

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES

DANIEL BRAGA BARROS

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE OCUPAÇÃO DE
AMBIENTES INTERNOS FECHADOS EM FUNÇÃO
DA POTÊNCIA DE SINAL RECEBIDO EM REDES DE
SENSORES SEM FIO

PUC-CAMPINAS
2014

DANIEL BRAGA BARROS

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE OCUPAÇÃO DE
AMBIENTES INTERNOS FECHADOS EM FUNÇÃO
DA POTÊNCIA DE SINAL RECEBIDO EM REDES DE
SENSORES SEM FIO

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

Orientadora: Profa. Dra. Lia Toledo Moreira
Mota

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

DANIEL BRAGA BARROS

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE OCUPAÇÃO DE
AMBIENTES INTERNOS FECHADOS EM FUNÇÃO
DA POTÊNCIA DE SINAL RECEBIDO EM REDES DE
SENSORES SEM FIO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de concentração: Gestão de Redes e Serviços

Orientador: Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

Dissertação defendida e aprovada em ____ de _____ de _____ pela
Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Profa. Dra. Rosa Cristina Cecche Lintz

Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Dedico este trabalho à minha namorada, Rosângela Aparecida Ribeiro e, aos meus familiares, pelo apoio e incentivos para transpor os obstáculos do desenvolvimento pessoal e intelectual.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colegas mestrandos e professores pela dedicação, companheirismo e troca de experiências durante o curso. Em especial, agradeço ao mestrando Tiago Ganselli, pela parceria em todos os momentos do curso, desde a realização dos testes iniciais até os momentos finais da redação desta Dissertação;

À Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota,
Orientadora e incentivadora nas pesquisas e trabalhos que realizei no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, muito pelo apoio, atenção, dedicação e amizade;

Ao Prof. Dr. Alexandre de Assis Mota,
Por todos os esforços e por toda dedicação oferecida aos alunos do programa, também pelo exemplo de condução objetiva, ativa e otimista na criação de valores intelectuais;

Ao Prof. Dr. Omar Carvalho Branquinho,
Pelas importantes sugestões no que diz respeito às questões técnicas referentes à rede de sensores, e principalmente pelos incentivos durante o curso;

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas,
Pela bolsa concedida durante o período do curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações.

“O verdadeiro vitorioso é aquele que vence no final.

A prática da fé é sinônimo do sublime vencedor”

(Dr. Daysaku Ykeda)

RESUMO

BARROS, Daniel Braga. **Determinação da Taxa de Ocupação de Ambientes Internos Fechados em Função da Potência de Sinal Recebido em Redes de Sensores Sem Fio**. 2014. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Redes de Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2014.

Este trabalho apresenta um estudo das variações de sinais de rádio frequência na influência das pessoas, objetivando identificar relações relevantes entre a taxa de ocupação de um ambiente fechado e a RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) no interior do mesmo. A obtenção do nível de ocupação espacial de maneira não invasiva possibilita o aumento da qualidade de serviço em diversas áreas. Nesse trabalho são apresentados testes experimentais que possibilitaram a verificação de um modelo de segunda ordem que fornece o número de pessoas dentro de um ambiente, tendo a variância e a média da intensidade de sinal como parâmetro. A partir da instalação de uma rede sensor sem fio padrão IEEE 802.15.4 em uma sala de aula, foram coletados dados da variação de potência dos sinais de comunicação entre os sensores posicionados em linha de visada no interior da sala. Os resultados obtidos apresentaram uma tendência de crescimento da variância do RSSI e, um decréscimo da média deste mesmo indicador, ambos proporcionais ao aumento do número de pessoas no ambiente. O modelo obtido neste trabalho possibilitou a obtenção da ocupação espacial, definida pelo número de alunos presentes, com um erro menor que duas pessoas. A partir dos resultados observou-se que a utilização da leitura da RSSI em redes de sensores, pode servir como um tipo de sensor omnidirecional capaz de realizar a leitura volumétrica do ambiente, em termos de ocupação. Este estudo pode embasar futuras aplicações para os dispositivos *Wi-Fi*, sendo esta uma tecnologia bastante disseminada.

Palavras-chave: Gerência de Redes, Qualidade de Serviço, RSSF, RSSI, Taxa de Ocupação.

ABSTRACT

This paper presents a study of the radio frequency signals variations influencing people in order to identify relevant relationships between the occupancy rate of a closed environment and the RSSI (Received Signal StrengthIndicator) inside of it. The achievement of spatial occupation noninvasively enables increased service quality in several areas. In this paper are shown experimental tests that enabled the verification of a second order model that provides the number of people within an environment, and the variance and the average signal intensity as a parameter are presented. From the installation of a wireless IEEE 802.15.4 sensor wire in a classroom network data power variation of communication signals positioned between the line of sight inside the room sensors were collected. The results show an increasing trend of the variance of RSSI and a decrease of the average of the same index, both increase in proportion to the number of people in the environment. The model obtained in this work enables the achievement of spatial occupation, defined by the number of students present, with less than two people error. After the results it was observed that the use of the RSSI reading sensor networks can serve as a type of omnidirectional sensor capable of performing the volumetric reading of the environment in terms of occupation. This study can to base future applications for Wi-Fi devices; this is a fairly widespread technology.

Hot-keys/Keywords: Network Management, Quality of Service, Wireless Sensor Network, RSSI, occupation tax.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplificação de projeções de área construída sobre um terreno retangular plano.	18
Figura 2 - Estrutura básica de um nó sensor.	27
Figura 3 - Estrutura básica de um nó Base.	29
Figura 4 - Redes de sensores sem fio na topologia Ponto Multiponto (A) e Ponto a Ponto (B).	30
Figura 5 - Classificação das redes sem fio em função de sua área de cobertura.	32
Figura 6 - Estrutura da pilha de protocolo em uma rede de sensores utilizando Rádiumo.	35
Figura 7 - Mapa do pacote Rádiumo.	35
Figura 8 - Composição básica de um linkbudget.	38
Figura 9 - Fluxograma para cálculo do RSSI em dBm.	40
Figura 10 – Fotografia panorâmica da sala de aula estudada.	51
Figura 11 - Topologia do teste de captura do RSSI em sala de aula.	52
Figura 12 – Módulo UART-Bee (esquerda) e Módulo RFBee (direita)	54
Figura 13 - Algoritmo de funcionamento do nó sensor utilizado para a aquisição do RSSI.	56
Figura 14 - Algoritmo de funcionamento do nó base utilizado para a aquisição do RSSI.	57
Figura 15 - Algoritmo da Interface Python para coleta de dados na rede instalada.	58
Figura 16 – Comportamento da média e variância do RSSI (dados de modelagem).	64
Figura 17 – Comportamento da média e variância dos dados de modelagem sem <i>outlier</i>	65
Figura 18 – Comparação de pessoas reais com pessoas estimadas.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de funcionamento dos nós base e sensor.	53
Tabela 2 – Média e Variância dos dados coletados para modelagem.	62
Tabela 3 – Normalização dos dados coletados para modelagem.....	63
Tabela 4- Parâmetros dos modelos estimados com o MMQ após a remoção do outlier..	66
Tabela 5- Comparação entre o número real de pessoas e o número estimado de pessoas.....	66
Tabela 6 - Resíduos calculados para os modelos de primeira, segunda e terceira ordem.	67
Tabela 7 – Resíduo Absoluto entre o número real de pessoas e o número estimado de pessoas.....	69

LISTA DE EQUAÇÕES

(1)	37
(2)	38
(3)	38
(4)	39
(5)	48
(6)	48
(7)	49
(8)	49
(9)	50
(10)	50
(11)	50
(12)	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	=	<i>Conversor Analógico Digital</i>
BER	=	<i>Bit Error Rate</i>
CI	=	<i>Circuito Integrado</i>
CSMA – CA	=	<i>Carrier sense multiple access with collision avoidance</i>
dBm	=	<i>Decibel miliwatt</i>
EEPROM	=	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FSK	=	<i>Frequency Shift Keying</i>
IEEE	=	<i>Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos</i>
ISM	=	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
MAC	=	<i>Medium Access Control</i>
MAPL	=	<i>Maximum Allowable Path Loss Formula</i>
MHz	=	<i>Megahertz</i>
MMQ	=	<i>Método dos Mínimos Quadrados</i>
mW	=	<i>Miliwatt</i>
PAN	=	<i>Personal Area Network</i>
PHY	=	<i>Physical Layer</i>
PUC-Campinas	=	<i>Pontifícia Universidade Católica de Campinas</i>
RF	=	<i>RádioFrequência</i>
RQM	=	<i>Resíduo Quadrático Médio</i>
RSSF	=	<i>Rede de Sensores Sem Fio</i>
RSSI	=	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SRAM	=	<i>Static Random Access Memory</i>
TCP/IP	=	<i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i>
USB	=	<i>Universal Serial Bus</i>
UWB	=	<i>Ultra-wide-band</i>
WPAN	=	<i>Wireless Personal Area Network</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Contextualização e Justificativa do Trabalho	16
1.2. Objetivo do Trabalho.....	17
1.3. Organização da Dissertação.....	17
2. TAXA DE OCUPAÇÃO.....	18
2.1. Conceitos de taxa de ocupação.....	18
2.2. Técnicas para estimação de multidões.....	20
2.3. Estimação de pessoas em ambientes fechados.....	24
3. REDES DE SENSORES SEM FIO.....	27
3.1. Estrutura de uma rede de sensores sem fio	27
3.2. Padrão IEEE 802.15.4	31
3.3. Potência do sinal em RSSFs	36
3.4. Propagação de sinal em ambiente interno fechado	41
3.5. Influência do ambiente em redes de sensores sem fio	42
3.6. Influência das pessoas em redes de sensores sem fio.....	43
4. MODELAGEM MATEMÁTICA DA TAXA DE OCUPAÇÃO EM FUNÇÃO DO RSSI.....	44
4.1. Técnicas de Modelagem	44
4.2. Identificação de sistemas.....	46
4.3. Método dos mínimos quadrados.....	48
4.4. Modelagem Proposta.....	50
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
5.1. Arquitetura da Rede.....	51
5.2. <i>Software</i> e Ferramentas de Análise.....	55
5.3. Procedimento de Medição do RSSI	60
5.4. Método de coleta e tratamento de dados.....	60
5.5. Método de Validação	61
6. RESULTADOS	62
6.1. Pré-processamento de dados.....	62
6.2. Identificação do modelo	63
7. CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS.....	72

ANEXO A – Firmware da Aplicação em Python.....	78
ANEXO B – Script de Modelagem Matemática do Software Scilab.	80

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as redes de sensores sem fio (RSSF) tem sido tema de pesquisas em diversas aplicações, devido ao grande empenho da indústria eletrônica nos avanços tecnológicos. Graças a isso, atualmente é possível se adquirir dispositivos de rede a um baixo custo, viabilizando diversas aplicações de segurança e monitoramento ambiental [1].

Em toda aplicação de RSSF é necessário realizar-se aquisições de dados, em que através de transdutores presentes nos nós da rede é possível realizar a leitura de grandezas como, luminosidade, temperatura, umidade entre outras grandezas dos quais os transceptores possam medir [2]. Em uma visão mais ampla da utilidade dessas redes, pode-se dizer que são robustas, tanto para aplicações em ambiente externo, como na melhoria dos transportes, edifícios inteligentes, cidades inteligentes [3], ou interno em áreas comerciais, médicas e outras áreas.

Diante dessas aplicações, é importante se preocupar com as melhores práticas de utilização das RSSF, no que diz respeito à melhor maneira de instalação, configuração e posicionamento dos nós para que forneçam informações confiáveis, e seus limites de funcionamento sejam respeitados. O ambiente de instalação da rede e os materiais que compõem este ambiente, também influenciam o modelo de propagação dos sinais de rádio em uma RSSF, sendo que através da leitura de Indicação de Potência do Sinal Recebido (RSSI – *Received Signal Strength Indicator*) é possível modelar o comportamento dos sinais de rádio de uma RSSF, em função dos obstáculos presentes [4].

Outros estudos como, desempenho de hardware, determinação de melhor alocação de sensores e novos meios de propagação, são realizados tendo como foco o RSSI como parâmetro [5]. Sendo assim, considerando que as redes de sensores estejam cada vez mais presentes em diversos ambientes, é interessante explorar os possíveis comportamentos do RSSI, objetivando identificar o maior número de aplicações possíveis.

1.1. Contextualização e Justificativa do Trabalho

A obtenção de número de pessoas presentes em uma multidão pode ser importante tanto para ambientes interno, como edifícios, hospitais e aeroportos, como para ambientes externos, como torcidas, manifestações ou comícios. No entanto atualmente não existem técnicas para estimação de pessoas em tempo real, o que seria necessário para as aplicações descritas. As técnicas existentes utilizam imagens aéreas, que não podem ser tratadas em tempo real, ou utilizam estimativas realizadas por pessoas em diversos pontos, nas quais não se obtém resultados precisos [6].

A utilização de câmeras e técnicas computacionais no monitoramento de grupo de pessoas pode ser difícil em situações em que seja necessário se ter noção de escala da cena gravada, principalmente quando não se dispõe de câmeras de qualidade. Pesquisas envolvendo segmentação de grupo de pessoas, através de técnicas de mistura de Gaussianas e, com aplicação de métodos heurísticos, vem sendo realizadas visando solucionar o problema de tratamento de imagens para essas situações. Existem vários trabalhos na literatura referente à utilização de imagens para rastreamento de pessoas, porém, poucos são dedicados à contagem de pessoas em imagens [7].

A localização de pessoas e objetos é uma informação muito relevante para ambientes, pois a partir do histórico de posições dos corpos é possível se prever eventos, realizar monitoramento e aplicações de controle [8]. Estudos descritos em [9], definem as técnicas de identificação de corpos através de triangulação, medições de proximidades e análise de cena.

Devido ao custo e ao fator invasivo presentes nos projetos de implantação de câmeras, com finalidade de contabilizar pessoas, este trabalho se mantém na investigação da possibilidade de utilização das RSSF para esta finalidade.

Através do estudo de comportamento dos sinais de rádio frequência em uma rede de sensores instalada em um ambiente interno, pretende-se verificar a ocupação espacial. Nesse caso, os sinais de comunicação teriam a função de leitura omnidirecional das pessoas do ambiente estudado.

1.2. Objetivo do Trabalho

O objetivo geral deste trabalho é a identificação de um modelo matemático que possa ser utilizado para estimação de taxa de ocupação espacial, em termos de número de pessoas, através da leitura da intensidade de sensores sem fio, que compõem uma rede instalada em um ambiente interno.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Construção de uma RSSF, no padrão IEEE 802.15.4, para a realização de testes, com interface para leitura de dados;
- Testar a utilidade do RSSI das redes IEEE 802.15.4 como sensores de leitura de ocupação espacial em ambiente fechado;
- Obtenção de um modelo que represente o comportamento do RSSI na presença de pessoas, de modo que o mesmo retorne o número de pessoas que ocupam um ambiente interno.

1.3. Organização da Dissertação

No capítulo 2, são apresentados os conceitos de taxa de ocupação. No capítulo 3 é apresentada a estrutura de uma rede de sensor sem fio e sua interação com o meio. No capítulo 4, são apresentadas as técnicas de modelagem e tipos de abordagem, utilizados para a identificação do modelo adotado. No capítulo 5, é apresentada a metodologia adotada nos testes de comprovação de hipótese e também todos os materiais utilizados. No capítulo 6, são apresentados e comentados todos os resultados obtidos neste trabalho. No capítulo 7, estão as conclusões do trabalho.

2. TAXA DE OCUPAÇÃO

Neste capítulo é apresentado o conceito de taxa de ocupação e como pode ser interpretado, dependendo da área do conhecimento em que se aplica, ou atividade profissional tratada. Também são apresentadas as técnicas tradicionais utilizadas para a obtenção da taxa de ocupação em ambientes externos, especificamente no caso de estimação de multidões.

Partindo desses conhecimentos, é sugerida a utilização de RSSF para a estimação do número de pessoas em um ambiente fechado.

2.1. Conceitos de taxa de ocupação

Bem comum na área de edificações, esse termo é utilizado para representar a porcentagem da projeção da área construída sobre um terreno [10].

Para exemplificar, a Figura 1 apresenta diferentes valores de taxa de ocupação para terrenos de mesma área.

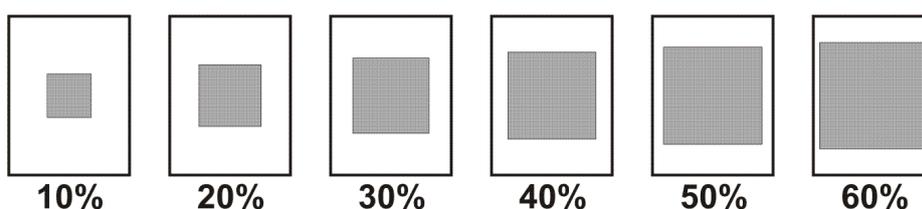


Figura 1 - Exemplificação de projeções de área construída sobre um terreno retangular plano.

Como apresentado na Figura 1, a região escura presente em cada caso representa a projeção de área construída sobre o terreno, ou seja, a taxas de ocupação diferentes para um mesmo terreno.

O percentual da ocupação tem grande importância na área de edificações. Esse valor é determinado na fase de projeto e impacta diretamente na legalização e registros do empreendimento do ponto de vista dos órgãos reguladores [10].

Outro exemplo de aplicação do conceito de taxa de ocupação está presente na área de telecomunicações. É de suma importância para empresas deste ramo, determinarem a quantidade de tráfego telefônico demandada por alguma região em que se pretende implantar um sistema de comunicação deste tipo [11].

A intensidade de tráfego representa a taxa de ocupação de um canal telefônico e é calculada estatisticamente na fase de projeto. Nessa etapa inicial são dimensionados números de circuitos, canais e troncos de modo a garantir uma meta preestabelecida de funcionamento do sistema [11].

É relevante observar que em edificações a taxa de ocupação é considerada estática. Apesar de poder ser alterada em função de futuras reformas prediais, a ocupação não varia dinamicamente, o que sempre ocorre nos circuitos telefônicos.

Um caso de taxa de ocupação dinâmica pode ser observado dentro de um hospital onde o número de pacientes por leitos, em um período determinado, representa o percentual da ocupação dos leitos do hospital. Esse percentual, mais conhecido como taxa de ocupação hospitalar, serve como indicador de qualidade na área da saúde, permitindo, também, a realização de pesquisas sobre taxa de mortalidade nos hospitais [12].

Do ponto de vista da qualidade de serviço, a taxa de ocupação hospitalar pode não ser considerada um bom indicador pelo fato de não representar a ocupação do estabelecimento como um todo.

A simples relação de pacientes por leito não deve ser considerada um bom indicador de qualidade em função da ocupação, se for levado em consideração o fato de que o ambiente hospitalar é composto por profissionais da saúde, pacientes, acompanhantes e visitantes. Os sistemas de cadastro manuais, tradicionalmente utilizados nos hospitais, não consideram essa realidade [12].

Porém, qualquer solução que pretenda melhorar a precisão da informação referente à ocupação deve ser feita de maneira não invasiva, pois a utilização de sistemas de controle que exijam muitas informações das pessoas, ou a instalação de controle físico de fluxo, poderia acarretar em uma degradação da prestação de serviço do hospital.

Neste trabalho a taxa de ocupação é definida como o número de pessoas em um ambiente fechado. Portanto, a estimativa da quantidade de

peças em uma determinada situação, poderá ser adequadamente utilizada para apoiar o controle e melhora da qualidade de serviço em vários tipos de ambiente, como casas noturnas superlotadas, bancos, shoppings, salas de aulas ou qualquer estabelecimento, onde o fluxo e a quantidade excessiva de pessoas possa causar uma piora na qualidade do serviço oferecido.

2.2. Técnicas para estimacão de multidões

Existem várias situações em que a estimacão do número de pessoas em uma multidão é importante. Qualquer que seja a situação, comícios, manifestações ou grandes eventos, a dificuldade na estimacão de multidões é uma realidade tanto na forma como se pretende realizar a medida, quanto na precisão da mesma. Ainda mais difícil se torna a realizacão dessa tarefa, quando existem interesses políticos por parte da imprensa [13].

Um exemplo da dificuldade e falta de precisão para estimar multidões pode ser acompanhado no período entre os meses de junho e julho do ano de 2013, em que manifestantes egípcios foram às ruas exigindo a renúncia do islamita Mohammed Morsi, devido aos problemas políticos, econômicos e sociais evidenciados em seu governo. Segundo o correspondente da BBC (British Broadcasting Corporation), presente no local da manifestacão, Wyre Davies, o número de trinta milhões de manifestantes alegado, pareceu estar superestimado, quando relata que as quantidades citadas representam quarenta e cinco por cento de toda populacão do Egito. Portanto, seria difícil que essa quantidade de pessoas ocupasse um espaço como o de Tahrir Square [13].

Segundo o professor Paul Yip da Universidade de Hong Kong, os grandes erros na estimacão de multidões existem em todo tipo de evento, não somente quando há interesses em favorecer alguma opinião para atingir a fé pública. Ele cita, por exemplo, o casamento do príncipe William com Catherine Middleton, em que as estimativas de quantidade de pessoas presentes variaram entre quinhentos mil e um milhão. Cita, também, o evento da posse do presidente Obama, onde diferentes fontes, sem qualquer ligacão com o governo, estimaram números dos presentes com diferença de até oitocentas mil pessoas [13].

De qualquer forma, o erro existe e, segundo especialistas como Ray Watson and Paul Yip, são inevitáveis principalmente quando se trata de multidões que se movem [14]. Nessa mesma referência é descrita a dificuldade de realizar a contagem de pessoas em uma multidão. Basicamente, os autores consideram a existência de dois tipos de multidões, que são as de eventos e as de manifestações. Essas ainda podem ser classificadas como sendo estáticas ou móveis, sendo que para essa última, o tratamento para estimação de tamanho é mais trabalhoso e pode gerar mais incertezas em sua estimação.

Outro fator de grande importância em uma multidão, mais especificamente em uma manifestação, é o número de manifestantes. Uma grande quantidade de manifestantes tem maior capacidade de envolver e incorporar mais simpatizantes. Além disso, do ponto de vista de quem é direcionada a manifestação, o mérito das reivindicações aumentam em função da quantidade de pessoas. Portanto, a relevância de qualquer evento ou manifestação é quantificada em função do tamanho da multidão [14].

Um ponto importante é o fato de que após as manifestações é comum que, o número obtido pela previsão do número de pessoas seja geralmente alterado para mais ou menos, dependendo do interesse da fonte divulgadora. Por exemplo, superestimando-se a contagem em um evento que cause um impacto positivo na sociedade, ou o contrário no caso de eventos que transmitam uma impressão negativa à maioria. Portanto, em muitos casos, o trabalho de mensurar o tamanho de uma multidão acaba sendo visto mais como uma questão de relações públicas, do que realmente uma tarefa de aplicação de algum método que revele um resultado mais próximo da verdade [14].

A obtenção de números exatos para esse tipo de problema não é possível devido à complexidade da movimentação dinâmica das pessoas. No entanto, a aplicação de algum tipo de método pode ajudar na obtenção de valores próximos da realidade, ou pelo menos evitar graves erros de estimação como citado anteriormente. Os tipos de multidões a partir das características de dinâmica e de densidade. Nesse sentido, as multidões podem ser classificadas como estáticas ou móveis, e possuem densidades do tipo solta, sólida ou densa. Esses tipos de densidade referem-se a uma, duas e quatro pessoas por metro quadrado respectivamente, podendo ser determinados diretamente a partir da observação do evento, ou através de imagens fotográficas de pontos estratégicos

ou por satélites. No entanto, a utilização de fotografias pode ser inviável em eventos noturnos ou por obstrução da linha de visão devido à presença de obstáculos diversos [14].

O método de Jacobs, baseado no conceito de densidade de pessoas, é utilizado até os dias de hoje para a contagem de multidões estáticas. Este método ficou conhecido quando em 1967 o professor da Universidade da Califórnia Herbert Jacobs observava os alunos protestando contra a guerra do Vietnã. Basicamente ele contabilizou os alunos que ocupavam uma área conhecida, extrapolando a contagem para toda região do protesto. Este método é simples de se aplicar em um caso como o descrito aqui, pois os estudantes encontravam-se parados em um local de visão ampla. No entanto não traz resultado se for aplicado em casos de multidões móveis [14].

Existem duas formas conhecidas de estimar o tamanho de multidões móveis, que são o método de um ou dois pontos. No primeiro, um contador em um ponto fixo diante do fluxo da multidão conta o número de pessoas em um tempo determinado. Portanto, é possível calcular um número aproximado de pessoas no final do período do fluxo total. No entanto este método pode apresentar erros, considerando que alguns manifestantes tomem direções diversas que não sejam no sentido do foco principal, ou que talvez passem pelo ponto mais de uma vez. O método de dois pontos pode diminuir esse tipo de erro. A partir da disposição de dois pontos de contagem no percurso da manifestação, os contadores interrogam os manifestantes aleatoriamente certificando-se que estes tenham passado pelo outro ponto, melhorando a precisão do cálculo pessoas por intervalo de tempo. De qualquer forma os dois métodos sempre vão apresentar erros, pois a realidade da dinâmica de uma multidão é complexa. Contar pessoas nessas condições é uma tarefa complexa. Pessoas se abaixam, levantam, seguem direções diversas, podem, eventualmente, até carregar outra pessoa no colo sem que o observador dê conta [14].

Uma forma de tentar superar todos esses desafios é utilizar a tecnologia. É fato que já existem recursos tecnológicos capazes de capturar imagens de qualquer ponto do globo terrestre com precisão suficiente para identificar pessoas, e que fotografias possam ser acessadas rapidamente via Internet, porém, as aplicações atuais dessas tecnologias, descritas em [15], são restritas à área de segurança.

Sendo assim, a busca por tecnologias de baixo custo para a estimação do posicionamento e identificação de pessoas tem sido alvo de pesquisa científica, pois benefícios como prever quantas vítimas de um incêndio, catástrofes ou grandes acidentes, poderiam possibilitar o salvamento ou atendimento de mais vidas [16].

Pesquisas envolvendo utilização de rádio frequência, para a contagem de pessoas ou para a identificação da posição de objetos, são realizadas para aplicações em ambientes fechados [17]. A utilização de dispositivos sem fio (com baixo processamento) em diversas aplicações tem aumentado devido à popularização de tecnologias já difundidas como transmissão Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth, comunicações SMS e serviço celular. Estes dispositivos possuem *hardware* reduzido e são capazes de trocar informações a baixas taxas de transmissão, porém ideais para aplicações de controle ou monitoração, onde não se requer muito recurso de processamento ou transferência de dados [18].

Recentemente, Yaoxuan Yuan, juntamente com outros pesquisadores, uniram os conceitos de densidade de pessoas (quantidade de pessoas por área) e tecnologia de rádio frequência na tentativa de apresentar soluções para estimação de multidões em ambiente dinâmico. Através da instalação de uma rede de sensores, operando na faixa de frequência de 2,4 GHz com sensores distribuídos uniformemente com distâncias de quatro metros entre si, foi possível a realização de testes experimentais comprovando a utilização dessa tecnologia para a finalidade de estimação de multidões [19].

A ideia aplicada nessa referência consistiu em definir uma malha constituída por áreas quadradas conhecidas, formadas pela instalação de nós sensores posicionados à altura média de um indivíduo.

O fluxo da multidão entre as áreas definidas causa alterações nos sinais de comunicação de rádio frequência entre os nós. Baseado em valores pré-definidos de ocupação, adquiridos experimentalmente na construção do sistema, é aplicado o conceito de densidade de pessoas. Posteriormente, um cálculo computacional iterativo é capaz de estimar o número de indivíduos que trafegam entre as áreas definidas. Na referência [19], Yaoxuan Yuan, juntamente com outros pesquisadores, obtiveram uma precisão nos resultados obtidos acima de 80% quando os nós sensores foram posicionados em distâncias de um a quatro metros entre si.

Considerando as dificuldades até aqui apresentadas para a estimação de multidões, utilizando-se os métodos convencionais, pode-se dizer que a utilização de tecnologia para essa finalidade tem grandes chances de se estabelecer definitivamente.

Talvez não seja possível, ainda, a utilização do método tecnológico apresentado por Yaoxuan Yuan [19], pelo fato de que multidões ocupam áreas consideravelmente grandes quando comparadas às distâncias de quatro metros, utilizadas nessa referência, ou de ser custosa a implantação de sensores em situações de multidões, ainda que de maneira portátil. No entanto, em muitas situações, a solução de problemas complexos pode ser atingida com base na resolução sequencial de problemas mais simples. Portanto, a realização de pesquisas referentes à taxa de ocupação espacial, seja em ambientes externos ou internos, pode trazer progressos e benefícios para a sociedade.

2.3. Estimação de pessoas em ambientes fechados

Contabilizar pessoas em casas noturnas, estádios, restaurantes ou qualquer outro lugar onde haja controle é uma tarefa fácil, desde que sejam respeitadas as normas de lotação máxima dos estabelecimentos, pois a utilização de catracas mecânicas ou comandas de consumo permite a contabilização precisa dos clientes.

No entanto, nem sempre a utilização de catracas ou contagem física de indivíduos é possível, ora por questões de não aplicação deste tipo de solução, como no caso de hospitais ou escolas, ora por impossibilidade de fiscalização permanente, o que é um problema no caso de eventos fechados com ambientes superlotados. Nesses casos, a utilização de tecnologias pode apoiar ou possibilitar uma fiscalização mais precisa que vise manter a qualidade e segurança das pessoas.

Sensores do tipo infravermelho, radares, sensores ultrassônicos ou sistemas de câmeras são utilizados em sistemas de segurança e automação. No entanto as limitações de cada tipo impossibilitam aplicações como estimação de taxa de ocupação de um ambiente fechado [20].

Dispositivos óticos sensíveis a raios infravermelho são utilizados como sensores de presença, porém não possuem bom desempenho em sua detecção. Esses dispositivos são aplicados em ambientes internos simplesmente para detecção de qualquer corpo que transite em sua área de cobertura, ou seja, não é sensível ao aumento do número de corpos. No entanto, existem pesquisas sobre a utilização de sensores infravermelhos para detecção de nível de CO₂ como descrito em [20], que também abre campo para pesquisa sobre taxa de ocupação, devido à presença de CO₂ no ar expelido por pessoas.

A tecnologia de radares é utilizada em diversas aplicações como em formações geológicas, inspeções de estruturas, detecção de minas, detecção de água, detecção de mísseis e outras aplicações como indicadas em [21]. Essa tecnologia é utilizada para identificação de objetos a partir do princípio de efeito Doppler [22]. Portanto, não seria aplicável, do ponto de vista financeiro, para uma varredura instantânea de vários corpos em um ambiente fechado.

Sensores ultrassônicos apresentam detecção de obstáculos mais precisa do que os sensores infravermelhos e possuem um custo inferior a sistemas de radares, porém também seguem os mesmos princípios dos radares, ou seja, ideais para corpos independentes [23].

Outra possibilidade seria a utilização de câmeras para verificação da taxa de ocupação, como apresentado em [24], porém a necessidade de alto processamento e diversos recursos de *software* no tratamento de imagens pode inviabilizar sua aplicação por questões de custo.

Sendo assim, uma tentativa de solução para as questões apresentadas poderia ser a utilização de uma RSSF, composta por dispositivos de baixo custo. Uma comparação rápida, somente entre um nó sensor (15,90 dólares) [25] e uma câmera *wireless* (30,00 dólares) [26], apresenta uma diferença próxima de 50%.

Partindo do princípio de que pessoas causam alterações nos sinais de comunicação entre nós sensores que compõem uma rede, como descrito anteriormente nas técnicas utilizadas para estimação de multidões em ambientes externos [27], este trabalho verifica a viabilidade de aplicação de RSSF (padrão IEEE 802.15.4) em ambientes internos com a finalidade de estimação das pessoas que ocupam o local.

Portanto, diferente da taxa de ocupação em função da densidade de pessoas em uma área, verifica-se nesse trabalho, a hipótese de que a comunicação de rádio frequência de uma pequena rede de sensor, instalada em um ambiente fechado, pode sofrer alterações suficientes para a estimação da quantidade de pessoas no seu interior.

Com base na propriedade de reflexão das ondas eletromagnéticas, a possibilidade a ser testada é de que as ondas transmitidas, de maneira omnidirecional, possam cobrir todo o ambiente e chegar ao ponto de destino com sua intensidade alterada pelos fenômenos de propagação [27]. Sendo assim, diferentes números de pessoas causariam diferentes resultados no sinal de comunicação, que tratados, poderiam indicar uma estimativa da taxa de ocupação em um ambiente interno.

3. REDES DE SENSORES SEM FIO

Devido ao desenvolvimento da microeletrônica, eletrônica digital e dos dispositivos de comunicação de rádio, as RSSF são cada vez mais utilizadas. Possuindo a capacidade de monitoração de variáveis em lugares remotos, capacidade de auto-organização, descentralização de controle e baixo custo, essas redes podem ser personalizadas para solucionar diversos problemas peculiares. Principalmente por esse motivo são alvos de pesquisas atuais, conforme a referência [28].

3.1. Estrutura de uma rede de sensores sem fio

Um nó sensor é composto, basicamente por quatro partes, sendo uma unidade de sensor composta por algum transdutor, uma unidade de energia composta por uma bateria, uma unidade de controle e processamento composta por um micro-controlador e uma unidade de interface sem fio (*wireless*) composta por algum transceptor. Essas partes não são padronizadas, podendo ser alteradas de acordo com a necessidade de cada aplicação [29]. Na Figura 2 está representada a composição básica de um nó sensor.

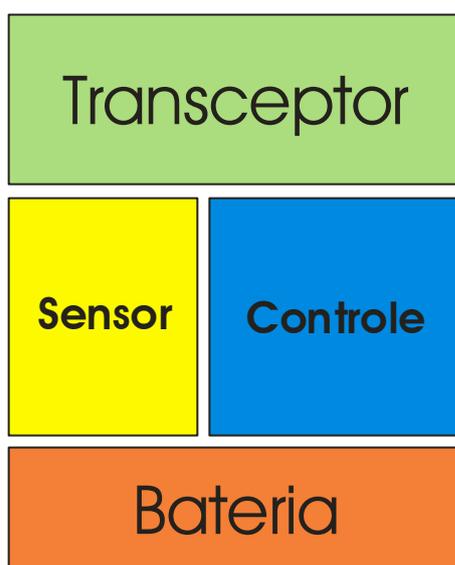


Figura 2 - Estrutura básica de um nó sensor.

A bateria é parte fundamental de um nó sensor, pois a disponibilidade de carga na mesma é o que garante a existência do nó na rede. Embora seja interessante construir arranjos com captação de energia proveniente de fontes externas naturais, existem situações em que essa opção não é aplicada. Nesse caso, o tempo de atividade de um nó sensor é igual à vida útil da bateria.

O micro-controlador (controle) é a parte responsável pelo controle das ações do nó. Possui capacidade para interpretar e responder às requisições do nó base (que será descrito posteriormente), através de um protocolo de comunicação predefinido para a rede. Esses dispositivos podem possuir estrutura interna de oito bits e operar em frequências em torno de 10 MHz [30].

Utilizando sua unidade lógica e aritmética junto com a unidade de conversão A/D (analógico / digital), é capaz de realizar leitura analógica ou digital dos transdutores, bem como realizar cálculos para tomada de decisões localmente. A capacidade de memória em um nó sensor tende a ser reduzida devido ao fato de que as informações são armazenadas no nó base. Valores comuns de memória em um nó sensor variam entre 128 K bytes e 1M bytes [30].

A parte transdutora do nó (sensor) é onde as grandezas físicas são convertidas em informações digitais, através do acoplamento de sensores. Esse bloco é composto por um sensor propriamente dito, de temperatura, umidade ou outra grandeza, e uma interface eletrônica que o liga com o micro-controlador [30].

A parte de transmissão é composta por um dispositivo transceptor que possibilita a comunicação sem fio. Esse dispositivo é composto por uma antena de rádio frequência (RF) e um *chip* modulador de sinais de rádio que se comunica serialmente com o micro-controlador. As taxas de transmissão comuns em nós sensores podem variar entre 1 kbit/s a 1 Mbit/s [30].

Similar ao nó sensor, o nó base é também composto basicamente por quatro partes, sendo uma unidade de energia composta pela bateria, uma unidade de processamento e controle composta por um micro-controlador, uma unidade de interface sem fio composta por um transceptor e uma unidade de interface que se comunica com a estação base. Estas partes também não são padronizadas e podem ser modificadas. Na Figura 3 está representada a composição básica de um nó base.

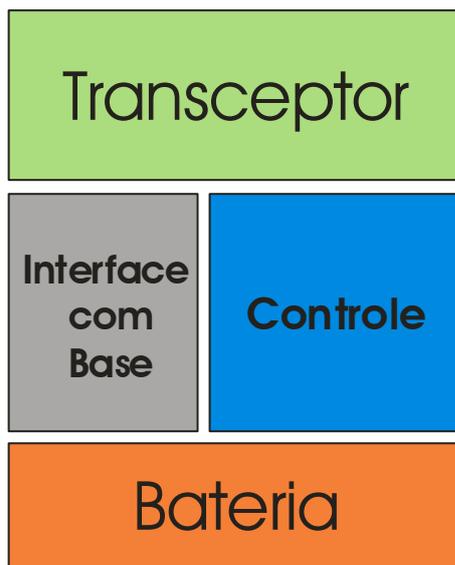


Figura 3 - Estrutura básica de um nó Base.

A interface entre nó base e estação base pode ser realizada utilizando-se a comunicação serial convencional, através da conexão DB9 ou, serial USB nas portas disponíveis da estação. De maneira mais ampla, essa estação pode ser entendida como um elemento de rede de armazenamento de informações, sendo que os dados coletados pela rede de sensores são depositados nela.

Uma RSSF não precisa ter dispositivos sensores posicionados uniformemente, portanto existe flexibilidade nas aplicações desde que a topologia lógica seja preservada. Assim, é possível monitorar e detectar grandezas físicas de diferentes naturezas, como por exemplo, condições climáticas ambientais do tipo temperatura, pressão, vibração e transmitir essas informações entre os pontos da rede [28].

A densidade dos nós ou a topologia de uma RSSF é definida pela capacidade de transmissão e sensibilidade da recepção dos nós, de modo que a qualidade de comunicação seja suficiente para garantir a integridade das informações [4].

Fundamentalmente existem dois tipos de topologias em redes de sensores: Ponto a Ponto e Ponto Multiponto, com derivações [31], como representado na Figura 4.

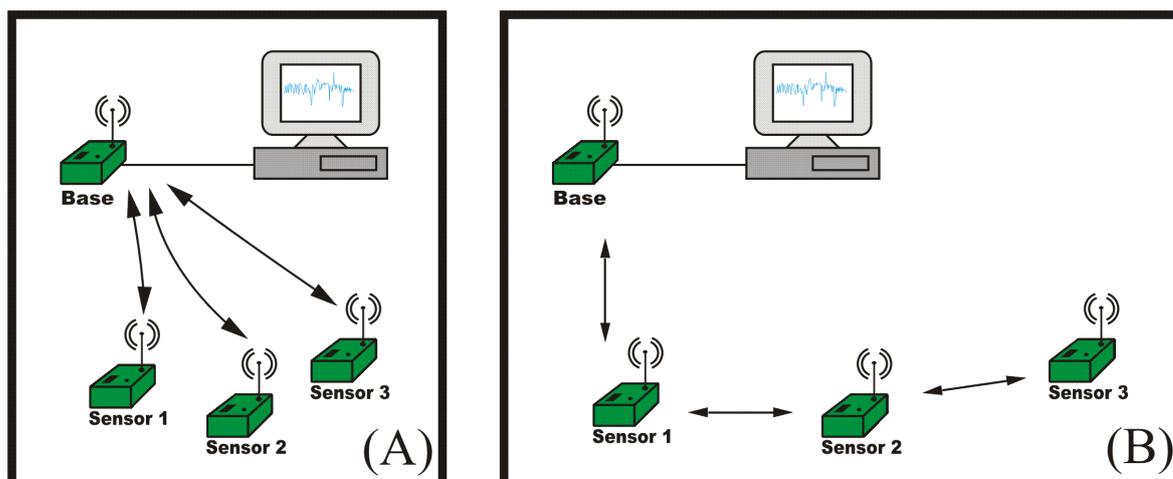


Figura 4 - Redes de sensores sem fio na topologia Ponto Multiponto (A) e Ponto a Ponto (B).

Na Figura 4(A) está representada uma rede Ponto Multiponto, sendo a mesma composta por três nós sensores e um nó base, que faz a interface com uma estação base computacional. Nesse tipo de topologia, os nós sensores se comunicam diretamente com a estação de monitoração através do nó base. A comunicação direta é possível, pois os dispositivos que compõem a RSSF estão dispostos a distâncias que respeitam os limites de potência de transmissão e sensibilidade de recepção.

Na Figura 4(B), está representada uma rede Ponto a Ponto, também composta por três nós sensores, um nó base e uma estação computacional. No entanto, nem todos os nós possuem acesso direto ao nó base. Uma requisição da base ao nó três (sensor três), por exemplo, necessitará trafegar pelos nós um e dois (sensores um e dois). Da mesma forma, a resposta a essa requisição trafegará no sentido oposto, também passando pelos dois pontos anteriores. Portanto, nesse caso não existe diferença entre os nós, com exceção da base, sendo assim qualquer nó pode servir de rota para o fluxo de informações [31].

Esse tipo de topologia é adequado para aplicações em que seja necessário aumentar o alcance da rede. No entanto, o bom funcionamento de todos os nós é essencial, ou seja, a inatividade de um nó intermediário impossibilita o acesso aos nós da extremidade de uma rede ponto a ponto. Sendo assim, as estratégias de *polling* adotadas devem prever a maximização do tempo de vida útil das baterias dos nós sensores [31]. Como mencionado nesta

referência, a estratégia de polling pode ser entendida como forma de como a estação base pode colher informações dos nós, ou seja, diretamente ou passando por outro nó.

Praticidades de instalação, baixo custo, escalabilidade e rápida reorganização, são os principais motivos pelos quais é interessante a implantação de uma RSSF. Assim, não somente em aplicações remotas, futuramente, essas redes poderão permear o cotidiano da sociedade. No entanto, a realização da integração das RSSF à sociedade exigirá padronizações e criação de protocolos que garantam a integridade de diferentes redes *ad hoc* em uma mesma área de cobertura, exigindo também a solução de problemas de tolerância a falhas, eficiência energética dos nós e qualidade de hardware [28].

O cenário de aplicação da rede, como tratado em [32], também deve ser averiguado para que não haja interferência interna causada pelos próprios nós.

Sendo assim estudos e pesquisas para solução dessas questões vem sendo desenvolvidos constantemente. Por exemplo, em [33] é apresentado um algoritmo de reconstrução da topologia original, caso a inserção de um novo nó gere alguma falha na rede. Portanto, é possível afirmar que o desenvolvimento de soluções para RSFF corresponde a um campo vasto para pesquisadores e também um nicho de mercado.

3.2. Padrão IEEE 802.15.4

O padrão IEEE 802.15.4 surgiu no ano de 2000, com o nome *Low-Rate Wireless Personal Area Networks*, para definir padrões que se aplicassem em redes de baixo custo e baixo consumo de energia [29]. Teve sua primeira versão em 2003, sendo atualizada em 2006, sendo essa adotada pelos fabricantes dos dispositivos de redes sem fio. O padrão refere-se à especificação das camadas física (*Physical - PHY*) e da subcamada de controle de acesso ao meio (*Media Access Control - MAC*). Também define o controle de acesso ao meio, através da técnica *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA) [4].

Os dispositivos de uma RSSF podem ser encontrados atualmente com facilidade, e já possuem toda a pilha de protocolo de comunicação embutida pronta para uso [34].

As RSSF podem ser classificadas de acordo com sua área de cobertura ou taxa de transmissão. Na Figura 5 é possível verificar que o padrão 802.15.4 pertence ao grupo de redes do tipo *Wireless Personal Area Networks* (WPAN).

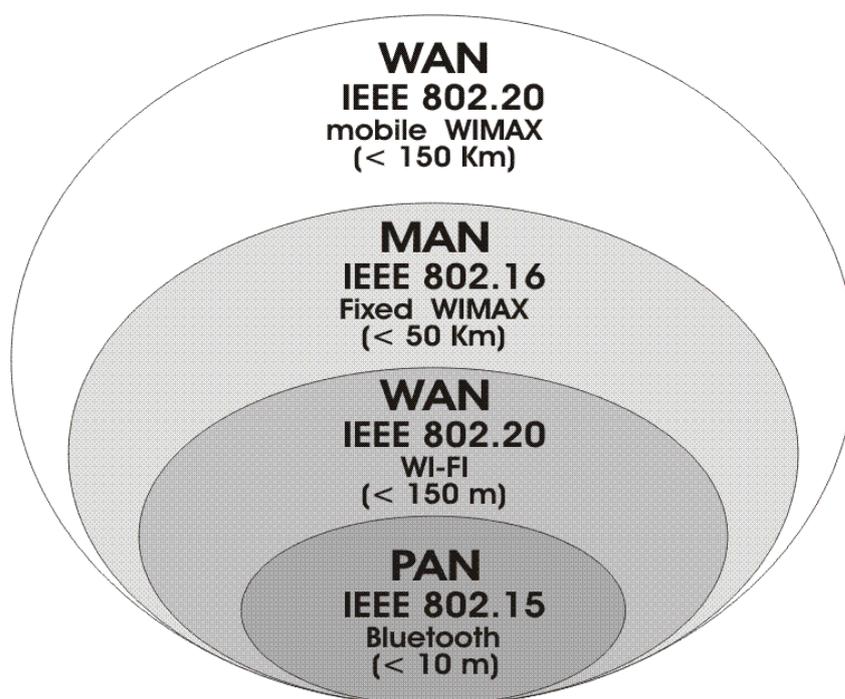


Figura 5 - Classificação das redes sem fio em função de sua área de cobertura.

Fonte: modificado de [29].

Dentro do subgrupo 15 de estudo de redes, do IEEE, foram definidos quatro subgrupos de padronização em função do tipo de aplicação das redes. O subgrupo quatro é responsável especificamente pelas definições das RSFF (IEEE 802.15.4) [29].

O subgrupo “1” é responsável pelo estudo das redes pessoais, tendo como exemplo a tecnologia *Bluetooth* popularmente utilizado. O subgrupo “2” trata da interoperabilidade entre redes WPAN e *Wireless Local Area Networks* (WLAN),

e o subgrupo “3” é responsável pelo estudo das redes de alto desempenho, como por exemplo, o *Ultra Wide Band* (UWB).

Pelo fato do padrão IEEE 802.15.4 não determinar um protocolo de aplicação para as RSSFs, no ano de 2002, foi fundada a *ZigBee Alliance*. Trata-se de uma associação formada por empresas, universidades e agências governamentais, que cria padrões confiáveis para viabilizar a interoperabilidade dos dispositivos das RSSFs e garantir que esses possam se comunicar em qualquer ambiente ao redor do mundo [34].

Dispositivos de RF (IEEE 802.15.4) como Xbee, RF-Bee e BE-900, podem ser encontrados facilmente no mercado de RSSFs [34] [35] [36].

O Xbee, fabricado pela empresa Digi International é um dispositivo que opera na frequência de 2,4 GHz, com taxas de transmissão de até 250 Kbps. É aplicável em redes do tipo ponto a ponto ou ponto multiponto, ideais para a comunicação de sistemas embarcados que necessitem de resposta rápida em distâncias que podem chegar a 90 metros sem obstáculos [35].

O RF-Bee disponibilizado pela Seeed Studio é um dispositivo semelhante ao Xbee em termos de aplicações. Opera na faixa de frequência de 868 MHz a 915 MHz e, pode atingir taxas de 4,8 Kbps a 76,8 Kbps e atingir distâncias de até 120 metros em ambientes externos sem obstáculos. Utiliza o micro controlador Atmega 168 e possui a vantagem de utilizar *hardware* e *software* livres [35].

Outro dispositivo de RF popularmente utilizado e de fabricação nacional é o BE-900, produzido pela Radioit [36]. Uma empresa brasileira apoiada pela NADE (Núcleo de Apoio ao Desenvolvimento de Empresas) da Ciatec (Companhia de Desenvolvimento do Polo de Alta Tecnologia de Campinas), atuando no desenvolvimento de soluções de RSSFs, treinamentos e consultoria [36]. Esse dispositivo é semelhante ao RF-Bee, mas com as vantagens do micro-controlador Atmega 328, ou seja, maior número de entradas e saídas analógicas e digitais.

É relevante observar que neste trabalho especificamente, foi utilizado o RF-Bee para a composição dos nós da RSSF estudada, porém com o protocolo de comunicação Rádiumino. O termo Rádiumino refere-se a uma plataforma para a criação de RSSFs [37].

Com um propósito semelhante ao da plataforma Arduino, ou seja, facilitar a utilização de tecnologia de automação a partir do uso de um intuitivo ambiente de desenvolvimento, juntamente com *hardware* e *software* de código aberto; a plataforma RADIUINO propõe-se a atender a necessidade de técnicos, estudantes ou hobistas na construção de uma RSSF, principalmente para fins de ensino e pesquisa [37]. As principais características da Plataforma RADIUINO são:

- Fácil utilização para pequenas redes de sensores;
- Arquitetura estruturada para criação de redes fim a fim;
- Permite alteração de *firmware* para aplicações específicas;
- Facilidade de aquisição, e baixo custo.

A pilha de protocolo RADIUINO foi baseada na pilha de protocolo TCP/IP e, portanto, contém cinco camadas como descrito a seguir:

- Camada de Aplicação: Responsável pelo tratamento das informações coletadas pela rede;
- Camada de Transporte: responsável por controlar a comunicação, realizar contagem de pacotes e coordenar as transmissões;
- Camada de Rede: responsável fazer o roteamento dos pacotes através da identificação dos nós da rede;
- Camada MAC: realiza o controle de acesso ao meio e o controle de energia e;
- Camada Física: onde são definidas as características de rádio como ajuste do canal e potência de trabalho.

Essas camadas estão presentes no firmware do nó sensor e na integração do nó base com a estação, como observar-se na Figura 6.

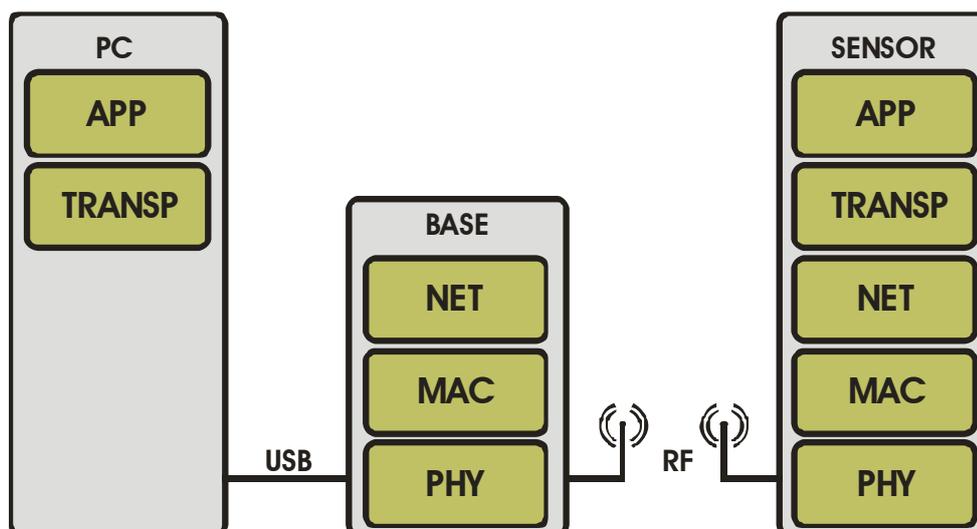


Figura 6 - Estrutura da pilha de protocolo em uma rede de sensores utilizando Radiuino.

Fonte: modificado de [37].

Essa arquitetura possibilita a utilização de outras interfaces de rádio frequência como Xbee, RXQ4, dispositivos da Freescale ou Texas Instruments e também a construção de dispositivos próprios. Como desvantagem, esse protocolo apresenta a falta de segurança pelo fato de não realizar criptografia de dados, pacote de dados.

O pacote Radiuino, transmitido via RF entre nós sensores, é formado por um quadro de 52 bytes (zero a 51 bytes), possui uma estrutura completa para uma comunicação em rede e está representado na Figura 7.

Cabeçalhos das Camadas	PhyHdr[#]				MacHdr[#]				NetHdr[#]			TranspHdr[#]						
Posição na variável	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3		
Função das posições do cabeçalho	RSSI Downlink	LQI Donwlink	RSSI Uplink	LQI Uplink	Sleep	Tempo Sleep 1	Tempo Sleep 2	TDB	DST_ID Quem Recebe	SRC_ID Quem Manda			COUNT	TDB	TDB	TDB		
Posição dos bytes no pacote	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Conversores AD																		
	AD0[#]			AD1[#]			AD2[#]			AD3[#]			AD4[#]			AD5[#]		
Posição na variável dos AD	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Função das posições dos AD	AD0[0]	AD0[1]	AD0[2]	AD1[0]	AD1[1]	AD1[2]	AD2[0]	AD2[1]	AD2[2]	AD3[0]	AD3[1]	AD3[2]	AD4[0]	AD4[1]	AD4[2]	AD5[0]	AD5[1]	AD5[2]
Posição dos bytes no pacote	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Entradas e saídas digitais																		
	IO0[#]			IO1[#]			IO2[#]			IO3[#]			IO4[#]			IO5[#]		
Posição na variável dos IO	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Função das posições dos IO	IO0[0]	IO0[1]	IO0[2]	IO1[0]	IO1[1]	IO1[2]	IO2[0]	IO2[1]	IO2[2]	IO3[0]	IO3[1]	IO3[2]	IO4[0]	IO4[1]	IO4[2]	IO5[0]	IO5[1]	IO5[2]
Posição dos bytes no pacote	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51

Figura 7 - Mapa do pacote Radiuino.

Fonte: modificado de [37].

Como pode ser observado, o pacote é formado por dezesseis bytes iniciais referentes à camada física, enlace, rede e transporte; dezoito bytes referentes às leituras de seis possíveis sensores após a conversão A/D, e dezoito bytes referentes aos seis grupos de entradas ou saídas digitais.

Neste trabalho, somente serão utilizados os quatro bytes da camada física, ou seja, os bytes 0, 1, 2 e 3. Nesses campos são armazenados os valores da intensidade da potência de *Downlink* e *Uplink* em cada transmissão, conforme será detalhado posteriormente.

3.3. Potência do sinal em RSSFs

Neste item é apresentada a importância da quantificação da potência de sinais eletromagnéticos. Também são apresentados os cálculos dos ganhos e perdas de potência em um *link* de comunicação de RF. Posteriormente é definido o conceito de Indicação de Potência do Sinal Recebido (RSSI – *Received Signal Strength Indicator*), encerrando com o cálculo do RSSI na plataforma Rádiumo.

A medida de potência das ondas eletromagnéticas em sistemas de comunicação é um parâmetro importante não só para o funcionamento dos mesmos, do ponto de vista de eficiência, como também para regulação dos limites de intensidade [38].

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) estabelece requisitos como métodos de avaliação, limites bem definidos de potência e procedimentos necessários para o licenciamento de sistemas de radiocomunicação. O objetivo disto é obter o controle da exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos de qualquer sistema de telecomunicação [38].

Os dispositivos de rádio utilizados neste trabalho operam na faixa de frequência definida como *Ultra High Frequency* (UHF), especificamente em 915 MHz. De acordo com o quadro de atribuição de faixas de frequência especificado pela ANATEL, essa frequência encontra-se alocada em uma faixa destinada a aplicações industriais, científicas e médicas, conhecida como Industrial, *Scientific and Medical* (ISM), que ocupa uma banda de 902 MHz a 928 MHz [38].

A ANATEL disponibiliza tabelas de cálculo de distâncias mínimas das antenas de sistemas de RF para garantir os limites de exposição ocupacional. Nessas tabelas estão definidos parâmetros como distância (r), frequência de operação (f) e potência em Watts [38].

De acordo com a Tabela VIII disposta na RESOLUÇÃO Nº 303, DE 2 DE JULHO DE 2002 [38], referente a limites de exposição ocupacional, a expressão matemática adequada para os dispositivos utilizados neste trabalho é definida por:

$$r = 2,92 \sqrt{\frac{\text{eirp}}{f}} \quad (1)$$

Onde:

r → distância mínima à antena, em metros.

f → frequência de operação da antena, em MHz.

e.i.r.p. → potência equivalente isotropicamente radiada na direção de maior ganho da antena, em Watts.

Embora as referências de potência disponibilizadas pela ANATEL sejam apresentadas em Watts, no ramo das telecomunicações é mais comum que as especificações dos dispositivos estejam disponíveis na unidade dBm, sendo esta uma variação da unidade decibel (dB) com valor de referência de 1miliWatt.

A aplicação do decibel é conveniente para possibilitar a representação de uma escala linear muito pequena em uma escala maior, facilitando representações de valores discrepantes de alguma grandeza. Essa adequação matemática de escalas é possibilitada através da aplicação da operação logaritmo.

Na Equação (2) é apresentada a conversão de um valor linear de potência (P) em watts para um valor logaritmo em dB [4].

$$P [\text{dB}] = 10 \cdot \log \left(\frac{P [\text{W}]}{P_0 [\text{W}]} \right) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

A intensidade da potência de sinal em RSSF, que utilizam baterias, em geral não ultrapassa o valor de 10 miliWatts [39]. Portanto, para facilitar o tratamento dos valores de potências da ordem de 10^{-3} Watts, é conveniente a utilização da unidade dBm, que simplesmente utiliza o valor de um miliWatt como referência. Na Equação (3) é possível verificar essa relação.

$$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log \left(\frac{P [\text{W}]}{1 \text{ mW}} \right) \quad (3)$$

As Equações (2) e (3) são úteis para o dimensionamento de *links* de comunicação de RF. No ramo das telecomunicações, este dimensionamento é conhecido como *linkbudget*, que consiste no cálculo dos valores de potências de transmissão, ganho de antenas, sensibilidade de rádio frequência dos dispositivos, e atenuação do meio, como detalhado em [4], objetivando a determinação da MAPL (Maximum Allowable Path Loss Formula).

Na Figura 8 estão representados os parâmetros relevantes para a construção de um *link* de rádio.

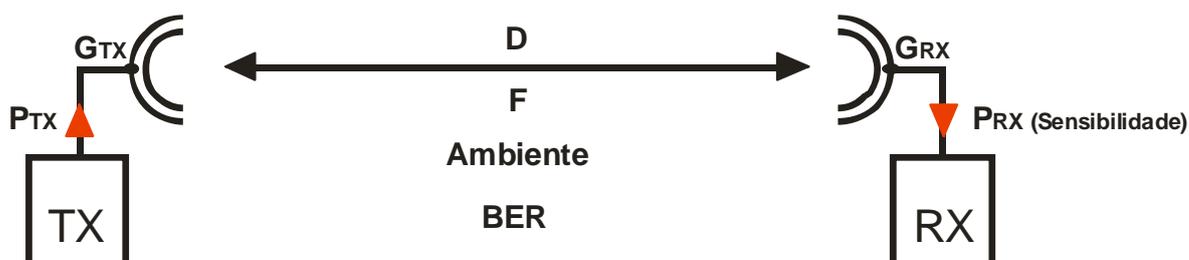


Figura 8 - Composição básica de um linkbudget.

Onde:

PTX → potência de transmissão em dBm.

GTX → ganho da antena de transmissão em dB.

GRX → ganho da antena de recepção em dB.

D → distância entre as antenas em metros.

F → frequência de operação em Hertz.

Ambiente → tipo de ambiente em que o sistema vai operar.

PRX → potência de recepção em dBm.

BER → *bit error rate* ou taxa de erro de bit.

Em sistemas digitais a qualidade da comunicação é quantificada indiretamente através da determinação da taxa de erro de bits (BER), sendo que valores baixos deste parâmetro indicam melhor qualidade [40].

Conforme citado anteriormente, o objetivo do *linkbudget* é a realização dos cálculos dos parâmetros apresentados para garantir a qualidade da comunicação de RF. Esse objetivo é alcançado quando a potência do sinal, que chega no receptor, possui um valor mínimo determinado pela sensibilidade do dispositivo de rádio. Portanto, é relevante realizar o cálculo da potência recebida, considerando as perdas do meio.

Considerando que um link seja construído em um ambiente livre de obstáculos, a Equação (4) apresenta a fórmula de cálculo da potência mínima de recepção, baseada no modelo de propagação no espaço livre proposto por Harald T. Friis do Bell Telephone Laboratory em 1946 [40].

$$PRX = PTX + GTX + GRX - 10 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \quad (4)$$

Onde:

PTX → potência de transmissão em dBm.

GTX → ganho da antena de transmissão em dB.

GRX → ganho da antena de recepção em dB.

d → distância entre as antenas em metros.

PRX → potência de recepção em dBm.

λ → comprimento de onda eletromagnética.

Neste trabalho, a leitura das potências de transmissão (PTX) e recepção (PRX) fornece diretamente o impacto da presença de pessoas no meio. Os valores da potência são estimados através de cálculos envolvendo o *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), ou seja, um indicador de força do sinal recebido, e do *Link Quality Indicator* (LQI), que é um indicador de qualidade do *link*. A utilização desses indicadores se faz necessária, pois a medição direta da potência recebida não é possível com os recursos limitados de cada nó sensor.

Neste trabalho o RF-BEE foi adotado pela conveniência de disponibilidade do mesmo no ambiente estudado, sendo que a utilização de outros modelos citados seria totalmente viável para a pesquisa.

A interface de RF existente nos nós sensores RF-Bee é realizada através do circuito integrado (CI) CC1101 [4]. Este *chip* é responsável por realizar a modulação em frequência das informações de comunicação serial.

A cada recepção de sinal, esse CI estima o valor da intensidade de potência de *downlink* e *uplink* indiretamente, a partir da intensidade de corrente elétrica em seus terminais. Estes valores são denominados de RSSI de *downlink* e de *uplink*, sendo armazenados nos registradores internos do CI [41].

Os valores do RSSI não estão na unidade dBm, portanto é necessário se fazer uma conversão para este fim. O cálculo para essa conversão, apresentado na Figura 9, está disponibilizado no *data-sheet* do fabricante do CC1101. Esses cálculos podem ser inseridos no *software* de aquisição de dados instalado em uma estação base, ou também estarem presentes no *firmware* dos nós. Portanto consistem em um trecho de programa como descrito pelo fluxograma da Figura 9.

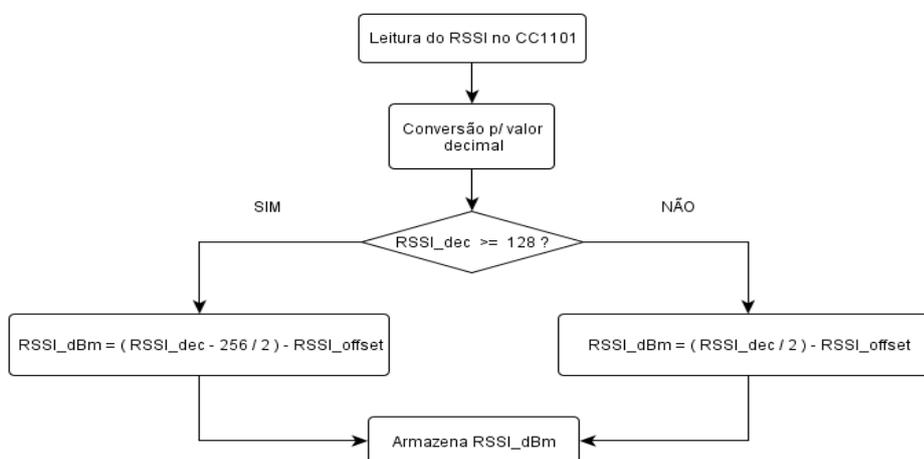


Figura 9 - Fluxograma para cálculo do RSSI em dBm.

3.4. Propagação de sinal em ambiente interno fechado

A propagação de sinal de rádio frequência em um ambiente fechado é vulnerável às influências de fenômenos físicos que alteram suas características.

Esses fenômenos encontram-se descritos na literatura e são identificados como atenuação, reflexão, refração, difração, dispersão, além da presença de ruídos e interferências que podem estar presentes no meio de propagação do sinal [42]. A ocorrência de cada fenômeno produz alteração na potência dos sinais de rádio.

Os fenômenos citados são apresentados a seguir, com o objetivo de ilustrar suas características.

A atenuação consiste na diminuição da amplitude das ondas eletromagnéticas, que ao se propagarem perdem energia de duas formas; por espalhamento geométrico ou por corrente induzida.

A perda por espalhamento geométrico pode ser entendida considerando que uma onda eletromagnética, transmitida por uma antena isotrópica (teórica), propagando-se esfericamente, perde energia à medida que o diâmetro da mesma aumenta. Já a perda por corrente induzida pode ser entendida considerando que uma onda eletromagnética, propagando-se em um meio não homogêneo e não isotrópico, induz corrente elétrica no próprio meio, perdendo energia através de calor [43].

O fenômeno de reflexão ocorre quando uma onda eletromagnética incide em superfícies presentes no meio, e não atravessa a mesma, sendo refletida em uma trajetória com o mesmo ângulo de incidência à normal da superfície [4]. Esse fenômeno pode impactar negativamente em uma comunicação, causando multi-percursos dos sinais transmitidos, gerando interferências provenientes das reflexões no meio [14]. Porém, pode ser estrategicamente utilizado no direcionamento das ondas, consequentemente aumentando o alcance das mesmas.

A refração é um fenômeno que ocorre quando uma onda eletromagnética atravessa meios de densidades diferentes, causando a mudança de direção da onda. Como consequência, esse fenômeno altera as propriedades do sinal original gerando interferências no meio [4].

A difração ocorre quando uma onda passa por um obstáculo ou orifício, em que as dimensões (d) são menores que o comprimento de onda (λ) do sinal original incidente. Quando a relação d/λ tende à zero, maior é o efeito da difração, ou seja, a onda eletromagnética entra na região de sombra do obstáculo [43].

O fenômeno de dispersão ocorre quando o sinal eletromagnético incide sobre superfície irregular, causando reflexões em direções aleatórias.

Um sinal transmitido propagando-se por um meio gera interferências, devido aos fenômenos descritos anteriormente, e também às condições de temperatura, umidade ou ruídos do meio. A interação de todos estes fenômenos impacta diretamente no sinal recebido de um *link* qualquer. Sendo assim, a investigação do comportamento do RSSI em uma rede de sensores, com a utilização de métodos matemáticos, pode fornecer indicativos das características ou eventos ocorridos no meio.

3.5. Influência do ambiente em redes de sensores sem fio

Considerando a existência dos fenômenos de propagação, é possível afirmar que a influência causada pelos mesmos depende da composição do ambiente como um todo. Portanto, ainda que uma estrutura de rede seja mantida, a disposição não uniforme de objetos em um ambiente indoor pode gerar diferentes comportamentos na comunicação sem fio da rede.

Como descrito em [4], a partir da análise da comunicação de uma RSSF instalada em um ambiente interno, e da utilização de quatro tipos de objetos, foi possível a definição de quatro tipos de modelos de propagação de rádio.

Conclui-se, nessa referência, que é possível modelar o comportamento de uma comunicação em função de objetos estáticos. Portanto, pode-se considerar que esses objetos compõem um grupo de obstáculos que tem impacto direto sobre cada fenômeno de propagação.

A integração dos fenômenos de propagação causa a atenuação dos sinais de rádio, que se reflete no RSSI. Sendo assim, a obtenção de modelos é

viabilizada pela média das perdas de potência do sinal de RF, verificada através desse indicador.

3.6. Influência das pessoas em redes de sensores sem fio

Considerando uma RSSF, instalada em um ambiente interno fechado, e no qual possa existir fluxo de pessoas em atividades diversas, é possível afirmar que as comunicações entre os nós sofrem impacto causado pelos fenômenos de propagação de RF.

Como descrito anteriormente, esses fenômenos ocorrem por causa dos obstáculos presentes. Pelo fato destes obstáculos serem estáticos, é possível dizer que em um ambiente fechado vazio, o comportamento do RSSI da rede tende a se manter estático.

As pessoas podem ser consideradas como obstáculos móveis no ambiente estudado. Sendo assim, essas também produzirão fenômenos de propagação que irão alterar o comportamento do RSSI.

Seguindo esse raciocínio, este trabalho parte da hipótese de que o estudo do RSSI de uma rede de sensores instalada em um ambiente interno fechado, nos momentos em que haja a presença de pessoas, possa fornecer informações estatísticas de variância e média deste indicador, capaz de estimar o número de pessoas no ambiente.

4. MODELAGEM MATEMÁTICA DA TAXA DE OCUPAÇÃO EM FUNÇÃO DO RSI

A modelagem matemática pode ser considerada uma ferramenta para a construção de uma representação matemática de um sistema real. Um modelo matemático é capaz de representar algumas características do sistema real, mas não todas. Portanto, pode-se afirmar que não existe um único modelo para um sistema, mas sim uma família de modelos dos quais pode ser adotado o que melhor represente a realidade, ou seja, o que melhor se aproxima da mesma [44].

Nesse contexto, este capítulo apresenta algumas técnicas de modelagem descritas na literatura, sendo apresentados também os métodos de identificação de sistemas, o método de estimação de parâmetros e, os modelos propostos como teste de hipótese para este trabalho.

4.1. Técnicas de Modelagem

Neste item são apresentadas cinco abordagens que podem ser utilizadas para determinar um modelo matemático. Essas abordagens são denominadas de “Caixa Branca”, “Caixa Preta”, “Caixa Cinza”, “Top-down” e “Bottom-up”.

A modelagem “Caixa Branca” é fundamentada em princípios físicos ou fenomenológicos. Nesse tipo de modelagem se faz necessário o conhecimento aprofundado das leis e princípios envolvidos com o fenômeno estudado, ou seja, é necessário conhecer exatamente as relações matemáticas que descrevem o mesmo [44]. Possui como característica vantajosa uma maior precisão na função de descrição de um fenômeno, no entanto, apresenta desvantagem justamente por se fazer necessário o conhecimento detalhado do comportamento real do sistema estudado, o que nem sempre é possível devido à complexidade do mesmo.

A modelagem “Caixa Preta” ou empírica é fundamentada em medições do comportamento real de um sistema, a partir da leitura das entradas e saídas do mesmo. Nesse caso, o conhecimento de relações matemáticas que descrevem

o comportamento do sistema não é disposto. Por esse motivo, faz-se necessário o estudo do histórico de comportamento do sistema como base para a modelagem matemática. Como vantagem, esse tipo de modelagem permite o estudo de sistemas com grande número de variáveis, de uma maneira mais simples. Como desvantagem esse método apresenta dificuldades de aplicação para sistemas de comportamento não lineares [45].

Considerando que a modelagem do tipo “Caixa Preta” utiliza o estudo de histórico de comportamento do sistema real, é relevante dizer que o tratamento não adequado desses bancos de dados, ou a presença de erros ou ruídos nos dados, podem produzir um modelo que retrate a realidade de forma inadequada. Outro ponto desvantajoso desse tipo de modelagem está no fato de que os modelos fornecidos por esse método só se aplicam para as mesmas condições de estudo em que o banco de dados foi obtido.

Existe ainda a modelagem “Caixa Cinza”, onde são utilizadas algumas equações matemáticas já conhecidas, mesmo não se conhecendo completamente o comportamento de um sistema real em estudo e também medições do sistema real. A modelagem “CAIXA CINZA” pode ser considerada um estágio intermediário entre as modelagens “Caixa Branca” e “Caixa Preta”, que se diferencia por considerar informações externas ao banco de dados como sendo relevantes para o modelo final [44].

O quarto tipo de modelagem é conhecido como modelagem “*Top-down*”, em que o estudo de um sistema, a ser modelado, é abordado a partir do todo [44]. Essa técnica dispensa o conhecimento de cada componente do sistema, mas, no entanto, não permite a elaboração de modelos detalhados.

Um exemplo de modelagem “*Top-down*” seria a obtenção do comportamento do consumo de água associado a uma concessionária de uma cidade, sem a necessidade de conhecimento do comportamento de consumo em cada bairro ou casa.

O último tipo de modelagem é conhecido como “*Bottom-up*”, sendo que, nessa abordagem, a ideia é contrária à da abordagem “*Top-down*”, ou seja, a modelagem do sistema é abordada partindo da modelagem das partes que o compõem até a modelagem do todo. Esse tipo de técnica permite a obtenção de modelos mais precisos, ou seja, que representem melhor a realidade.

No entanto, requer o conhecimento detalhado do comportamento das partes componentes do sistema e, ainda, existe a necessidade de técnicas para a agregação dos modelos de cada componente do sistema para chegar-se ao modelo do sistema real como um todo [44].

Um exemplo desse último tipo de modelagem seria a obtenção do comportamento do consumo de água de uma cidade, partindo-se do consumo individual de cada bairro ou casa.

Como mencionado anteriormente, não existe um modelo ideal para um sistema, mas sim um que o represente da melhor maneira possível. Portanto, as formas de abordar um sistema a ser modelado podem variar, por exemplo, combinando os tipos de modelagem mencionados neste capítulo.

Neste trabalho, objetiva-se estimar um modelo matemático capaz de relacionar o RSSI de uma RSSF à taxa de ocupação (quantidade de pessoas) de um ambiente interno fechado. Utilizando esse modelo será possível estimar a taxa de ocupação de um determinado ambiente em função de medições de RSSI. Nesse contexto, é interessante a aplicação da modelagem tipo “Caixa Preta” com abordagem “*Top-down*”. Essa modelagem foi escolhida uma vez que a modelagem fenomenológica (“Caixa Branca”) desse sistema é bastante complexa, envolvendo o desenvolvimento de equações que representem a relação entre a quantidade de pessoas em um ambiente interno fechado e a interação entre todos os fenômenos físicos que possam estar atuando no ambiente e sua influência no RSSI. Assim, optou-se pela realização de experimentos e pela coleta de dados envolvendo essas duas variáveis (RSSI e quantidade de pessoas), caracterizando a modelagem “Caixa Preta”.

4.2. Identificação de sistemas

A técnica utilizada para a estimação de um modelo matemático “Caixa Preta” é denominada Identificação de Sistemas. A Identificação de sistemas, conforme a referência [46], pode ser dividida em cinco etapas: coleta de dados, escolha do tipo de modelo, escolha de estrutura do modelo, estimação de parâmetros e validação do modelo.

Assim, o primeiro passo, para a estimação de um modelo “Caixa Preta” consiste na coleta de dados. Essa etapa inicial corresponde à aquisição dos dados do sistema estudado, operando tanto em condições normais como de interesse do estudo, atentando-se a possíveis variáveis externas [4]. Também é necessário atentar-se à sistemática de coleta, à calibração de equipamentos, aos tipos de informações a serem coletados, à frequência de amostragem, à construção de banco de dados e à filtragem de dados.

O segundo passo refere-se à escolha do tipo de modelo. A partir da observação comportamental das informações contidas no banco de dados, através da construção de gráficos, por exemplo, é possível identificar características de dinâmica dos mesmos [47]. Essa etapa permite a adoção de um modelo inicial de estudo.

O terceiro passo refere-se à determinação da estrutura do modelo. Nesta etapa, o foco é identificar qual a ordem do modelo matemático que melhor se adequa ao comportamento real dos dados coletados [44].

A estimação de parâmetros é o penúltimo passo no processo de Identificação de Sistemas. Nesta etapa, são estimados os parâmetros do modelo escolhido para representar a realidade do comportamento do sistema em estudo. Essa etapa é viabilizada através da aplicação de métodos de estimação. Os métodos comumente encontrados na literatura são: Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), Máxima Verossimilhança e Filtro de Kalman [44].

Este trabalho utiliza o MMQ para a estimação de parâmetros, devido à escolha de um modelo linear, e será detalhado a seguir.

A quinta e última etapa refere-se à validação do modelo, que se dá através da verificação do melhor modelo que represente o sistema real testado. Deve-se tomar o cuidado de não utilizar dados de modelagem para testes de validação [44]. Nesta etapa é possível verificar o quão distante a resposta do modelo está da resposta do sistema real [4].

4.3. Método dos mínimos quadrados

Conforme apresentado em [45], a Equação (5) pode representar um suposto sistema com entradas (X) e saídas (Y).

$$Y = X \cdot \theta \quad (5)$$

Onde,

$Y \rightarrow$ vetor coluna de saídas, com n linhas.

$X \rightarrow$ vetor coluna de entradas, com n linhas.

$\theta \rightarrow$ vetor de parâmetros.

$n \rightarrow$ número de amostras.

Na Equação (5), X e Y representam vetores contendo medidas de um sistema real e o θ refere-se ao vetor de parâmetros a serem estimados. Essas medidas ocorrem com uma frequência preestabelecida de acordo com os interesses do estudo, e embasam a construção de um modelo. Nesse método de coleta de medidas, ocorre a presença de um vetor de erro (ε) de modelagem [45]. Esse vetor de erros pode ser considerado um parâmetro de comparação entre as respostas do sistema real e do modelo, sendo útil na etapa de validação desse modelo. Esse parâmetro, conhecido como resíduo simples está representado na Equação (6).

$$\text{Resíduo Simples:} \quad \varepsilon = Y - X \cdot \theta_{\text{estimado}} \quad (6)$$

Onde,

$\theta \rightarrow$ vetor de erros.

$Y \rightarrow$ vetor coluna de saídas, com n linhas.

$X \rightarrow$ vetor coluna de entradas, com n linhas.

$\theta \rightarrow$ vetor de parâmetros.

O objetivo da modelagem matemática é encontrar um modelo que seja capaz de representar o comportamento de um sistema em estudo, de modo que o resíduo seja mínimo. A aplicação do MMQ permite atingir-se esse objetivo. Na Equação (7) está representada a forma de estimar-se o vetor de parâmetros θ , pelo MMQ não ponderado.

$$\theta_{\text{estimado}} = [X^T \cdot X]^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (7)$$

A análise do resíduo fornece informações de adequação ou não de um modelo proposto para representar um sistema real.

Existem basicamente quatro tipos de resíduos que podem embasar a escolha de um modelo: Resíduo Simples, Resíduo Médio, Resíduo Absoluto Médio, Resíduo Quadrático Médio; sendo aplicado o que melhor se adeque ao tipo de grandeza medida.

Neste trabalho, existe grande possibilidade de que os valores dos dados medidos sejam simétricos em relação à média, por se tratarem de medidas do RSSI. O resíduo absoluto médio (RAM) é obtido através da média do módulo da diferença entre os valores reais e estimados. Sendo assim, os resíduos são valores positivos que, neste trabalho, reflete quantidade de pessoas. O cálculo do RAM é apresentado na Equação (8).

$$\text{RAM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((\varepsilon_i)^2)^{1/2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((Y_i - X_i \cdot \theta_i)^2)^{1/2} \quad (8)$$

Onde,

θ → vetor de parâmetros estimado (θ_{estimado}).

n → número de erros do vetor ε .

i → índice das amostras.

ε → vetor de resíduos simples.

4.4. Modelagem Proposta

Neste trabalho, objetiva-se a obtenção de um modelo que, alimentado por variáveis como variância e média dos valores do RSSI de uma RSSF, possa fornecer como saída o número de pessoas que ocupam um ambiente interno.

Partindo da hipótese de que o sistema pudesse possuir um comportamento linear, foram testados três modelos (A, B e C) lineares de até terceira ordem, como apresentado nas Equações (9), (10) e (11).

$$A \text{ (1}^{\circ} \text{ ordem): } Y = X_1.K + X_2.L + M \quad (9)$$

$$B \text{ (2}^{\circ} \text{ ordem): } Y = X_1.K + (X_1)^2.N + X_2.L + (X_2)^2.O + M \quad (10)$$

$$C \text{ (3}^{\circ} \text{ ordem): } Y = X_1.K + (X_1)^2.N + (X_1)^3.P + X_2.L + (X_2)^2.O + (X_2)^3.Q + M \quad (11)$$

Onde,

Y → Número estimado de pessoas.

X_1 → Média do RSSI.

X_2 → Variância do RSSI.

K, L, M, N, O, P e Q → Parâmetros a serem estimados.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados todos os materiais e métodos adotados para a verificação da hipótese proposta, bem como todas as etapas para a realização dos testes práticos.

5.1. Arquitetura da Rede

Para viabilizar a estimação de um modelo para representar a relação entre a taxa de ocupação em um ambiente interno fechado e o RSSI de uma RSSF, conforme apresentado anteriormente, foi necessária a construção de uma RSSF do tipo ponto a ponto. Essa rede foi implementada em uma sala de aula da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como apresentado na foto panorâmica da Figura 10.



Figura 10 – Fotografia panorâmica da sala de aula estudada.

A escolha de uma sala de aula como ambiente de teste se deu pelo fato de possuir características importantes como representação de um ambiente dinâmico, presença de pessoas com diferentes comportamentos, variação natural do número de pessoas e pela conveniência para realização dos experimentos nas dependências da Universidade em que este trabalho foi desenvolvido.

A rede instalada foi composta por dois nós, sendo um nó base e um nó sensor, posicionados paralelamente em uma sala retangular, a uma altura estratégica permitindo que o fluxo de pessoas causasse alterações no RSSI. A topologia da rede e as características da sala estão representadas na Figura 11.

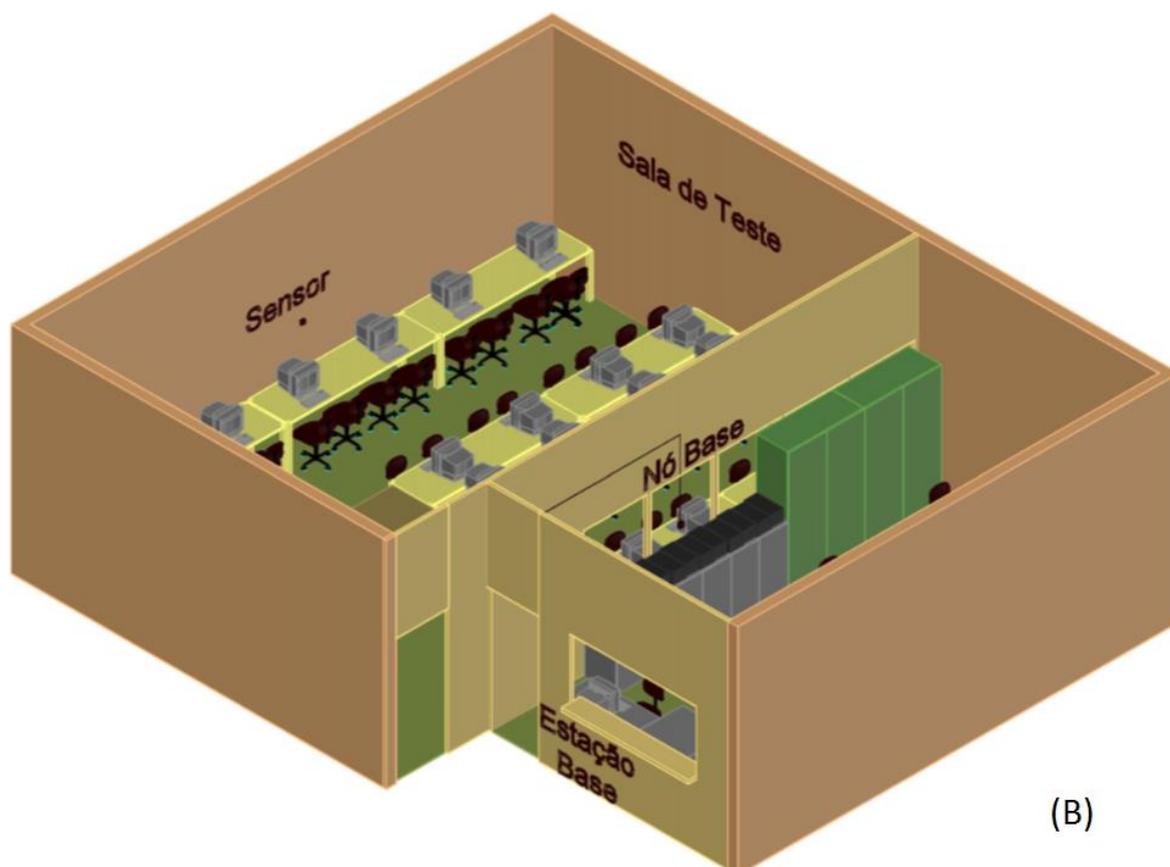
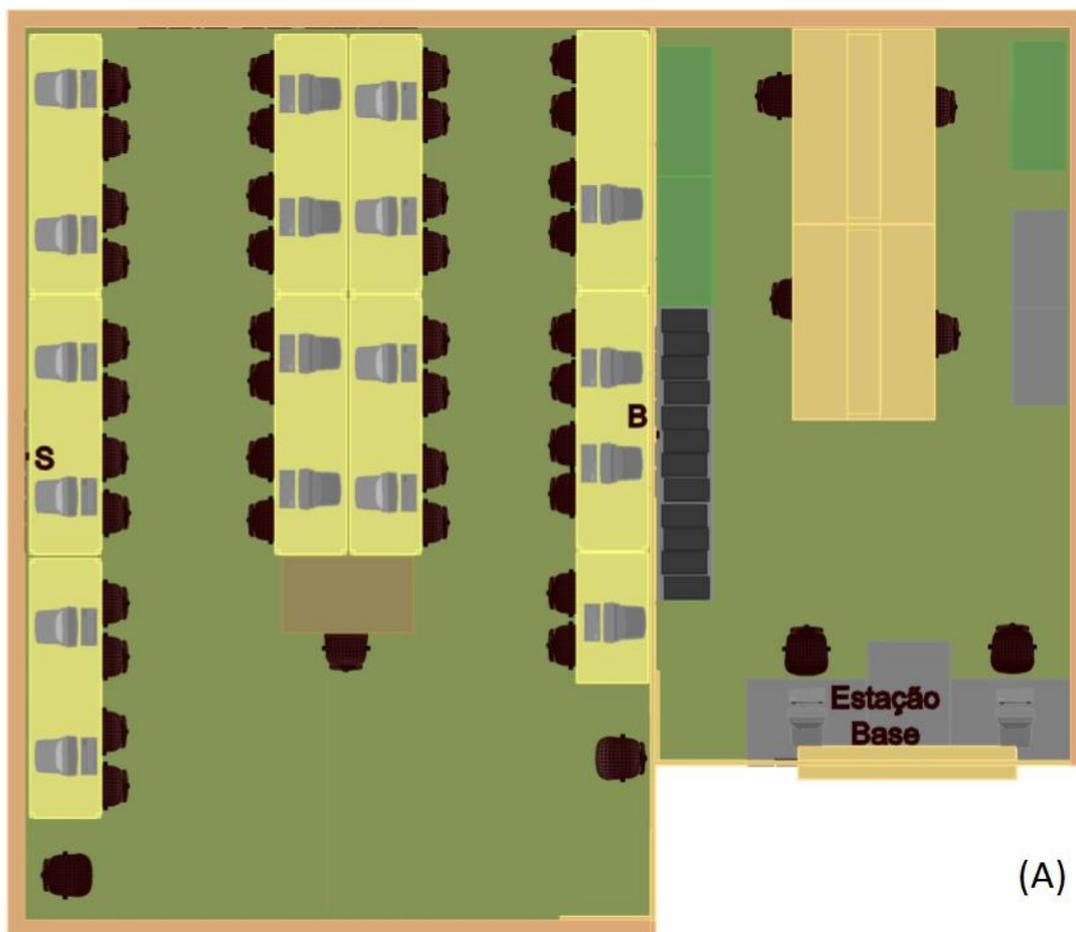


Figura 11 - Topologia do teste de captura do RSSI em sala de aula.

A sala de aula representada na Figura 11(A e B) possui, aproximadamente, 54m² de área e uma altura de 3,5m. Em seu interior, existem objetos como computadores, mesas e cadeiras.

Os nós foram colocados a uma altura de 1,3 metros, para que a presença dos alunos e professores pudesse causar alterações no RSSI da rede.

Os nós base e sensor foram compostos por dispositivos comerciais de rádio frequência conhecidos como RF-Bee V1.1. Esse dispositivo é composto pelo *chip* CC1101 que é responsável pela interface de rádio, e pelo microcontrolador ATmega 168 que realiza o processamento de informações da rede e o controle do nó.

A escolha por este dispositivo se deu por este ser de baixo custo e por atender às necessidades para composição da rede de testes. O microcontrolador do RF-Bee possui uma demanda de corrente de, aproximadamente, 240 µA quando está ativo e 0,1 µA quando não ativo. Sua capacidade de memória é de 1 KB de SRAM, suficiente para abrigar o *firmware* necessário para realização das funções tanto do nó base, quanto do nó sensor [48].

O transceptor CC1101 presente no RF-Bee também é de baixo consumo de corrente, e pode operar em uma faixa de frequência que varia de 300 MHz a 1 GHz. Possui demanda de corrente variável em função da frequência de operação, sendo 15,7 mA quando operando em 915 MHz e 200 nA quando em modo *sleep*. A sensibilidade de recepção de sinal do CC1101 é de -112 dBm, suficientes para aplicações *indoor* quando considerada sua potência de transmissão de 10 dBm.

Os parâmetros de funcionamento do CI CC1101 podem ser alterados via *software*. Sendo assim, esses parâmetros foram definidos no próprio *firmware* gravado nos nós base e sensor. Esses parâmetros podem ser verificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de funcionamento dos nós base e sensor.

Parâmetros	Definições
Potência do sinal transmitido	10 mW
Canal de transmissão	1
Frequência de operação	915 MHz

A potência de 10 mW foi escolhida pelo fato de ser a potência máxima de operação do RF-Bee, diminuindo as chances de quebra do link de comunicação entre nós, devido às possíveis obstruções físicas causadas pela presença das pessoas.

O canal de comunicação igual a um, foi adotado pela conveniência de diferenciar-se do valor zero padrão nos *firmwares* utilizados dos nós, evitando interferências de outros dispositivos que estivessem sendo possivelmente utilizados por alunos nas proximidades do ambiente de teste.

A frequência de modulação foi definida em 915 MHz, por conveniência de utilização dos módulos disponíveis no laboratório de eletrônica, já calibrados nesta frequência por ocasião de outros estudos anteriores.

O nó sensor, indicado por “S” na Figura 11(A), foi instalado na parede lateral da sala, sendo alimentado através da rede convencional de energia elétrica da mesma, com a utilização de uma fonte DC (*Direct Current*) de 12 Volts. Neste nó, foi gravado um *firmware* com a função de retransmissão de pacotes recebidos para o endereço do transmissor, ou seja, o nó recebe o pacote e retransmite-o para a base com os valores de RSSI atualizados. Esse *firmware* está disponível na plataforma Arduino (versão arduino-1.0.3_radiuino-2.1) com o nome de “RadiuinoEzRF_Pooling”, disponível para download no site da Radioit [36].

O nó base, indicado por “B” na Figura 11(A), também foi composto por um RF-Bee acoplado a uma placa Uart-Bee que realiza a interface de comunicação entre a estação computacional e o nó base, através de uma conexão USB, que também serve de fonte DC para os dispositivos. Esses dispositivos estão ilustrados na Figura 12.

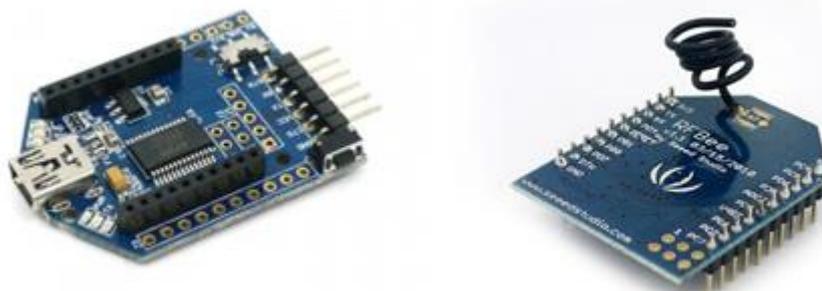


Figura 12 – Módulo UART-Bee (esquerda) e Módulo RFBee (direita)
Fonte: modificado de [49].

A função do nó base é receber uma solicitação realizada pela aplicação executada na estação base, através do *software* de controle da rede, e envia-la para o nó sensor. Ao receber os pacotes retransmitidos pelo nó sensor, o nó base executa a função de repassá-los para a estação base. A utilização dessas funcionalidades se deu pela gravação do *firmware* “RadiuinoEzRF_Base”, disponível na plataforma Arduino (versão arduino-1.0.3_radiuino-2.1), no microcontrolador deste nó.

A estação base foi composta por um computador *desktop*, com sistema operacional Windows XP de 32 bits, processador Intel Core 2 duo de 3GHz e 3 Gigabytes de memória RAM. Essa estação foi instalada em uma sala vizinha à sala da RSSF, sendo alimentada pela rede elétrica convencional AC (*Alternate Current*), através de *Nobreak* para evitar perda de dados por avarias da rede elétrica.

A função da estação base, para o estudo da taxa de ocupação, é o armazenamento dos dados de RSSI proveniente das comunicações entre base e sensor, através da geração de arquivos “TXT” gerados pelo *software* de controle existente nesse computador. Essa aplicação será descrita no item seguinte.

5.2. Software e Ferramentas de Análise

Neste item são apresentados os algoritmos de operação dos nós sensor e base, e também do programa que compõem o *software* de controle para a geração dos arquivos de dados, bem como a integração tecnológica de composição da rede de coleta.

Para uma melhor compreensão do sistema, é apresentado inicialmente o fluxograma de operação do nó sensor utilizado neste trabalho, conforme a Figura 13.



Figura 13 - Algoritmo de funcionamento do nó sensor utilizado para a aquisição do RSSI.

Como pode ser observado, o nó sensor possui uma função simples e essencial na rede de estudo instalada. Basicamente, aguarda a chegada de um pacote formatado para a plataforma Radiuino para que possa ser retransmitido para o remetente (nó base) via RF, com os valores da intensidade de sinal (RSSI de *downlink*) atualizados.

Os conceitos de RSSI de *downlink* e RSSI de *uplink* podem ser entendidos da seguinte forma:

- RSSI de *downlink*: é o valor de RSSI medido no nó sensor referente ao sinal recebido nesse nó.
- RSSI de *uplink*: é o valor de RSSI medido pelo nó base referente ao sinal recebido nesse nó.

O nó base utilizado neste trabalho, basicamente, tem a função de retransmitir pelo ar, os pacotes recebidos serialmente e, no sentido inverso da comunicação, tem a função de retransmitir pela interface serial, os dados recebidos pelo ar. Estas funções estão representadas no algoritmo explicitado na Figura 14.

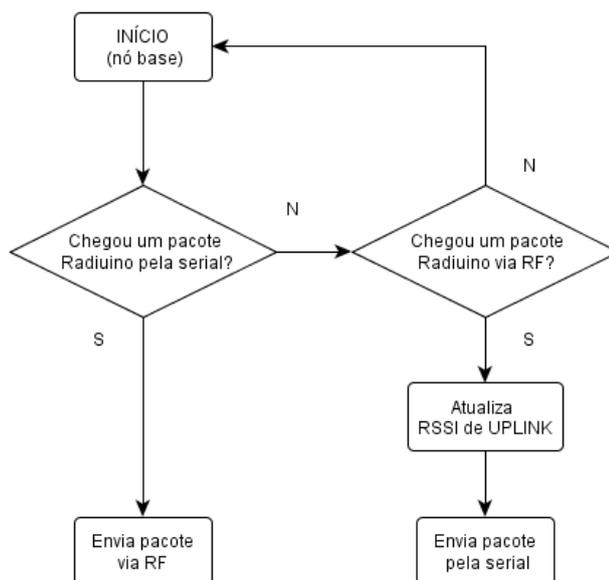


Figura 14 - Algoritmo de funcionamento do nó base utilizado para a aquisição do RSSI.

É possível verificar que o nó base realiza a interface entre a estação base e o nó sensor, através da leitura dos pacotes recebidos tanto serialmente como também via RF.

É relevante observar que os algoritmos dos nós base e sensor, são representações do funcionamento específico dos mesmos para este estudo de determinação da taxa de ocupação. No entanto, não representam toda a programação dos *firmwares* “RadiuinoEzRF_Pooling” e “RadiuinoEzRF_Base”, que foram implementados, originalmente, para redes de sensores para a aquisição de medidas de diversas grandezas.

A interface entre a RSSF, para coleta de dados, e o usuário foi construída com a utilização do *software Python*. Esta escolha se deu pelo fato de ser um *software* livre, com uma linguagem de programação de fácil entendimento.

No *software Python*, é possível desenvolver *scripts* ou aplicativos para sistemas operacionais Linux e Windows. Neste trabalho, foi desenvolvido um *script* em *Python* que faz a interface entre a rede de coleta de dados com o usuário. Este *script* foi executado em um computador *desktop*, com sistema operacional Windows que foi adotado como estação base. O fluxograma do *script* desenvolvido para o controle da rede está representado na Figura 15.

Ao ser iniciado, o sistema necessita da inserção do número da porta de comunicação serial em que o dispositivo UART-BEE foi alocado pelo Sistema

Operacional (SO). Após a definição deste número, o *script* se encarrega de construir um vetor de 52 Bytes para representar o pacote Radiuino. Neste estágio, o usuário tem a opção de encerrar o processo ou continuar. Caso opte por continuar, é solicitado ao usuário que insira o número de identificação do nó base, ou seja, o seu endereço de rede que deverá ser o mesmo número gravado no *firmware* do nó base (zero, no caso). O mesmo é necessário para o nó sensor, ou seja, deverá ser colocado o mesmo número do *firmware Pooling* (um, no caso).

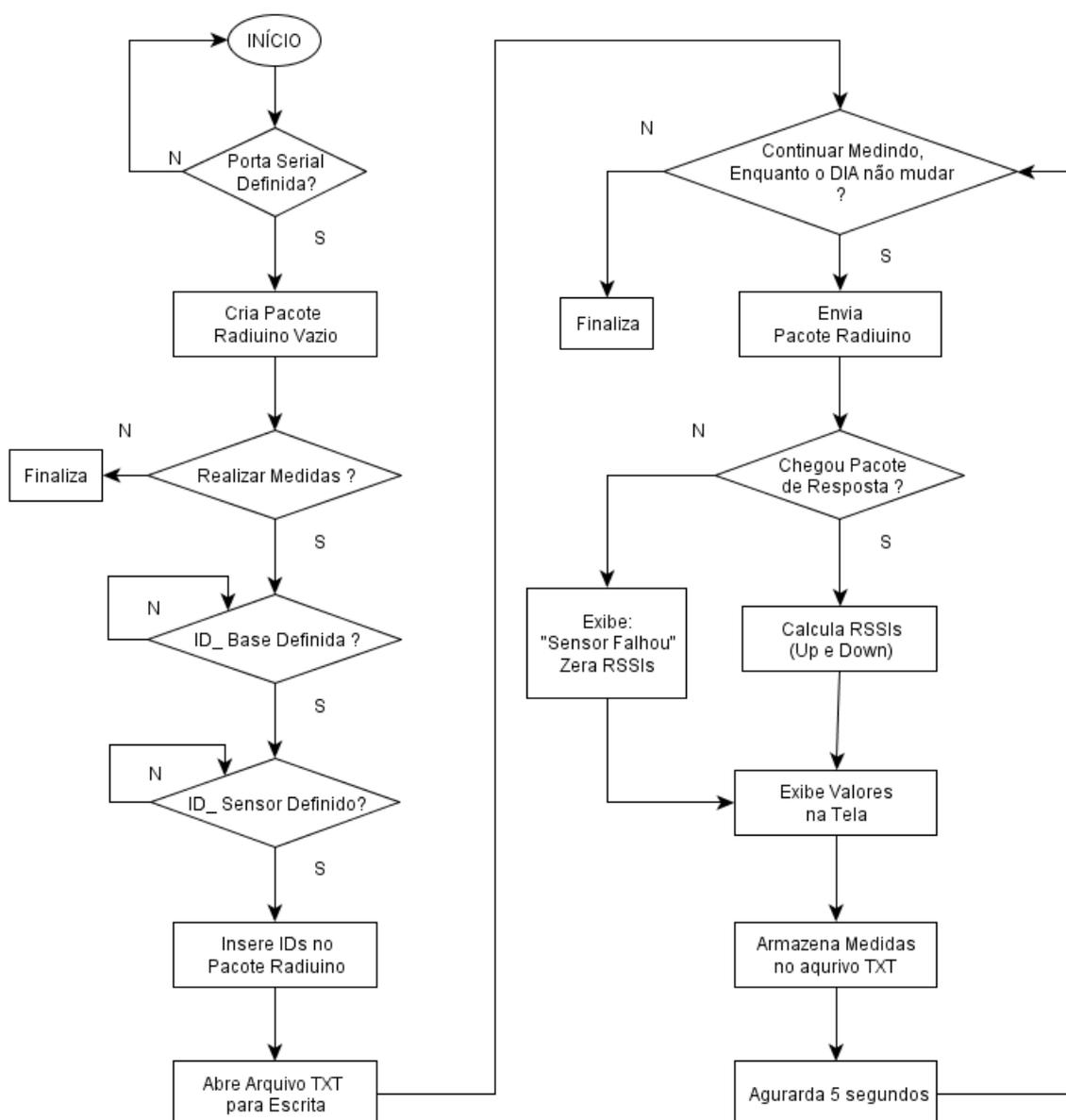


Figura 15 - Algoritmo da Interface Python para coleta de dados na rede instalada.

Após as definições dos endereços o programa insere os mesmos no pacote Radiuino a ser transmitido. Antes de iniciar o *loop* de coleta, o programa abre um arquivo do tipo texto e aloca-o na mesma pasta em que o *script* está salvo. A geração desse arquivo é necessária para que o mesmo sirva como um histórico de um banco de dados, armazenando as medições de RSSI da rede de sensor.

Após a geração do arquivo texto, o programa entra em um loop de coleta de dados, que se dá através de transmissões e recepções periódicas de pacotes Radiuino contendo informações do RSSI de *uplink* e *downlink*. Esse loop é executado continuamente, enquanto a data do dia não mudar, ou o usuário não encerrar o processo forçosamente. Portanto, a cada dia o sistema gera um LOG de medidas nomeado com a data atual.

Dentro do *loop* de coleta, primeiramente o pacote é transmitido serialmente para o nó base, que por sua vez transmite-o pelo ar. Caso o nó sensor receba corretamente os dados, irá retransmiti-lo para o destino de origem.

O programa aguarda a recepção do pacote, verificando o tamanho do mesmo. Caso chegue corretamente, calcula os valores de RSSI em dBm, exibe-os na tela, armazena-os no arquivo de texto e repete o processo após cinco segundos. Caso o pacote não chegue corretamente, o programa exibe uma mensagem de falha, não executando os cálculos de RSSI. Continua exibindo os valores zerados de RSSI na tela, armazenando-os no arquivo texto e retomando o processo após os cinco segundos. Os cálculos de RSSI seguem o algoritmo já descrito anteriormente no *item* 3.3.

A função principal da aplicação em *Python*, para o estudo de taxa de ocupação, é a geração do banco de dados onde estão contidas as informações de RSSI. No entanto, o arquivo texto gerado contém também informações como o número e hora de cada medida. Portanto, a leitura direta do arquivo para a realização de cálculos não foi possível sem a realização de uma terceira parte; neste caso o *software* EXCEL para tratamento inicial dos dados.

O *software* EXCEL foi utilizado devido aos seus recursos para filtragem de dados, manipulação de tabelas e seleção de dados de interesse. Dentro do escopo da pesquisa, esse *software* é responsável por fornecer arquivos contendo os valores do RSSI medido em cada caso. Esses arquivos, por sua vez servem

de entrada para o *software* Scilab, utilizado para realizar a modelagem matemática mencionada anteriormente no Capítulo 4.

A opção do Scilab como ferramenta de modelagem se deu pelo fato de também ser um *software* livre, de fácil acesso e de compreensão rápida. Possibilita a realização de *scripts* de cálculos com matrizes de maneira prática e também a leitura direta de arquivos EXCEL ou de texto.

5.3. Procedimento de Medição do RSSI

Este item define o procedimento para aquisição do RSSI dos sinais de comunicação na RSSF instalada para este trabalho.

Primeiramente deve-se certificar-se de que todos os equipamentos, como estação base, nó base e nó sensor, estejam ligados.

Posteriormente, deve-se iniciar a aplicação em *Python*, para medir RSSI, certificando-se que o link de comunicação de rádio esteja funcionando, através da exibição dos valores não nulos de RSSI.

Deve-se também registrar o horário de início da atividade, no ambiente de teste, contabilizando e registrando manualmente o número de pessoas no intervalo de interesse.

5.4. Método de coleta e tratamento de dados

O método de coleta de dados implementado neste trabalho adota as seguintes regras:

- Considera válidos os intervalos de atividades em que haja estabilidade no número de pessoas no ambiente de teste.
- Assume o intervalo entre medidas como sendo de 5 segundos.
- Considera válida a segmentação de um intervalo de medida em intervalos menores. Portanto cada segmento ou ponto de um intervalo pode ser considerado

uma medida independente para o mesmo número de ocupação, devido à imprevisibilidade do comportamento das pessoas.

- Especificamente, para as aulas com horários definidos, são desconsiderados os quinze minutos iniciais e finais de cada aula, garantindo a estabilidade do número de pessoas e a validade do RSSI medido.

Os dados gerados na estação base foram copiados em mídia externa para posterior tratamento em outro computador, garantindo a integridade dos originais.

A partir da utilização do *software* EXCEL, foi possível realizar a filtragem do intervalo de interesse. Isso foi conseguido com o auxílio das ferramentas de tratamento de dados do *software*, que permite a formatação dos mesmos em colunas, permitindo a escolha de intervalos de interesse.

A partir daí, foi necessária a geração de arquivos de texto contendo apenas os intervalos em que se sabia exatamente o número de pessoas no ambiente de estudo. Esses arquivos foram salvos juntamente com o *script* do *software* Scilab, servindo como banco de dados para modelagem e também para validação do modelo.

5.5. Método de Validação

Este item define o método de validação dos modelos adotado para este trabalho.

A validação de um modelo pode ser verificada através da comparação da resposta de seu comportamento de saída, com o comportamento do sistema real. Esta comparação pode ser mensurada através da diferença entre essas grandezas (RAM).

A validação do modelo se dá em função da análise desse valor de resíduo, ou seja, se o RAM puder ser considerado como pequeno (sendo que esse limite deve ser estabelecido pelo modelador do sistema), então o modelo obtido é válido. Quando vários modelos estão sendo testados, a escolha do melhor modelo também se dá pela análise do resíduo, ou seja, o melhor modelo é aquele com menor resíduo associado.

6. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho, o *script* da aplicação Python, o *script* Scilab para modelagem e a obtenção do modelo para estimação da taxa de ocupação.

6.1. Pré-processamento de dados

Inicialmente, os dados coletados pela RSSF, a partir da utilização do *script* Python (Anexo B), foram filtrados conforme descrito no item 5.4, gerando os arquivos de texto contendo apenas os valores do RSSI de cada grupo de pessoas, que ocupou a sala nos intervalos de interesse.

O *script* do Scilab, disponível no Anexo B, realiza a leitura dos arquivos de texto e separa-os em dados de modelagem, compostos pelos valores de índice par, e em dados de validação, compostos pelos valores de índice ímpar.

Para que os dados fossem posteriormente utilizados na estimação de parâmetros utilizando o MMQ, foi necessário o cálculo da média e variância dos mesmos para cada conjunto de pessoas. Esses valores servem de entrada do sistema de modelagem. A partir da execução do *script* Scilab, foi gerada a Tabela 2, onde estão representados 10 grupos de pessoas (com quantidades distintas de pessoas) com os valores de média e variância dos dados coletados para modelagem.

Tabela 2 – Média e Variância dos dados coletados para modelagem.

Grupo	Quantidade de Pessoas	Média do RSSI [dBm]	Variância do RSSI [dBm] ²
1	2	- 49.536585	0.0998803
2	7	- 49.672241	1.180804
3	11	- 49.881789	3.7840583
4	12	- 49.017442	0.5552496
5	18	-55.956863	6.1142736
6	22	-57.317485	15.736586
7	27	-60.444649	30.495073
8	28	-54.557269	3.9391837
9	30	-57.43531	20.893101
10	32	-59.615248	35.608557

Os dados contidos na Tabela 2 foram normalizados, considerando um intervalo que varia de 0 a 1. Esse processo está implementado no *script* Scilab, apresentado no Anexo B.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da normalização dos dados coletados para modelagem.

Tabela 3 – Normalização dos dados coletados para modelagem.

Grupo	Quantidade de Pessoas	Média	Variância
1	2	0.9545695	0
2	7	0.1754486	0.0331607
3	11	0.1720357	0.1062682
4	12	0.1861132	0.0155931
5	18	0.0730919	0.1717080
6	22	0.0509317	0.4419327
7	27	0.0	0.8563973
8	28	0.0835066	0.1106246
9	30	0.0359905	0.5867438
10	32	0.0	1.0

6.2. Identificação do modelo

Com base nas técnicas de Identificação de Sistemas descrita no item 4.2, os valores de média e variância do RSSI (apresentados na Tabela 3) foram verificados graficamente em função do número de pessoas, para verificação do comportamento dessas variáveis e identificação de possíveis *outliers* (dados com um comportamento “anormal”).

O comportamento dessas variáveis pode ser verificado na Figura 16.

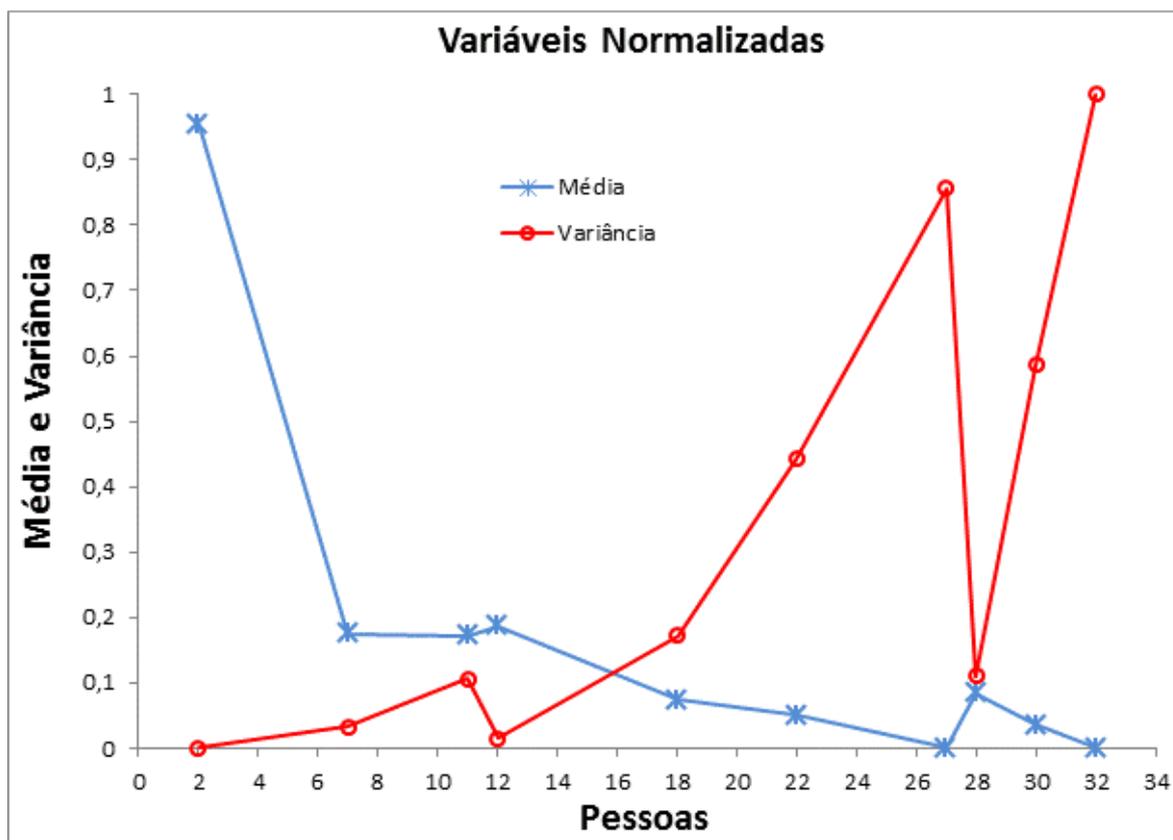


Figura 16 – Comportamento da média e variância do RSSI (dados de modelagem).

Como pode ser observado na Figura 16, os valores referentes à média do RSSI tendem a diminuir com aumento do número de pessoas. Diferentemente, os valores da variância tendem a crescer com o aumento do número de pessoas. Ambas as variáveis apresentaram comportamento não linear.

Atentando-se para o comportamento da variância, foi possível a identificação de um *outlier* referente à medida do RSSI para 28 pessoas, sendo este removido dos dados de modelagem por possuir um valor discrepante em relação aos outros. A justificativa para a ocorrência deste *outlier* está na obstrução contínua do nó sensor, através de algum material disposto pelos alunos presentes, durante o período de uma aula inteira.

Após a remoção do *outlier*, as variáveis foram observadas através de gráficos, novamente para a verificação de comportamento como pode ser observado na Figura 17.

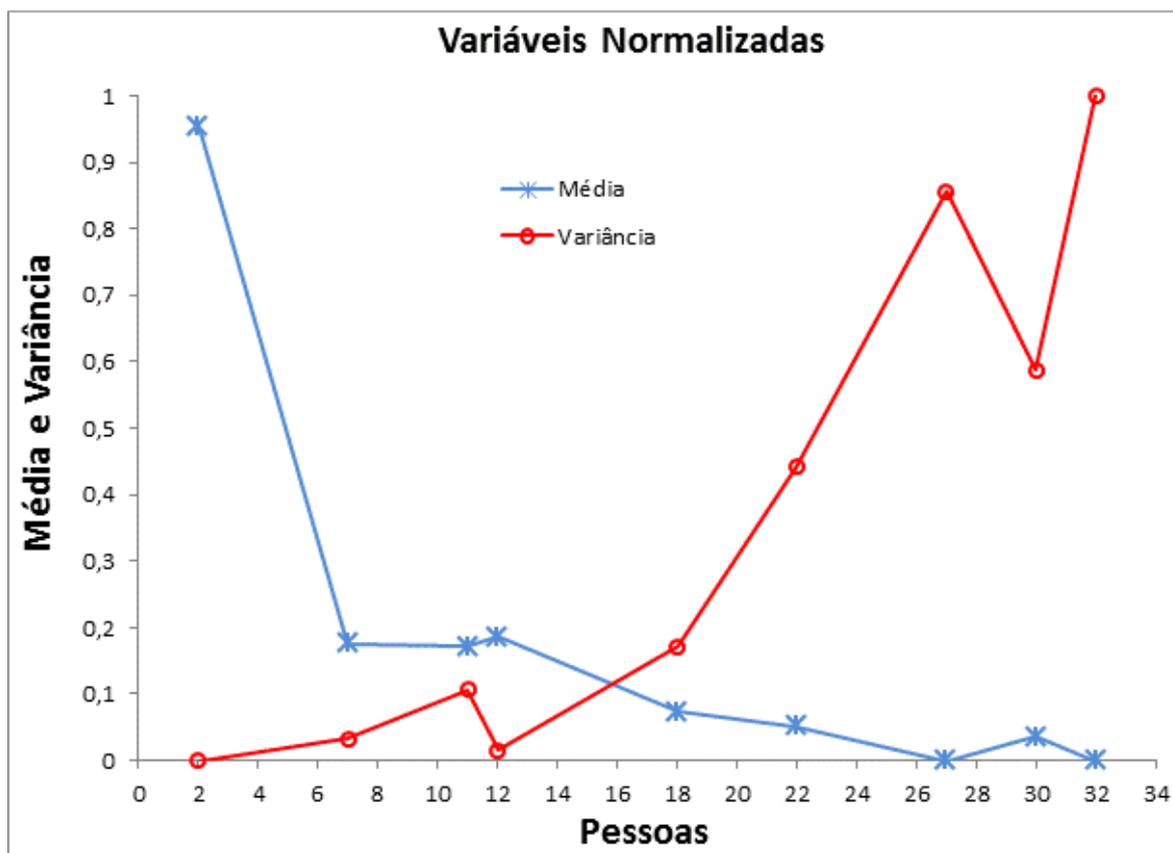


Figura 17 – Comportamento da média e variância dos dados de modelagem sem *outlier*.

Como pode ser observado na Figura 17, após a remoção do *outlier*, foi possível verificar a inexistência de pontos discrepantes em relação ao comportamento das variáveis. Sendo assim, partindo dos modelos propostos no Capítulo 4, foram editadas rotinas de estimação de parâmetros no *script* Scilab.

Essas rotinas realizam dentro do programa o cálculo matricial dos parâmetros, através da aplicação do MMQ, admitindo como entrada os valores de média e variância dos dados de índices pares, utilizados para modelagem.

Após a execução do *script* é possível verificar os valores estimados para cada parâmetro dos três modelos propostos, ou seja, de primeira, segunda e terceira ordens como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4- Parâmetros dos modelos estimados com o MMQ após a remoção do outlier.

Parâmetros	1ª Ordem	2ª Ordem	3ª Ordem
K	-11.881586	-45.884671	516.94968
L	20.249994	32.782207	-2838.4719
M	12.838222	29.253561	2413.2923
N	-	-14.649353	-40.813688
O	-	15.921739	181.31034
P	-	-	-104.79193
Q	-	-	-4.1366275

Após a obtenção dos parâmetros, estes foram substituídos nas equações originais propostas. Posteriormente, os dados de índice ímpares, utilizados para validação dos modelos, foram inseridos nas equações para que pudessem ser computados, pelo *Scilab*, gerando, assim, o número de pessoas estimadas pelo modelo. Portanto, as variáveis x_1 e x_2 dos modelos propostos no item 4.4 foram substituídas pelos valores de média e variância de índice ímpar.

Após a execução do programa, foi possível construir a Tabela 5 comparativa, em que são apresentadas a quantidade real de pessoas no ambiente e os valores de pessoas estimadas pelo sistema.

Tabela 5- Comparação entre o número real de pessoas e o número estimado de pessoas.

Número Real de Pessoas	Número Estimado de Pessoas		
	1ª Ordem	2ª Ordem	3ª Ordem
2	1.4224881	2.0980677	12.706174
7	11.759517	10.288641	10.4956
11	13.22696	12.29301	10.504603
12	11.111903	9.2117079	8.4733742
18	17.068874	19.278391	18.397212
22	22.755317	24.950549	27.897605
27	33.088216	30.525948	31.568096
30	31.164244	29.014942	43.943753
32	33.088216	30.525948	31.568096

Seguindo o método de validação descrito no item 5.5, foi calculado o resíduo absoluto médio para cada ordem de modelo. Os valores podem ser verificados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resíduos calculados para os modelos de primeira, segunda e terceira ordem.

	1ª Ordem	2ª Ordem	3ª Ordem
Resíduo Absoluto Médio (pessoas)	2.053245	1.964668	4.829152

A partir dos resíduos obtidos é possível observar que o modelo que melhor representa o comportamento real de ocupação é o de 2ª ordem, uma vez que demonstrou o menor Resíduo Absoluto Médio entre os modelos estudados. O Resíduo Absoluto Médio foi utilizado para a comparação por ser uma grandeza que reflete o número de pessoas. Portanto, conclui-se que o erro de estimação do modelo adotado não ultrapasse duas pessoas, em média.

O modelo final adotado para a estimação de pessoas, em um ambiente como o descrito neste trabalho, pode ser verificado na Equação (12).

$$Y_2 = x_1 \cdot (-45,884671) + (x_1)^2 \cdot 32,782207 + x_2 \cdot 29,253561 + (x_2)^2 \cdot (-14,649353) + 15,921739 \quad (12)$$

Onde,

Y_2 → Número de pessoas.

X_1 → Média do RSSI.

X_2 → Variância do RSSI.

Na Figura 18 está representada uma comparação do número real de pessoas na sala com o número de pessoas estimadas pelo modelo adotado, tendo como referência uma reta de estimação ideal, ou seja, em que o número real de pessoas é igual ao número de pessoas estimadas.

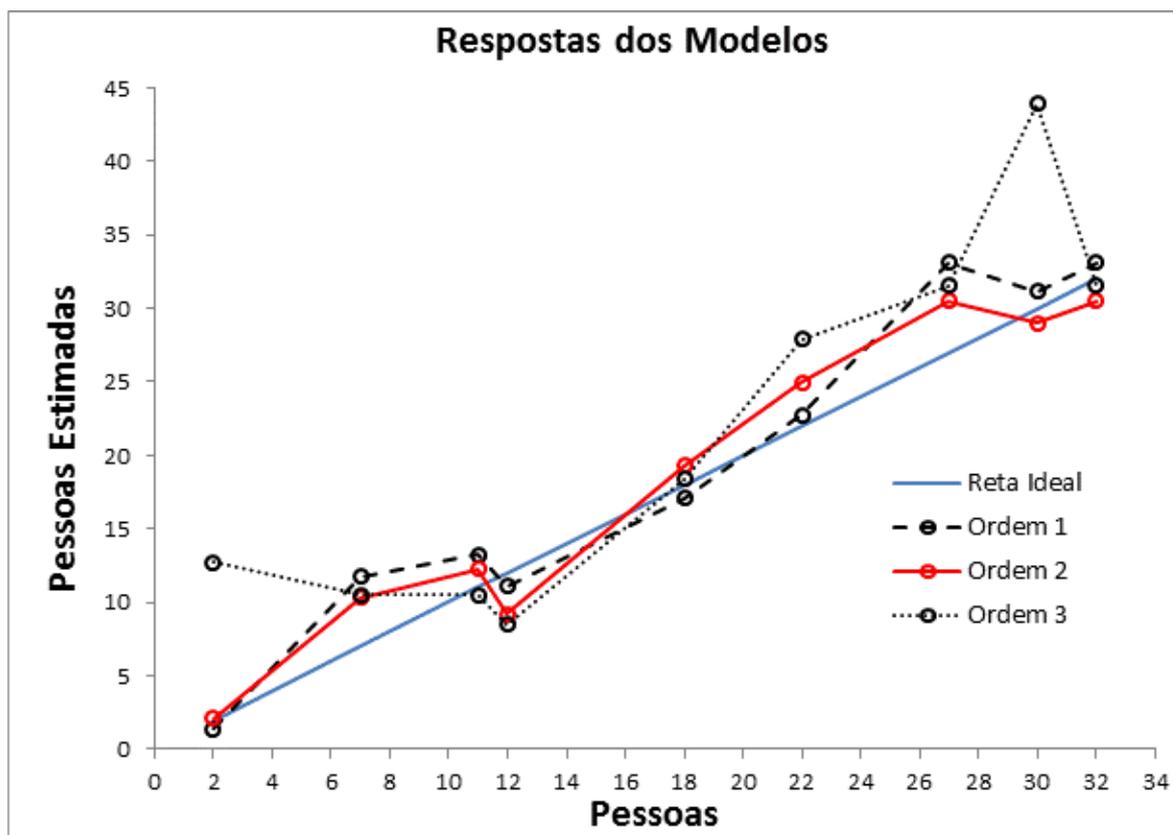


Figura 18 – Comparação de pessoas reais com pessoas estimadas.

Como pode ser observado na Figura 18, o comportamento do modelo adotado se manteve próximo à reta ideal, ou seja, conforme indicado pelo RAM calculado, os pontos em torno desta reta possuirão em média uma distância de aproximadamente duas pessoas.

Pode-se dizer que o segundo ponto da curva apresenta o maior erro proporcional ao seu número real de sete pessoas. Isto indica que o modelo adotado apresenta uma melhora de precisão para valores de ocupação maiores do que neste ponto, como pode ser verificado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resíduo Absoluto entre o número real de pessoas e o número estimado de pessoas.

Número Real de Pessoas	Número Estimado de Pessoas	Resíduo Absoluto
2	2.0980677	0,10
7	10.288641	3,29
11	12.29301	1,29
12	9.2117079	2,79
18	19.278391	1,28
22	24.950549	2,95
27	30.525948	3,53
30	29.014942	0,99
32	30.525948	1,47
RAM =		1,96

Como pode ser verificado na Tabela 7, a média de erro apresentada pelo modelo adotado é de 1,96 pessoas.

O *script* desenvolvido para a computação de todos os resultados matemáticos e gráficos, apresentados até aqui, e também o *script* desenvolvido para o controle e aquisição de dados da RSSF construída, estão dispostos nos anexos A e B.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como foco a identificação de relações relevantes entre a taxa de ocupação, de um ambiente fechado, e as variações da intensidade dos sinais de radio frequência, em uma RSSF, objetivando a identificação de um modelo matemático capaz de calcular a ocupação espacial em termos do número de pessoas.

Os estudos basearam-se em testes experimentais, sendo assim, o ambiente ideal a ser escolhido deveria possuir fatores importantes como a variação do número de pessoas, intervalos de ocupação e desocupação bem definidos, períodos variados e comportamentos humanos variados. Portanto, a instalação da RSSF, no interior de uma sala de aula, possibilitou a obtenção de um ambiente favorável para os testes experimentais que retrataram o comportamento real das pessoas, ou seja, alunos e professores.

A utilização de uma RSSF deu-se pela simplicidade e baixo-custo de instalação, bem como a facilidade de acesso às informações de intensidade de sinal dos nós.

De acordo com os experimentos apresentados conclui-se que é possível encontrar relações relevantes entre a taxa de ocupação de um ambiente limitado, com a variância da RSSI em uma RSSF padrão IEEE 802.15.4.

Os resultados obtidos possibilitaram a identificação de um modelo de segunda ordem, que possui como parâmetros a média e a variância do sinal de rádio. Portanto, como apresentado, a partir da inserção desses parâmetros na expressão, foi possível estimar o número de pessoas no ambiente estudado com um erro absoluto médio menor que duas pessoas.

A aplicação do MMQ atendeu à expectativa de estimação dos parâmetros necessários para a identificação de um modelo que retratasse o comportamento real do sistema estudado.

Com relação aos valores de pessoas estimadas, é relevante considerar que, por se tratar de pessoas, o valor previsto para ocupação do ambiente sempre será inteiro. Portanto, a precisão da resposta do modelo pode ser melhorada com tratamento de arredondamento.

Os resultados também indicaram que a intensidade dos sinais de comunicação em uma RSSF, pode ser utilizada como um sensor de leitura omnidirecional, em termos de ocupação em um ambiente fechado.

Este trabalho manteve-se restrito à rede de sensor sem fio padrão IEEE 82.15.4. No entanto, estudos futuros poderão ser desenvolvidos utilizando-se as redes IEEE 802.11, pois por ser uma tecnologia mais difundida no mercado, possui potencial para novas aplicações em dispositivos *Wi-Fi*.

REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, MARCEL S., and FABIANO FRUETT. "Rede de sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental." Anais: XVIII Congresso Brasileiro de Automática. Bonito. 2010. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2010/Artigos/66285_1.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2014.
- [2] CAMILO, T. et al. Redes de Sensores Sem Fios, considerações sobre a sua instalação em ambiente real. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS COMPUTING (UBICOMP), 14., 2012, Pittsburgh, PA. *Proceedings...* Pittsburg: CSMU, 2006 Disponível em: <<http://ubicomp.algoritmi.uminho.pt/csmu/proc/camilo-125.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- [3] GAMA K.; ALVARO, A.; PEIXOTO, E. C. *Em Direção a um Modelo de Maturidade Tecnológica para Cidades Inteligentes*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SBSI), 8., 2012, São Paulo. *Trilhas técnicas...* São Paulo: SBSI, 2012. p. 150-155. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbsi/2012/0018.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- [4] PROCÓPIO, EDSON TAIRA. *Identificação de modelo matemático para representar a transmissão de rede de sensores sem fio em ambientes construídos*. 2012. 159 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, São Paulo, 2012.
- [5] GRACIOLI, Giovanni et al. *Evaluation of an RSSI-based Location Algorithm for Wireless Sensor Networks* Revista IEEE América Latina, v. 9, p. 830-835, 2011.
- [6] Yang, Danny B., Héctor H. González-Baños, and Leonidas J. Guibas. "Counting people in crowds with a real-time network of simple image sensors." *Computer Vision*, 2003. *Proceedings. Ninth IEEE International Conference on. IEEE*, 2003.
- [7] Kilambi, Prahlad, et al. "Estimating pedestrian counts in groups." *Computer Vision and Image Understanding* 110.1 (2008): 43-59.
- [8] Tibiriçá, Cristiano Bigonha. "Detecção de Usuários e SUAS Interações com o Ambiente utilizando Rede de Sensores". Diss. Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-17012011-121852/en.php>>. Acesso em: 11 nov. 2014.
- [9] Hightower, Jeffrey, e Gaetano Borriello. "Sistemas de localização para computação ubíqua." *Computador* 34,8 (2001): 57-66.

- [10] ABUSSANDRA, J.M., "O Edifício Residencial Paulistano nos Anos 70, 80 e 90: A Arquitetura e o Mercado Imobiliário". 2007. 254 f. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Curso de Pós - Graduação) - Universidade São Judas tadeu. 2007.
- [11] LIMA, C.L.; LUZ, J.B.; VIDAL, S.A.C.D.C.S.F.; *Dimensionamento Básico De Centrais via Simulação de Tráfego Telefônico*: Instituto de Estudos Superiores da Amazônia. Disponível em: <<http://www3.iesampa.edu.br/ojs/index.php/TELECOM/article/viewFile/675/549>>. Acesso em 16 ago. 2014.
- [12] TRAVASSOS, C.; NORONHA, J.C.; MARTINS, M.; *Mortalidade Hospitalar como Indicador de Qualidade: uma revisão*:(Departamento de Informações em Saúde)CENTRO DE INFORMAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA,FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, RJ, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/csc/v4n2/7119.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [13] BRITISH BROADCASTING CORPORATION HTTP.; "Counting crowds: Was Egypt's uprising the biggest ever?". Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/magazine-23312656>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [14] WATSON, RAY, AND PAUL YIP. "How many were there when it mattered?". Significance 8.3 (2011): 104-107. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1740-9713.2011.00502.x/pdf> >. Acesso em: 31 out. 2014
- [15] VIANNA, TÚLIO LIMA. "A era do controle: introdução crítica ao direito penal cibernético." *Direito e Justiça—Revista da Faculdade de Direito da Universidade Católica Portuguesa* 18 (2004): 344. Disponível em: <<http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/anexos/29369-29387-1-PB.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [16] BRASIL, Joabe, et al. "Redes de Sensores para a Monitoração e Alerta de Chuvas Baseado no Algoritmo de Fusão de Dados Fuzzy."
- [17] Motter, Paulo Fernando. "Sistema de localização de objetos alvo utilizando rede de sensores sem fio." (2010).
- [18] Kleinschmidt, João Henrique, Marcelo E. Pellenz, and L. A. P. Lima Jr. "Uma aplicação de redes de sensores usando Bluetooth." XXI Brazilian Telecommunications Symposium, Belém, Brazil. 2004.
- [19] YAOXUAN, YAN; JIZHONG, ZHAO, CHEN, QIU; WEI, XI. *Estimating Crowd Density in an RF-based Dynamic Environment*. IEEE Sensors Journal, VOL. 13, NO. 10, OCTOBER 2013
- [20] SCHAEFFER, ROBSON DAGMAR. "Estudo e desenvolvimento de um sensor de CO2 de baixo custo." (2004). Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4199/000453557.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 31 out. 2014.

- [21] DANIELS, DAVID. "*Applications of impulse radar technology.*" (1997): 667-672. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=629264>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [22] Calvetti, Leonardo, Cesar Beneti, and Augusto José Pereira Filho. "*Integração do radar meteorológico Doppler do SIMEPAR e uma rede de pluviômetros para a estimativa da precipitação.*" Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11 (SBSR) (2003): 1137-1144. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.18.39/doc/11_326.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2014.
- [23] CAICEDO, DAVID, AND ASHISH PANDHARIPANDE. "*Ultrasonic array sensor for indoor presence detection.*" *Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2012 Proceedings of the 20th European. IEEE, 2012.*
- [24] H.S. PARK, S. LIM, J.-K. MIN AND S.-B. CHO, "*Optimal View Selection and Event Retrieval in Multi-Camera Office Environment*", IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, pp. 106 - 110, 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4648117>>. Acesso: 31 out. 2014.
- [25] SEED GROW THE DIFFERENCE. "*RFbee V1.1 – Wireless arduino compatible node.*" Disponível em: <<http://www.seeedstudio.com/depot/RFbee-V11-Wireless-arduino-compatible-node-p-614.html>>. Acesso em: 12 nov. 2014.
- [26] AMAZON. "*KaiCong Sip1602 Plug & Play/Pan & Tilt IP Camera/Wireless&Wired Connection/Motion Detection/Mobile View/Network Camera With 8 Meter Night Vision & 3.6mm Lens*". Disponível em: <http://www.amazon.com/KaiCong-Sip1602-Wireless-Connection-Detection/dp/B009GYSJ16/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1418861519&sr=8-1&keywords=camera+ip>. Acesso em: 12 nov. 2014.
- [27] BARROS, D. B.; GANSELLI, T.T. ; PROCOPIO, E. T. ; MOTA, A. A.; MOTA, L. T, M.. "*Taxa de Ocupação em Função da Variação de Potência de Sinal Recebido em Redes de Sensores Sem Fio*". In: VIII Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, 2013, São Paulo (SP). Anais, 2013.
- [28] TAVARES, P. L. *Rede de Sensores Sem Fio.* 2002. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/02_2/Redes%20de%20sensores/Redes%20de%20Sensores%20Sem-fio.htm#_Toc27989321>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [29] SILVA, L. F.; BRANQUINHO, O. C.; ASSUMPCÃO, R. M. . *Mobility Impact on IEEE 802.15.4 Network through a Simulation Platform.* Revista IEEE América Latina, v. 9, p. 655-662, 2011.

- [30] LOUREIRO, ANTONIO AF, et al. "Redes de sensores sem fio." Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC). 2003. Disponível em: <http://www.sensornet.dcc.ufmg.br/publica/pdf/179_Loureiro_Nogueira_Ruiz_Mini_Nakamura_Figueiredo.pdf>. Acesso em: 31 out.2014.
- [31] Yanho, INÁCIO HENRIQUE. *Estratégia De Polling Híbrida Para Prolongamento De Tempo De Vida Útil De Uma Rede De Sensores Sem Fio*. 2012. 101p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, São Paulo, 2012.
- [32] DOS SANTOS, Sergio Torres. "Redes de sensores sem fio em monitoramento e controle". Diss. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2007. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/Sergio07/Sergio07.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [33] GONDA, LUCIANO. "Manutenção de topologia de redes de sensores sem fio usando tabela de decisão adaptativa". 2010. 96 f. Tese Doutorado (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-23112010-102122/en.php>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [34] ALLIANCE, ZIGBEE. "IEEE 802.15. 4, ZigBee standard." On <http://www.zigbee.org> (2009). Disponível em: <<http://www.zigbee.org/Join/HowtoJoin.aspx>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [35] DIGI INTERNATIONAL. "Módulos de Rádio Frequência". Disponível em: <<http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-zb-module#specs>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [36] RADIOIT. "Indústria Brasileira de Módulos de Rádio Frequência". Disponível em: <<http://www.spreadcom.com.br>>. Acesso em: 12 nov. 2014.
- [37] BRANQUINHO, O. C.; "Plataforma Radiuino Para Estudo de Rede de Sensores Sem Fio". Disponível em: <<http://www.foruns.unicamp.br/Arquivos%20Biblioteca%20Virtual/Palestras/21-10/Plataforma%20Radiuino%20v14.pdf>> Acesso em: 31 out. 2014.
- [38] AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso em: 31 out. 2014.
- [39] GIACOMIN, J. C.; VASCONCELOS, F. H. Qualidade da Medição de Intensidade de Sinal nas Comunicações de uma Rede de Sensores Sem Fios: uma Abordagem da Camada Física. *INFOCOMP: Journal of Computer Science*, v. 5, n.2, p. 83-92, 2006. Disponível em: <<file:///C:/Users/danielb/Downloads/Qualidade%20da%20Medi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Intensidade%20de%20Sinal.....pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.

[40] RAPPORT, T. S. "Wireless Communication Principles and Practice. 2nd." Ed. Upper Saddle River, NJ 7458.

[41] TEXAS INSTRUMENTS. *CC1101 Low-power Sub-1 GHz RF Transceiver*, 2011. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.

[42] PERES, A. *Mecanismo de Autenticação Baseado na Localização de Estações Sem Fios Padrão IEEE 802.11*. Tese (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/10183/18634/000729269.pdf?sequenc e=1>>. Acesso em: 31 out. 2014.

[43] VIEIRA, JAIRO SANTOS. "*Estudo de propagação de onda eletromagnética em estrutura geológica estratificada*." (2003). Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/6610>>. Acesso em: 31 out. 2014.

[44] MOTA, L. T. M. *Métodos de Previsão do Comportamento da Carga na Recomposição de Sistemas de Energia Elétrica*. 2005. 183f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005.

[45] MOREIRA, A. P. G. M.; COSTA, P. J. G.; SANTOS P. J. L. *Introdução à Identificação de Modelos Discretos para Sistemas Dinâmicos*. 2003. 114f. Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto, Porto, 2003. Disponível em: <http://paginas.fe.up.pt/~amoreira/documentospdf/identif_jan2003.pdf>. Acesso em: 31 out. 2014.

[46] AGUIRRE, L. A.; RODRIGUES, G. G.; JÁCOME, C. R. F. "*Identificação de Sistemas Não Lineares Utilizando Modelos Narmax Polinomiais: Uma Revisão e Novos Resultados*". *SBA Controle e Automação*, Campinas, v. 9, n.2, p. 90-106, maio/ago. 1998. Disponível em: <<http://www.sba.org.br/revista/vol9/V9p90.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.

[47] LEITE, K. G. *Modelagem matemática "para" sala de aula: uma experiência com professores do Ensino Médio*. In: FÓRUM DE EDUCAÇÃO E DIVERSIDADE, 3., 2008, Tangará da Serra, MT. *Anais...* Tangará da Serra: UFRGS, 2008. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/espmat/disciplinas/funcoes_modelagem/2009/modulo_VI/pdf/modelagem%20para%20a%20sala%20de%20aula.pdf>. Acesso em: 31 out. 2014.

[48] ATMEL. *8-bit AVR^R Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash*. 2004. 2545DS AVR 07/04. Disponível em: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/219592_DS.pdf>. Acesso em: 31 out. 2014.

[49] BOXALL, J. RF Wireless Data with the Seedstudio RFBee. *Tronixstuff*, 19 March 2012. Disponível em <<http://tronixstuffads.blogspot.com.br/2012/03/rf-wireless-data-with-seedstudio-rfbee.html>>. Acesso em: 26 mar. 2012.

ANEXO A – Firmware da Aplicação em Python.

```
# PROGRAMA PARA ESTUDO DA TAXA DE OCUPAÇÃO EM FUNÇÃO DA RSSI EM REDE DE SENSORES
SEM FIO IEEE 802.15.4
```

```
# Autor: Daniel Braga Barros
```

```
import serial
import math
import time
import struct
from time import localtime, strftime
```

```
# Configura a serial
```

```
# para COM# o número que se coloca é n-1 no primeiro parâmetro. Ex COM9 valor 8
```

```
n_serial1x = raw_input("Digite o número da serial = ") #seta a serial
```

```
n_serial1 = int(n_serial1x) - 1
```

```
ser1 = serial.Serial(n_serial1, 9600, timeout=0.5, parity=serial.PARITY_NONE) # seta valores da serial
```

```
SLEEP1 = 0.1 #constante de delay entre a comunicação dos rádios
```

```
contador = 0 #número da medida
```

```
# Cria o vetor Pacote
```

```
Pacote1 = {}
```

```
for i in range(0,52): # Cria Pacotes de 52 bytes com valor zero em todas as posições
```

```
    Pacote1[i] = 0
```

```
#----- FUNÇÃO DE AQUISIÇÃO DA RSSI -----
```

```
def RSSI(z):
```

```
    ser1.flushInput() # Limpa o buffer da serial 1
```

```
    # Transmissão do pacote de leitura
```

```
    for k in range(0,52):
```

```
        TXbyte = chr(z[k])
```

```
        ser1.write(TXbyte)
```

```
    # Aguarda a resposta do sensor
```

```
    time.sleep(int(SLEEP1))
```

```
    line = ser1.read(52) # faz a leitura de 52 bytes do buffer que recebe da serial pela COM
```

```
    if len(line) == 52:
```

```
        x = ord(line[0]) # RSSI_DownLink
```

```
        y = ord(line[2]) # RSSI_UpLink
```

```
        #RSSI Downlink
```

```
        if x > 128:
```

```
            x=((x-256)/2.0)-74
```

```
        else:
```

```
            x=(x/2.0)-74
```

```
        #RSSI Uplink
```

```
        if y > 128:
```

```
            y=((y-256)/2.0)-74
```

```
        else:
```

```
            y=(y/2.0)-74
```

```
        count = ord(line[12]) # contador de pacotes enviados pelo sensor
```

```
        return x,y
```

```
    else:
```

```
        x = 0
```

```
        y = 0
```

```

    print 'Sensor Falhou'
    return x,y

#----- PRINCIPAL -----
# Imprime na tela o menu de opções

print 'Entre com um dos comandos abaixo!'
print '1 - Realiza medidas:'
print 's - Para sair:'

Opcao = raw_input('Entre com a Opção = ')

# Limpa o buffer da serial
ser1.flushInput()

if Opcao == "1":
    # Identificação da base
    ID_base = raw_input('ID_base = ')

    # Identificação dos sensores a serem acessados
    ID_sensor1 = raw_input('ID do sensor 1 = ')

else:
    ser1.close() # fecha a porta COM
    print 'Fim da Execução' # escreve na tela
    exit

#----- PREPARA PACOTES (NetHdr[#]) -----
# [8]>DESTINO [9]>DESTINO_NET [10]>FONTE
Pacote1[8] = int(ID_sensor1); Pacote1[9] = 0; Pacote1[10] = int(ID_base) #Base - S1

while True:
    try:
#----- LOG BASE -----
        FileLOG = strftime("LOG_%d_%m_%y %H %M.txt")
        print "Arquivo de log: %s" % FileLOG
        LOG = open(FileLOG, 'w') # Abre o arquivo filename1 com permissão de escrita
        contador = 0

#----- WHILE PARA REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS -----
        DAY = int (strftime("%M"))
        while (int (strftime("%M"))== DAY): # while para realização das w medidas
            contador = contador + 1

#----- COLETA AS RSSIs DOS LINKS COMETADOS -----

            RSSId1,RSSId1 = RSSI(Pacote1) #Base - S1

            print contador,RSSId1,RSSId1
            print >>LOG,contador,time.asctime(),',',RSSId1,',',RSSId1
                time.sleep(5)

            LOG.close()

#----- SO VAI FINALIZAR DIGITANDO CTRL+C -----
    except:
        print "\n\n---- FIM ----\n"
        ser1.close()
        break #Quebra o While infinito.

```

ANEXO B – Script de Modelagem Matemática do Software Scilab.

```

////////////////////////////////////
// Gestão de Serviços //
// Pos-graduacao PUC-Campinas - 1º Semestre de 2014 //
// //
// Daniel B. Barros //
// Tiago T. Ganselli //
// //
// @Descrição: //
// Importação das matrizes X e Y de entrada do sistema e //
// cálculo da matriz  $\Theta$  estimada. //
// //
// @Instruções de uso: //
// Ajustar os parâmetros abaixo e executar o programa. //
// Caso deseje, acionar as informações de debug. //
// //
//  $[Y] = [X] * [\Theta]$  //
// | | | //
// 10x1 10x2 2x1 //
// 10x2 10x2 2x2 //
// //
// A matriz Teta possui tamanho igual a: //
// - Colunas de Y - Colunas //
// - Colunas de X - Linhas //
// //
////////////////////////////////////

//funcprot(0);

//MMQ
function [O]=mmq(X, Y)
//  $\Theta = [XT X]^{-1} * XT * Y$ 
O = (inv(X'*X)*X'*Y);
endfunction

//Resíduos
function calculaResiduos(y, ye)

//Resíduo Simples
rs = y-ye;
//printf("Resíduo Simples\n");
//disp(rs');

//Resíduo Médio
rm = mean(rs);
printf("Resíduo Médio: %f\n", rm);

//Resíduo Absoluto Médio
ram = mean(abs(y-ye));
printf("Resíduo Absoluto Médio: %f\n", ram);

//Resíduo Quadrático Médio
rqm = mean((y-ye).^2);
printf("Resíduo Quadrático Médio: %f\n", rqm);
endfunction

//Integridade das matrizes de entrada
function [s]=checkIntegrity(x, y, w)
s=0; //Inicia na condição de sucesso

[x_linhas_n, x_colunas_n] = size(x);
[y_linhas_n, y_colunas_n] = size(y);
[w_linhas_n, w_colunas_n] = size(w);

// Se possuir mais colunas do que linhas é

```

```

//grande a chance de estar errado.
if (x_colunas_n > x_linhas_n) then
    s=1;
end
if (y_colunas_n > y_linhas_n) then
    s=1;
end

// As matrizes Y e X precisam ter o mesmo número de linhas.
if (x_linhas_n <> y_linhas_n) then
    s=1;
end

// A matriz W precisa ter o mesmo número de linhas das outras.
if (w_linhas_n <> x_linhas_n) then
    s=1;
end

if (s <> 0) then
    disp("=====");
    disp("ERRO de integridade em uma das matrizes!");
    disp("=====");
end
endfunction

//Função para ver se é par ou impar
function [out]=iseven(x)
    if round(x/2)==x/2
        out = 1
    else
        out = 0
    end
    return
endfunction

//Integridade das matrizes de entrada
function [m_par, v_par, m_imp, v_imp]=calcular(x)
    [xL, xC] = size(x);
    countP=1;
    countI=1;

    for i=1:xL
        if (iseven(i) == 1) then
            par(countP,1)=x(i,1);
            countP=countP+1;
        else
            imp(countI,1)=x(i,1);
            countI=countI+1;
        end
    end

    m_par = mean(par);
    v_par = variance(par);
    m_imp = mean(imp);
    v_imp = variance(imp);

endfunction

//Diretório no qual o arquivo está localizado:
local_do_programa = 'C:\Users\danielb\Documents\BACKUP
PENDRIVES\MESTRADO\LIA\Projeto\Projeto\Projeto_Artigo - FACIL';

plotar_grafico = 0;
plotar_pontos = 1;

////////////////////////////////////
//

```

```

// O programa começa aqui.
//
////////////////////////////////////
clc();
printf("\n ---- MMQ ----\n\n");

//Altera o diretório atual do SciLab para o local do programa no PC.
chdir(local_do_programa);

curr_graf=1;

//Importa as matrizes e calcula a quantidade de linhas e colunas.
[p2] = fscanfMat("2p.txt");
[p2_m, p2_v, p2_mV, p2_vV] = calcular(p2);

[p7] = fscanfMat("7p.txt");
[p7_m, p7_v, p7_mV, p7_vV] = calcular(p7);

[p11] = fscanfMat("11p.txt");
[p11_m, p11_v, p11_mV, p11_vV] = calcular(p11);

[p12] = fscanfMat("12p.txt");
[p12_m, p12_v, p12_mV, p12_vV] = calcular(p12);

[p18] = fscanfMat("18p.txt");
[p18_m, p18_v, p18_mV, p18_vV] = calcular(p18);

[p22] = fscanfMat("22p.txt");
[p22_m, p22_v, p22_mV, p22_vV] = calcular(p22);

[p27] = fscanfMat("27p.txt");
[p27_m, p27_v, p27_mV, p27_vV] = calcular(p27);

[p28] = fscanfMat("28p.txt");
[p28_m, p28_v, p28_mV, p28_vV] = calcular(p28);

[p30] = fscanfMat("30p.txt");
[p30_m, p30_v, p30_mV, p30_vV] = calcular(p30);

[p32] = fscanfMat("32p.txt");
[p32_m, p32_v, p32_mV, p32_vV] = calcular(p32);

//DADOS COM OUTLIER
//media = [p2_m; p7_m; p11_m; p12_m; p18_m; p22_m; p27_m; p28_m; p30_m; p32_m];
//variancia = [p2_v; p7_v; p11_v; p12_v; p18_v; p22_v; p27_v; p28_v; p30_v; p32_v];
//pessoas = [2; 7; 11; 12; 18; 22; 27; 28; 30; 32];
//ones_ = [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1];
//media_validacao = [p2_mV; p7_mV; p11_mV; p12_mV; p18_mV; p22_mV; p27_mV; p28_mV; p30_mV; p32_mV];
//variancia_validacao = [p2_vV; p7_vV; p11_vV; p12_vV; p18_vV; p22_vV; p27_vV; p28_vV; p30_vV; p32_vV];

//DADOS SEM OUTLIER
media = [p2_m; p7_m; p11_m; p12_m; p18_m; p22_m; p27_m; p30_m; p32_m];
variancia = [p2_v; p7_v; p11_v; p12_v; p18_v; p22_v; p27_v; p30_v; p32_v];
pessoas = [2; 7; 11; 12; 18; 22; 27; 30; 32];
ones_ = [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1];
media_validacao = [p2_mV; p7_mV; p11_mV; p12_mV; p18_mV; p22_mV; p27_mV; p30_mV; p32_mV];
variancia_validacao = [p2_vV; p7_vV; p11_vV; p12_vV; p18_vV; p22_vV; p27_vV; p30_vV; p32_vV];

//NORMALIZACAO:
for i=1:size(media, 1)
    media(i,1)=(media(i,1)-min(media))/(max(media)-min(media));
    variancia(i,1)=(variancia(i,1)-min(variancia))/(max(variancia)-min(variancia));
    media_validacao(i,1)=(media_validacao(i,1)-min(media_validacao))/(max(media_validacao)-min(media_validacao));
    variancia_validacao(i,1)=(variancia_validacao(i,1)-min(variancia_validacao))/(max(variancia_validacao)-min(variancia_validacao));
end
end

```

```

if plotar_grafico then
    disp("Imprimindo os gráficos...");
    //Cria nova janela de gráficos:
    scf(curr_graf);
    curr_graf=curr_graf+1;
    //clf();

    plot(pessoas, variancia, 'ro-');
    plot(pessoas, media, 'b*-');
    legend('Variância X Pessoas', 'Média X Pessoas');

    a=gca();           //Adquire o handler para o gráfico
    a.title.text="Variáveis Normalizadas";           //Titulo do grafico
    a.title.font_size=4;           //Tamanho da fonte usada no Titulo
    a.x_label.text="Pessoas";           //Identificador do eixo X
    a.x_label.font_size=4;           //Tamanho da fonte usada no eixo X
    a.y_label.text="Média e Variância"; //Identificador do eixo Y
    a.y_label.font_size=4;           //Tamanho da fonte usada no eixo Y

end

// HABILITAR LINHA REFERENTE À ORDEM DO MODELO:
//m_v_RSSI = [media, variancia, ones_]; //PRIMEIRA ORDEM
m_v_RSSI = [media, media^2, variancia, variancia^2, ones_]; //SEGUNDA ORDEM
//m_v_RSSI = [media, media^2, media^3, variancia, variancia^2, variancia^3, ones_]; //TERCEIRA OREDEM

//m_v_RSSI_val = [media_validacao, variancia_validacao, ones_]; //PRIMEIRA ORDEM
m_v_RSSI_val = [media_validacao, media_validacao^2, variancia_validacao, variancia_validacao^2, ones_];
//SEGUNDA ORDEM
//m_v_RSSI_val = [media_validacao, media_validacao^2, media_validacao^3, variancia_validacao,
variancia_validacao^2, variancia_validacao^3, ones_]; //TERCEIRA ORDEM

//Realiza Estimação dos parâmetros
parametros = mmq(m_v_RSSI, pessoas);
disp(parametros, 'Parâmetros Estimados:');

//Realiza a Estimação de pessoas
disp("Resíduo entre Pessoas e Pessoas Estimadas:");
pessoas_est = m_v_RSSI_val*parametros;
calculaResiduos(pessoas, pessoas_est);

if plotar_pontos then
    scf(curr_graf);
    curr_graf=curr_graf+1;
    // clf();
    plot([0; 33],[0; 33]);
    plot(pessoas, pessoas_est, 'ko-');

//Altera o estilo da linha
e=gce();           //Adquire o handler para a entidade
e.children.line_style=1; //Define o estilo da linha plotada.
//Pode variar de 1 a 8. Cada numero resulta em um estilo diferente:
// 1: Continua      5: Traco, Ponto e Ponto
// 2: Tracejada     6: Traco longo e Ponto
// 3: Tracos pequenos  7: Pontos pequenos
// 4: Traco e Ponto  8: Pontos

// legend('Reta ideal', 'Ordem 3');
a=gca();           //Adquire o handler para o gráfico
a.title.text="Resposta do Modelo Adotado";           //Titulo do grafico
a.title.font_size=4;           //Tamanho da fonte usada no Titulo
a.x_label.text="Pessoas";           //Identificador do eixo X
a.x_label.font_size=4;           //Tamanho da fonte usada no eixo X
a.y_label.text="Pessoas Estimadas"; //Identificador do eixo Y
a.y_label.font_size=4;           //Tamanho da fonte usada no eixo Y

end

```

```
disp(mean(pessoas_est - pessoas), "Média dos valores");
disp(stddev(pessoas_est - pessoas), "Desvio Padrão dos Valores");
disp(" Média Variância Pessoas PessoasEstimadas");
tabela = [media, variancia, pessoas, pessoas_est];

disp(tabela);
printf("\n ----- FIM ----- \n\n");
```