[22] CERTIFICAÇÃO LEED. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/certificacao-leed-o-que-e-como-funciona-o-que-representa-construcao-sustentavel-675353.shtml>. Acesso em: 12 de Novembro de 2015.

[23] MARQUES, CEOLIN PAULUS CLAUREM. "Identificação de ofensores via análise da sensibilidade na vazão de redes IEEE 2.11". Disponível em: <

http://www.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/tde_busca/processaPesquisaPortal.php?tipoPesquisa=0&nrPagina=1&pesqExecutada=0&nrExpressoes=1&campo%5B0%5D= TODOS&texto%5B0%5D=%22Claudem+Paulus+Ceolin+Marques%22&Submit=Buscar+%BB&qtdRegPagina=5&listaDetalhes%5B%5D=1846>. Acesso em: 12 de Novembro de 2015.

[24] PROCOPIO, TAIRA EDSON. "Identificação de modelo matemático para representar a transmissão de rede de sensores sem fio em ambientes construídos". Disponível em: http://www.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br/tde_busca/processaPesquisaPortal.php?tipoPesquisa=0&nrPagina=1&pesqExecutada=0&nrExpressoes=1&campo%5B0%5D= TODOS&texto%5B0%5D=%22Edson+Taira+Procopio%22&Submit=Buscar+%BB&qtdRegPagina=5&listaDetalhes%5B%5D=1783. Acesso em: 12 de Novembro de 2015.

[25] FEITOSA, AILTON. "*Avanços tecnológicos e seus impactos na educação*". Disponível em: <<http://www.infoescola.com/pedagogia/avancos-tecnologicos-e-seus-impactos-na-educacao/>>. Acesso em: 8 de Setembro de 2014.

[26] PADRÃO IEEE 802.11. "*Tutoriais redes ópticas*". Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwifiieee/pagina_4.asp>. Acesso em: 8 de Setembro de 2014.

[27] JR, ALEMEIDA, ATAIDE. "*Crescimento das redes sem fio sinaliza começo da década da mobilidade*". Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2011/05/03/interna_tecnologia,250723/crescimento-das-redes-sem-fio-sinaliza-comeco-da-decada-da-mobilidade.shtml>. Acesso em: 8 de Setembro de 2014.

[28] ABRANTES, SILVIO. "*Como evoluíram as normas wi-fi IEEE 802.11*". Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/smit_13_14/uploads/relat_1MIEEC01_3.pdf>. Acesso em: 8 de Setembro de 2014.

[29] ABNT NBR 7211:2009. "*Agregados para concreto*". Disponível em: <<http://areiaovitoria.com.br/download/NBR%207211.pdf>>. Acesso em: 10 de Setembro de 2014.

[30] NORMATIZAÇÃO IEEE. Disponível em: < <http://standards.ieee.org/>> Acesso em 01 de Maio de 2015.

- [31] RAPPAPORT, T. S. *“Wireless Communications-Principles and Practice”*, Ed. Prentice Hall Inc, 2002.
- [32] RADIOIT. *“Industria Brasileira de Módulos de Rádio Frequência”*. Disponível em: <<http://www.spreadcom.com.br>>. Acesso em: 10 de Abril de 2014.
- [33] CI CC1101. Disponível em <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/191432/TI/CC1101.html>> Acesso em: 10 de Abril de 2015.
- [34] CI ATMEGA 168. Disponível em:<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/83753/ATMEL/ATMEGA168.html>> Acesso em: 10 de Abril de 2015.
- [35] VALLE, T. ODILSON. MILACK, V. ANDRÉ. MONTEZ, CARLOS. PORTUGAL, PAULO. VASQUES FRANCISCO. *“Uma nova classe de mensagens para redes IEEE 802.15.4”*. Disponível em: <http://sbirt.org.br/sbirt2012/publicacoes/98748_1.pdf>. Acesso em: 23 de Março de 2015.
- [36] REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.nepo.unicamp.br/textos/publicacoes/livros/megacidades/megacidades_RMSP.pdf>. Acesso em: 30 de maio de 2014.
- [37] MONTEIRO, STEFANICHEN VERÔNICA. PEZZUTO, COTRIM CLÁUDIA. *“Caracterização do ambiente térmico urbano na cidade de Campinas, SP”*. Disponível em: <https://www.puc-campinas.edu.br/websist/Rep/Sic08/Resumo/2013822_10290_621848106_res_esu.pdf>. Acesso em 22 de Maio de 2014.
- [38] NORMAS RELACIONADAS A CONFORTO AMBIENTAL, PROFESSOR ROBERTO LAMBERTS. Disponível em:<<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila%20Conforto%20T%C3%A9rmico%202014.pdf>> Acesso em: 9 de abril de 2015.
- [39] AMBIENTE URBANO. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/artigos_urbano/aquecimento_global_-_ficcao_x_realidade.html>. Acesso em: 13 de março de 2015.
- [40] NORMA ISO 11079-2007. *“Ergonomics of the thermal environment – determination and interpretation of cold stress when using required clothing and local cooling effects”*. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=38900>. Acesso em: 9 de Abril de 2015.

- [41] NORMA ISO 8996-2004. “*Ergonomics oh the thermal environment – determination of metabolic rate*”. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=34251>. Acesso em: 9 de Abril de 2015.
- [42] NORMA ISO 9920-2007. “*Ergonomics oh the thermal environment – estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*”. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=39257>. Acesso em: 9 de Abril de 2015.
- [43] NORMA NR 15. “Atividade e operações insalubres”. Disponível em; <<http://vitorpecora.jusbrasil.com.br/artigos/153309652/nr-15-atividade-e-operacoes-insalubres>>. Acesso em 9 de Abril de 2015.
- [44] SENSORES DE TEMPERATURA. Disponível em: <http://www.danfoss.com/latin_america_portuguese/businessareas/industrialautomation/products_pdf/temperature+..htm> Acesso em: 04 de julho de 2015.
- [45] CI LM 35. Disponível em: <<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lm35%20datasheet>>. Acesso em: 15 de Abril de 2015.
- [46] SMART-CITTIES. Disponível em: <http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2013/apresentacao/paulo_ricardo_bombassaro.pdf> Acesso em: 02 de Junho de 2015.
- [47] CIDADES INTELIGENTES. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/o-que-sao-aas-cidades-inteligentes-e-o-que-as-torna-smart-uma-abordagem-tecnologica-de-redes-inteligentes-de-comunicacao/>> Acesso em: 2 de Junho de 2015.
- [48] NUNES, RENATO. SÊRRO, CARLOS. “*Edifícios inteligentes: conceitos e serviços*”. Disponível em: < http://domobus.net/ei_docs/edif_int.pdf >. Acesso em: 13 de Outubro de 2015.
- [49] MARQUES, C. P. C. ; BEVILACQUA, A. ; MOTA, L. T. M. ; MOTA, A. A. . “*Especificação de Bancada de Testes para Detecção de Anomalia na Camada MAC, em Redes Wi-Fi (IEEE 802.11)*”.
- [50] PERES, A. “Mecanismo de Autenticação Baseado na Localização de Estações Sem Fio Padrão IEEE 802.11”. Tese de Doutorado em Ciência da Computação – Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade

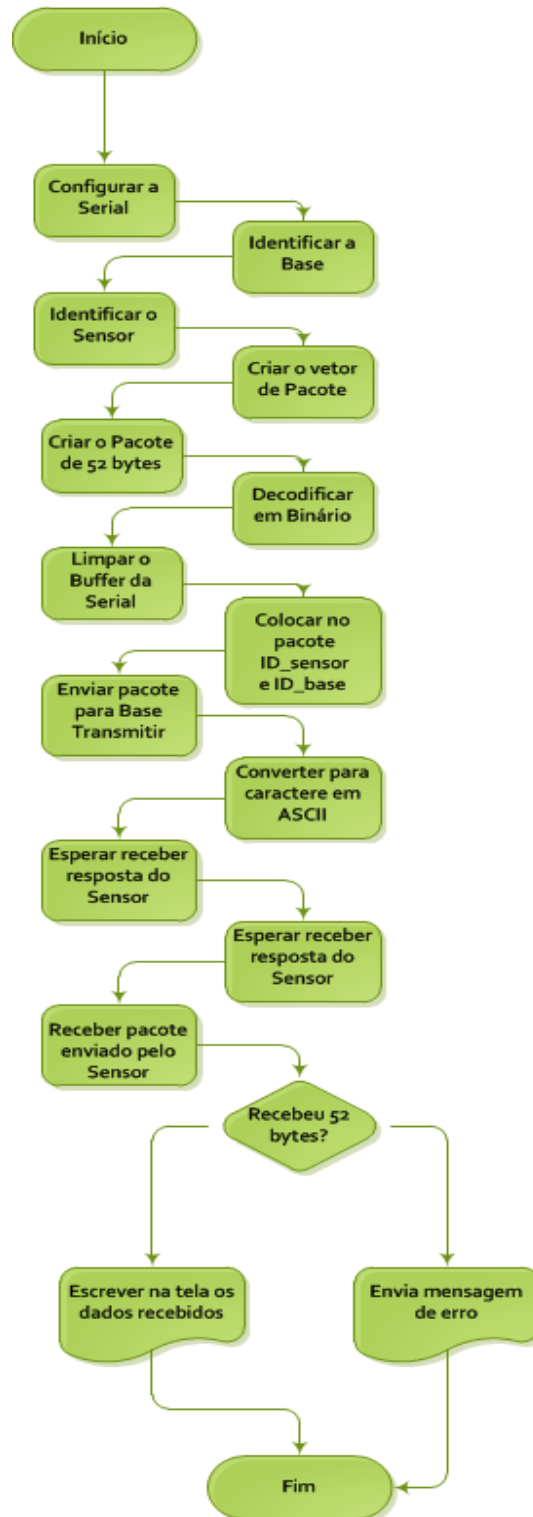
Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/1018634/00072969.pdf?sequence=1>> Acesso em: 20 de Outubro de 2015.

[51] CABRINI, F. H. “*Caracterização e Análise de Desempenho de uma Rede de Sensores Sem Fio*” 2006. 102f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-22042007-121431/pt-br.php> > Acesso em: 20 de Outubro de 2015.

[52] MACHADO, L. F.; MOTA, A. A.; MOTA, L. T. M. “Projeto e Implementação de Proxy IP de Baixo Custo e Múltiplos Sensores para Cidades Inteligentes”.

Anexos

Anexo I - Fluxograma de *Software*, para Capítulos 4 e 5.



Anexo II - Código de Programação para Coleta de Dados de uma Temperatura, Capítulo 5.

```
int pinoSensor0= A5;
int valorLidoA = 0;
float temperatura0 = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  valorLidoA = analogRead(pinoSensor0);
  temperatura0 = (valorLidoA * 0.00488);
  temperatura0 = temperatura0 * 100;
  Serial.print("Temperatura actual: ");
  Serial.println(temperatura0);
  delay(1000);
}
```


Anexo III - Código de Programação para Coleta de Dados de seis Temperaturas, Capítulo 6.

```
int pinoSensor0= 0;
int pinoSensor1= 1;
int pinoSensor2= 2;
int pinoSensor3= 3;
int pinoSensor4= 4;
int pinoSensor5= 5;
int valorLido0 = 0;
int valorLido1 = 0;
int valorLido2 = 0;
int valorLido3 = 0;
int valorLido4 = 0;
int valorLido5 = 0;
float temperatura0 = 0;
float temperatura1 = 0;
float temperatura2 = 0;
float temperatura3 = 0;
float temperatura4 = 0;
float temperatura5 = 0;
void setup() { Serial.begin(9600);}
void loop() { valorLido0 = analogRead(pinoSensor0);
valorLido1 = analogRead(pinoSensor1);
valorLido2 = analogRead(pinoSensor2);
valorLido3 = analogRead(pinoSensor3);
valorLido4 = analogRead(pinoSensor4);
valorLido5 = analogRead(pinoSensor5);
temperatura0 = (valorLido0 * 0.00488);
temperatura1 = (valorLido1 * 0.00488);
temperatura2 = (valorLido2 * 0.00488);
temperatura3 = (valorLido3 * 0.00488);
temperatura4 = (valorLido4 * 0.00488);
temperatura5 = (valorLido5 * 0.00488);
temperatura0 = temperatura0 * 100;
temperatura1 = temperatura1 * 100;
temperatura2 = temperatura2 * 100;
temperatura3 = temperatura3 * 100;
temperatura4 = temperatura4 * 100;
temperatura5 = temperatura5 * 100;
//Serial.print("Temperatura actual0: ");
Serial.println(temperatura0);
//Serial.print("Temperatura actual1: ");
Serial.println(temperatura1);
//Serial.print("Temperatura actual2: ");
Serial.println(temperatura2);
Serial.println(temperatura3);
Serial.println(temperatura4);
Serial.println(temperatura5);
delay(10000);}
```