



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

**FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

HYGOR JARDIM DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM CENÁRIOS DE ELEVADA
E BAIXA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA REDES
DE Sensores SEM FIO**

Castanhal

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

**FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

HYGOR JARDIM DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM CENÁRIOS DE ELEVADA
E BAIXA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA REDES
DE SENSORES SEM FIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho

**Castanhal
2018**

Silva, Hygor Jardim

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM CENÁRIOS DE ELEVADA E BAIXA TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA REDES DE SENSORES SEM FIO/ HYGOR JARDIM DA SILVA. – Castanhal, 2018.

55 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho

Trabalho de Conclusão de Curso – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO, 2018.

1. Avaliação de Desempenho. 2. Rede de Sensores Sem Fio. 3. Protocolos de Roteamento. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CASTANHAL
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO

DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DISCENTE: HYGOR JARDIM DA SILVA

TÍTULO DO TCC: "AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM CENÁRIOS DE ELEVADA E BAIXA
TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA REDES DE SENSORES SEM FIO"

PARECER DA BANCA EXAMINADORA:

Conceito Excelente

Castanhal (PA), 18/12/2018

Prof. Dr. Tássio Costa de Carvalho
Orientador – Universidade Federal do Pará – FACOMP/ Campus Castanhal

Prof. Dr. Bruno Souza Lyra Castro
Membro – Universidade Federal do Pará – FACOMP/ Campus Castanhal

Prof. Dr. José Jailton Henrique Ferreira Júnior
Membro – Universidade Federal do Pará – ITEC/ Campus Castanhal

*Ao meu pai que sempre sonhou em ser engenheiro
e a minha mãe que tornou esse trabalho possível.*

RESUMO

As Redes de Sensores sem Fio (RSSF) são redes formadas por diversos dispositivos (sensores) com capacidade de comunicação e percepção que podem medir diversos parâmetros físicos em um ambiente, sendo que o poder das redes reside na habilidade de agregar um grande número de pequenos sensores que se organizam e se configuram independentemente, sendo de extrema importância para o controle e monitoramento de eventos recorrentes na região como desmatamentos, emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e desastres naturais. Com isto, este trabalho apresenta uma avaliação de desempenho em cenários de elevada e baixa taxa de transferência de dados para RSSF, realizando um estudo de caso na região paraense. A partir de cenários de simulação com padrões de transmissão sem fio, IEEE 802.11a e IEEE 802.11b; foram testados os três protocolos de roteamento mais utilizados em RSSF, AODV, DSDV, OLSR; e também uma configuração sem protocolo de roteamento; acerca da organização dos nós sensores, optou-se por duas topologias afim de observar situações onde o controle do posicionamento dos nós seria ou não possíveis, foram elas: distribuição em grade para situações urbanas e também industriais; distribuição aleatória para situações de monitoramento florestal, aquático e agrícola. Os resultados apresentados mostraram que o padrão IEEE 802.11a demonstrou um desempenho significativamente melhor que o padrão IEEE 802.11b obtendo valores menores de atrasos; o protocolo de roteamento DSDV demonstrou desempenho estável tanto nos cenários de elevada transferência quando de baixa transferência; nos cenários de alta transferência, todas as configurações tiveram taxas médias de 92,55 Kbps (Kilobit por segundo) de vazão, já nos cenários de baixa transferência obtiveram taxas de 6,72 Kbps (Kilobit por segundo); a mudança de protocolo de roteamento neste cenário não trouxe resultados expressivos, todos protocolos mantiveram desempenho semelhante. Dessa forma, os resultados alcançados criam a possibilidade para o amadurecimento das atuais simulações em trabalhos futuros, permitindo a reconfiguração dos parâmetros, novas simulações e cenários levando em conta outros fatores. Acredita-se que as simulações aqui realizadas podem auxiliar no estudo de implantação RSSF reais para região nordeste paraense.

Palavras-chave: Rede de Sensores Sem Fio. Avaliação de Desempenho. Protocolos de Roteamento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de Redes Sem Fio	14
Figura 2 – Nó Sensor	16
Figura 3 – Comunicações em RSSF	17
Figura 4 – Dados de Desmatamento no Pará	23
Figura 5 – Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil, Amazônia e Pará entre 1995 e 2015 em bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente	23
Figura 6 – Linha dos tempo com os últimos desastres ambientais mais relevantes no Pará	24
Figura 7 – Diagrama sequencial de Uma Rede de Sensor Sem Fio	28
Figura 8 – Possíveis Locais para instalação de RSSF para o Cenário Paraense	28
Figura 9 – Fluxograma metodológico	36
Figura 10 – Distribuição dos nós para os Cenários 1 e 2	38
Figura 11 – Distribuição dos nós para os Cenários 3 e 4	39
Figura 12 – Vazão Cenário com Topologia em Grade	41
Figura 13 – Atraso Cenário com Topologia em Grade	41
Figura 14 – Vazão Cenário com Topologia Aleatória	42
Figura 15 – Atraso Cenário com Topologia Aleatória	43
Figura 16 – Vazão e Atraso Cenário com Baixa Transferência de Dados	43
Figura 17 – Vazão e Atraso Cenário com Baixa Transferência de Dados	44
Figura 18 – Taxa de Pacotes Perdidos em (%) para Todos os Cenários Simulados: com os nós organizados de forma numérica	44
Figura 19 – Taxa de Pacotes Perdidos em (%) para Todos os Cenários Simulados: com nós organizados pela distância ao nó coordenador	45
Figura 20 – Média dos Atrasos em milissegundos para Todos os Cenários Simulados: com os nós organizados de forma numérica	46
Figura 21 – Média dos Atrasos em milissegundos para Todos os Cenários Simulados: com nós organizados pela distância ao nó coordenador	47
Figura 22 – Mapa de Calor com Valores Expressos das Taxas de Pacotes Perdidos em (%) para Todos os Cenários Simulados: com nós organizados pela distância ao nó coordenador	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de Requisitos Típicos em Redes de Computadores Sem fio e RSSFs	20
Tabela 2 – Distribuição Dos Recursos Pelas Componentes De Apoio Do Fundo Amazônia	25
Tabela 3 – Mecanismos de Monitoramento na Amazônia	26
Tabela 4 – Classes de Identificação da Alteração da Cobertura Florestal	27
Tabela 5 – Síntese dos Trabalhos Relacionados	32
Tabela 6 – Requisitos Definidos para Validação dos Resultados	35
Tabela 7 – Parâmetros de Configuração dos Cenários Urbanos de Alta Transferência de Dados	37
Tabela 8 – Parâmetros de Configuração dos Cenários Aquáticos de Baixa Transferência de Dados	39
Tabela 9 – Resultados Gerais de Média das Taxas de Transferências	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Visão Geral	10
1.2	Motivação	11
1.3	Justificativa	12
1.4	Objetivos	12
1.4.1	Objetivos Específicos	12
1.5	Organização do texto	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Rede de Sensores Sem Fio	14
2.1.1	Tipos de RSSF	14
2.1.2	Componentes de uma RSSF	15
2.1.2.1	Nó Sensor	15
2.1.2.2	Estação Base	16
2.1.2.3	Unidade de Comunicação	17
2.1.3	Protocolos de Roteamento	17
2.1.3.1	Proativos	18
2.1.3.2	Reativos	18
2.1.4	Padrões de Comunicação	19
2.1.4.1	IEEE 802.11	19
2.2	A diferença entre as RSSFs e as Redes Sem Fio Tradicionais	20
2.3	Levantamento do Cenário Paraense	21
2.3.1	O Estado do Pará	21
2.3.2	Situação Ambiental	22
2.3.2.1	Desmatamento	22
2.3.2.2	Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)	23
2.3.2.3	Acidentes e Desastres Ambientais	24
2.3.2.4	Mecanismos de Monitoramento Ambiental no Pará	25
2.4	Aplicações para o Contexto Paraense	27
3	TRABALHOS CORRELATOS	30
4	MODELAGEM DE SIMULAÇÃO	33
4.1	Simulação de Eventos Discretos	33
4.1.1	Modelos de Perda de Propagação	33
4.1.2	Modelo de Comunicação	34
4.1.3	Protocolos de Roteamento	34
4.1.4	Framework <i>FlowMonitor</i>	35
4.2	Metodologia	35
4.3	Descrição dos Cenários	36

4.3.1	Topologia dos Cenários 1 e 2	38
4.3.2	Cenários de Baixa Transferência de Dados	38
4.3.3	Topologia dos Cenários 3 e 4	39
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
5.1	Cenário 1 - Urbano Topologia em Grade	41
5.2	Cenário 2 - Urbano Topologia Aleatória	42
5.3	Cenário 3 - Aquático Topologia em Grade	42
5.4	Cenário 4 - Aquático Topologia Aleatória	43
5.5	Avaliação Geral de Todos os Cenários	44
6	CONCLUSÕES	48
6.1	Dificuldades	49
6.2	Trabalhos Publicados	49
	REFERÊNCIAS	50
	 APÊNDICES	 54
	APÊNDICE A – PRIMEIRO APÊNDICE	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral

Avanços recentes na fabricação de circuitos integrados tornam possível a integração de tecnologia de micro-sensores, computação de baixa potência e comunicação sem fio em um sistema compacto. As redes formadas por esses dispositivos, denominadas Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), criam oportunidades para diversas aplicações, tais como: monitoramento ambiental, monitoramento de tráfego e rodovias, agricultura de precisão, monitoramento de processos industriais, segurança pública e de ambientes em geral, transporte e controle militar (ELHOSENY; HASSANIEN, 2019).

Uma rede de sensores é uma infraestrutura composta de detecção (de medição), computação e elementos de comunicação que oferece ao administrador a capacidade de instrumentar, observar e reagir a eventos e fenômenos em um ambiente especificado. As RSSFs geralmente incluem nós sensores, capazes de coletar e transmitir dados a outros nós da rede, as quais podem ser formuladas através de auto-organização dos nós. Um grande número de nós sensores podem ser implantados aleatoriamente dentro ou perto da área a ser monitorada (BRÖRING et al., 2011).

As atividades de sensoriamento estão relacionadas com a percepção do ambiente e a coleta de dados, de acordo com o tipo das aplicações e os tipos de sensores envolvidos, estas incluem a determinação da distância do alvo, ruídos do ambiente, tipo do dado coletado, volume de informação envolvida e frequência de amostragem.

As RSSFs podem ter demandas de dados diferentes dependendo das atividades de sensoriamento e das dimensões, funcionalidades e quantidade dos nós sensores. Por exemplo, as aplicações de monitoração de tráfego podem utilizar sensores de imagem e acústicos, embutidos no mesmo nó sensor, e dependendo da quantidade de vezes que as informações são coletadas resultam em uma rede com altas taxas de transferências. Por outro lado, em uma aplicação ambiental onde os sensores coletam dados a respeito da temperatura, pressão atmosférica, quantidade de luz e umidade relativa, com uma taxa de amostragem baixa (quantidade de vezes que a coleta é realizada), resultam em uma rede com baixas taxas de transferência (LOUREIRO et al., 2003).

Algumas potenciais aplicações de rede sem fios, que possuem pequenas exigências de transferência de dados e são frequentemente medidas em alguns bits por segundo, incluem: controles e monitoramentos; automação residencial e alguns eletrônicos de consumo; detecção de segurança e militar; rastreamento de ativos e gerenciamento de cadeia de energia e/ou abastecimento; agricultura inteligente; monitorização de saúde. Essas aplicações requerem um menor consumo de energia e uma menor complexidade de ligação sem fio.

O padrão IEEE 802.15.4 é projetado para atender a uma variedade de aplicativos, especialmente em RSSFs, que especifica as camadas PHY (Camada Física) e MAC (Controle de Acesso Médio). É um dos muitos padrões para a implantação de RSSF, que é classificado em redes sem fio com baixa taxa de área pessoal (LR-WPAN) (SANTOS et al., 2016) em uma área restrita de até 100 metros como em uma casa ou prédio (KUZMINYKH; SNIHUROV; CARLSSON, 2017), podendo suportar taxas de transmissão de até 250 Kbits/s (SOUSA; LOPES, 2011). Por outro lado, não atendem as necessidades das demandadas das redes que contém nós sensores equipados com câmeras, microfones e outros detectores que produzem conteúdo multimídia para seu tráfego de dados.

Como alternativa, o padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi¹) possui vantagem como taxas de transmissão de dados de 54 Mbps (KHANDURI; RATTAN, 2013), o que o torna adequado para transmissão de conteúdo multimídia, possibilitando o suporte para aplicações com maior exigência de tráfego de dados. O mesmo emprega um mecanismo portador de acesso múltiplo com anulação/prevenção de colisão de pacotes² (CSMA-CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

Desta forma, este trabalho elabora um estudo do desempenho de diferentes protocolos existentes para o padrão IEEE 802.11 para avaliar as redes de sensores sem fio *ad hoc* de taxa de dados baixas propostas por meio de vários conjuntos de simulação, incluindo o impacto das cargas de tráfego e tamanhos de carga de dados no contexto da região paraense.

1.2 Motivação

Observando o cenário paraense, o desmatamento na região é uma questão preocupante, posto que em março de 2010 do desmatamento ocorrido em toda Amazônia Legal, 45% se deu no Pará, dentre os quais o município de Rondon do Pará ocupa o 8º lugar e Tomé-Açu o 9º lugar no ranking de municípios que mais desmataram, de acordo com relatórios divulgados pelo Imazon, (MOURA, 2017). Em setembro de 2018, o SAD (Sistema de Alerta do Desmatamento) detectou 444 quilômetros quadrados de desmatamento na Amazônia Legal, um aumento de 84% em relação a setembro de 2017, quando o desmatamento somou 241 quilômetros quadrados, sendo 19% representado pelo estado do Pará (FONSECA et al., 2018).

A região paraense possui uma extensa área costeira, nas suas regiões portuárias e áreas adjacentes dos grandes centros urbanos, os riscos de acidentes por óleos ou derivados, produtos químicos, entre outros, podem representar uma eminente ameaça ao meio ambiente, sendo de grande importância sistemas que monitorem de forma eficiente e em tempo real para prevenção e minimização de acidentes.

¹ Abreviatura de ‘Wireless Fidelity’ (Fidelidade Sem Fios) e marca registrada pertencente à Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA).

² Pacote é uma estrutura unitária de transmissão de dados ou uma sequência de dados transmitida por uma rede ou linha de comunicação que utilize a comutação de pacotes (KUROSE; ROSS, 2017).

1.3 Justificativa

O avanço no uso de RSSF é explicado pela evolução dos microprocessadores, micro sistemas eletromecânicos, materiais de sensoriamento modernos e a comunicação sem fio, o uso de tais, têm habilitado à agregação destes em um só sensor, conhecidos como sensores “inteligentes”, e seus empregos se dão nas mais diversas áreas como processos químicos, físicos, biológicos e assim por diante, liberando o homem da exposição a ambientes insalubres e danosos. O uso de um chip com vários sensores “inteligentes” com comunicação sem fio é comum e atualmente com tendência à fabricação em larga escala, assim decaindo seu custo e facilitando o desenvolvimento tecnológico destes artefatos (PINTO et al., 2012; HOLDOWSKY et al., 2015).

Conectar esses sensores utilizando outra tecnologia que não seja rede sem fio, como por exemplo, através de meios guiados, como par trançado, cabo coaxial ou fibra óptica, é uma tarefa que pode não ser viável devido ao tipo de aplicação da rede, por exemplo, monitoramento numa floresta ou oceano, ou devido à quantidade de sensores que devem ser interconectados, esta necessidade faz com que a estrutura e a logística de transporte e armazenamento prevejam o uso de vários metros de cabos que por sua vez apresentam um volume e peso consideráveis na aplicação das pesquisas, realizadas quase sempre em áreas de difícil acesso (LOUREIRO et al., 2003).

Os custos na instalação de sistema utilizando RSSF tendem a ser minimizados uma vez que estruturas como conduítes, cabos e fios não são necessários, permitindo que uma dada área possa ser facilmente monitorada por centenas de sensores (SILVA; FRUETT, 2013).

O estudo desta tecnologia por parte deste trabalho se torna imprescindível para avaliar padrões existentes de comunicação sem fio e sua potencial utilização para monitoramento ambiental devido suas características de auto-organização e dispensar de estruturas cabeadas para sua implantação, além de possibilitar o monitoramento em tempo real.

1.4 Objetivos

Realizar uma avaliação de desempenho em cenários de elevada e baixa taxa de transferência de dados para RSSF utilizando os padrões IEEE 802.11a e IEEE 802.11b, em uma proposta de estudo de caso para a região paraense.

1.4.1 Objetivos Específicos

- Propor cenários de utilização de RSSF para o contexto paraense;
- Realizar uma avaliação de desempenho em cenários de baixa e alta transferência de dados por um simulador de eventos discretos;
- Avaliar os impactos da distribuição dos sensores em topologia aleatória e organizada;

- Realizar experimentos comparativos dos mecanismos de modulação dos padrões IEEE 802.11a e IEEE 802.11b;
- Realizar experimentos comparativos dos mecanismos de entrega de pacotes reativos e proativos.

1.5 Organização do texto

- Capítulo 2: apresenta as definições sobre os conceitos relacionados às RSSFs, tipos, entidades, protocolos de comunicação e roteamento, que são essenciais para o desenvolvimento do trabalho, além de descrever aspectos e características da região paraense fazendo um levantamento de informações sobre a situação ambiental, por fim propondo locais para aplicação das RSSFs no estado do Pará.
- Capítulo 3: trata-se do levantamento bibliográfico onde são destacados os trabalhos que abordam o monitoramento ambiental através de aplicações e simulações de RSSF, servindo como embasamento para as simulações realizadas neste trabalho.
- Capítulo 4: descreve como as simulações foram construídas, o ambiente de simulação, metodologia utilizada, cenários avaliados e parâmetros utilizados em cada grupo de simulações.
- Capítulo 5: expõe os resultados obtidos através das simulações e organiza as avaliações por cenário.
- Capítulo 6: descreve as considerações finais deste trabalho, dificuldades e bem como as próximas atividades a serem realizadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Rede de Sensores Sem Fio

As rede de sensores sem fio (RSSF) são formadas por um conjunto de sensores que monitoram cooperativamente grandes ambientes físicos (DARGIE; POELLABAUER, 2010). Nós sensores são dispositivos autônomos equipados com capacidades de sensoriamento, processamento e comunicação, quando estes nós são dispostos em um modo *ad hoc* formam as RSSF. As Redes *ad hoc* são redes sem fio que dispensam o uso de um ponto de acesso comum aos dispositivos conectados a ela (Figura 1a), de modo que todos os dispositivos da rede funcionam como se fossem um roteador, encaminhando comunitariamente informações que vêm de dispositivos vizinhos (Figura 1b) (HEKMAT, 2006).

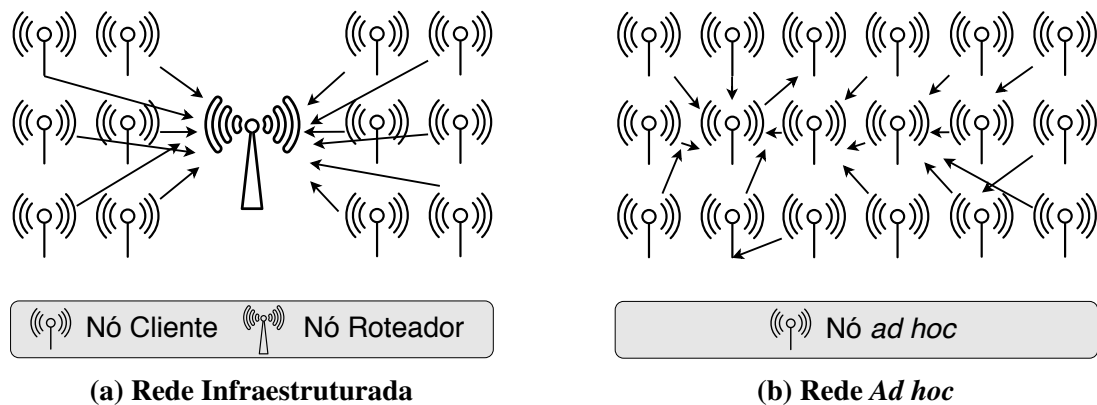


Figura 1 – Tipos de Redes Sem Fio

Fonte: O Autor

Na maioria das aplicações, a capacidade de processamento dos dispositivos é baixa para favorecer a autonomia de funcionamento. O uso de dezenas (e até centenas) destes dispositivos integrados em rede oferecem possibilidades tecnológicas realmente novas. O poder das redes reside na habilidade de agregar um grande número de pequenos sensores que se organizam e se configuram independentemente.

2.1.1 Tipos de RSSF

Os nós sensores são implantados de maneira pré-planejada em diversos ambientes para garantir a cobertura, considerando que sofrem interferências na transmissão dependendo do meio a qual a informação está sendo propagada (ex.: ar, terra, água). Os autores (RAWAT et al., 2014; ELHOSENY; HASSANIEN, 2019) apresentam os principais tipos de RSSF, descritos a seguir:

Em geral, são implantadas em ambiente terrestre, consistindo em centenas de milhares de nós sensores sem fio de baixo custo implantados em uma determinada área com capacidade de transmitir dados efetivamente de volta à estação base em um ambiente denso. Suas princi-

país aplicações são em sensoriamento ambiental e monitoramento, monitoramento industrial e explorações de superfície.

A rede do tipo subterrânea é composta por vários nós sensores enterrados no subsolo (ex.: caverna ou mina), associados a nós sensores acima do solo para a retransmissão das informações à estação base. É usada para monitorar condições subterrâneas, como monitoramento de agricultura, gerenciamento de paisagem, monitoramento subterrâneo de solo, água ou minerais, e monitoramento de fronteira militar. Apresentam maior custo em relação ao tipo terrestre em termos de equipamento, implementação e manutenção.

As redes subaquáticas consistem em um número de nós de sensores e veículos implantados debaixo d'água (ex.: oceanos). Demandam alto custo e menos nós sensores são implantados em comparação às redes subterrâneas. São aplicadas no monitoramento de poluição, vigilância e exploração submarina, prevenção e monitoramento de desastres, monitoramento sísmico, monitoramento de equipamentos e robótica subaquática.

Além disso, existem as RSSFs multimídia, que consistem em diversos nós sensores de baixo custo equipados com câmeras e microfones. Esses nós sensores se interconectam entre si para recuperação de dados, processos, correlação e compactação, para monitorar e rastrear eventos na forma de multimídia, como vídeo, áudio e imagem, de forma que aprimoram as aplicações das RSSFs comuns.

As redes do tipo móvel são constituídas por nós de sensores com capacidade de se movimentar e interagir com o ambiente físico, se reposicionar e se organizar na rede, percebendo, computando e se comunicando. Apresentam Um maior grau de cobertura e conectividade em comparação com os nós estáticos. São utilizadas no monitoramento de ambientes, vigilância militar, rastreamento de alvos, busca e salvamento.

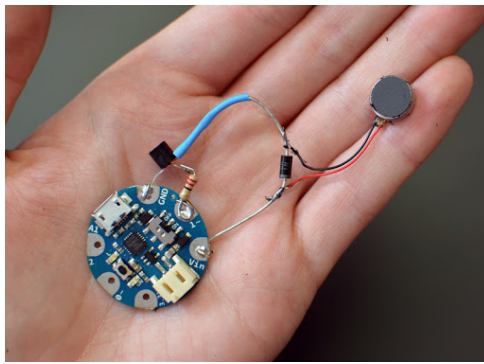
2.1.2 Componentes de uma RSSF

2.1.2.1 Nó Sensor

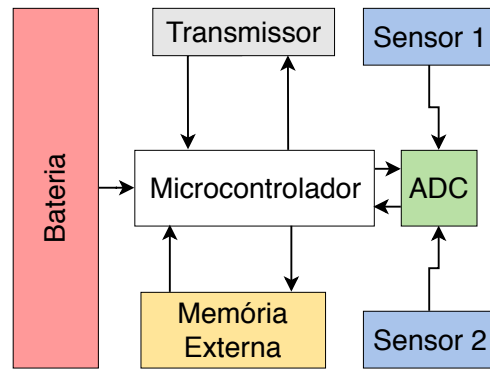
Em uma RSSF, cada nó do sensor possui recursos de detecção, processamento e comunicação de dados específicos para o ambiente que a rede será instalada. Um nó sensor é exemplificado na Figura 2a e suas entidades básicas na Figura 2b, são elas: unidade de detecção (sensores), unidade de bateria, unidade de processamento (microcontrolador) e unidade de comunicação (transmissor) e unidade de memória (memória externa).

O papel da unidade sensora é criar uma conexão entre o mundo físico e o mundo da computação, o intermediário entre os sensores e a unidade de processamento é conversor analógico-digital (ADC, *Analog-to-Digital Converter*), responsável por converter as variações físicas do ambiente em valores digitais (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

Já a unidade de memória é usada para armazenar os dados e o código da programação



(a) Exemplo de Nó Sensor



(b) Principais Componentes de um Nó Sensor

Figura 2 – Nó Sensor

Fonte: O Autor

da rede. A fim de armazenar os dados referentes aos sensores e pacotes de dados de outros nós (vizinhos), a memória flash ou a memória somente de leitura programável apagável eletricamente (EEPROM¹, *Electrically-Erasable Programmable Read-Only² Memory*) é normalmente usada. E para armazenar o código do programa, que contém as instruções dos nós sensores, é usada a memória apenas de leitura (ROM, *Read-Only Memory*).

Para computação e transmissão de dados, as unidades correspondentes no nó do sensor precisam de bateria (energia). Um nó consiste de uma unidade de energia responsável por fornecer energia a todas as outras unidades. O consumo básico de energia no nó é devido à computação e transmissão, onde a última é a atividade que mais se consome energia.

- **Nó Coordenador:** Pode ser entendido como um tipo específico de nó sensor dentro de uma RSSF, podendo ter o papel de intermediário entre uma comunicação de outros nós sensores, ou até mesmo, como um concentrador de informações. Um nó coordenador pode ter recursos diferente dos demais nós sensores da rede, como maior capacidade de bateria, alcance de comunicação e processamento de dados, motivado pelas suas funções particulares.

2.1.2.2 Estação Base

A estação base também pode ser chamada de nó central, ou nó pia (*sink node*) para o qual todos os dados de rede são direcionados (Figura 3a) (LOUREIRO et al., 2003). Normalmente, é um nó com irrestritos recursos computacionais e de energia. Pode haver uma estação base ou múltiplas estações em uma rede. Na prática, o uso de múltiplas estações base ocasiona a diminuição dos atrasos nas entregas dos pacotes. A estação base em uma rede também pode

¹ É um tipo de memória não-volátil usada em computadores e outros dispositivos eletrônicos para armazenar pequenas quantidades de dados que precisam ser salvos quando a energia é removida (TARUI; HAYASHI; NAGAI, 1972).

² Apesar de no nome se declarar *Read-Only*, esse foi classificado incorretamente, pois é tanto Read/Ler, quanto Write/Escriver (ROSSLER, 1977).

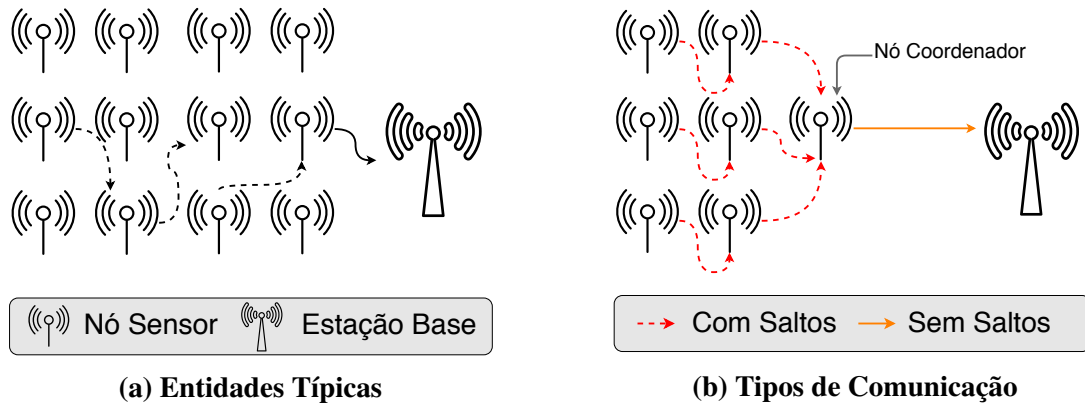


Figura 3 – Comunicações em RSSF

Fonte: O Autor

ser fixa ou móvel. As estações base móveis podem influenciar diretamente os mecanismos de entrega de pacotes por causa de sua constante mudança de posição que pode não ser clara para todos os nós em uma rede. Além da mobilidade de estações de base, há outras características, como cobertura, presença e número de nós, que podem representar desafios de roteamento para os algoritmos de entrega de pacote, que são explicados na Seção 2.1.3.

2.1.2.3 Unidade de Comunicação

Os nós sensores usam frequências de rádio para conseguir trabalhar em rede. Essa tarefa é gerenciada por unidades de rádio acopladas (Transmissor na Figura 2b) aos nós sensores que usam o espectro eletromagnético para transmitir as informações aos seus destinatários. Normalmente, cada nó sensor transfere os dados para outro nó (coordenador) ou diretamente ou via roteamento de múltiplos saltos como mostra Figura 3b.

2.1.3 Protocolos de Roteamento

Os dados coletados pelos nós sensores em uma RSSF normalmente são propagados em direção a uma estação base (*gateway*) que liga a RSSF a outras redes onde os dados podem ser visualizados, analisados e tratados. Em pequenas RSSF, onde os nós sensores estão próximos das estações bases, a comunicação direta (salto único) entre todos os nós sensores e a estação pode ser viável. No entanto, a maioria das aplicações RSSF exigem um grande número de nós sensores que cobrem grandes áreas, necessitando de uma abordagem de comunicação indireta (múltiplos saltos). Ou seja, os nós sensores devem não apenas gerar e disseminar suas próprias informações, mas também servir como retransmissores ou nós de encaminhamento para outros nós sensores (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

O processo de estabelecer caminhos de um nó sensor para um nó coordenador ou uma estação base, através de um ou mais nós sensores, é chamado de roteamento e é uma responsabilidade fundamental da camada de rede da pilha do protocolo de comunicação. Quando os nós de uma RSSF são implantados de maneira determinista (isto é, são colocados em determinados

locais predeterminados), a comunicação entre eles e a estação base pode ocorrer usando rotas predeterminadas. No entanto, quando os nós são implantados de maneira aleatória (ou seja, eles são espalhados em um ambiente aleatoriamente), as topologias resultantes são imprevisíveis e não uniformes. Nesse caso, é essencial que esses nós se auto-organizem, ou seja, eles devem cooperar para determinar suas posições, identificar seus vizinhos e descobrir caminhos para o dispositivo final (nó coordenador ou estação base) (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

Diferentes protocolos de roteamento são projetados para preencher as deficiências de restrição de recurso das RSSFs. A RSSF implantada pode ser diferenciada de acordo com a estrutura da rede ou das operações pretendidas. Portanto, protocolos de roteamento para RSSF precisam ser categorizados de acordo com a natureza da operação da RSSF e sua arquitetura de rede. Os protocolos de roteamento de RSSF podem ser subdivididos em duas grandes categorias, protocolos de roteamento baseados em arquitetura de rede, ou seja, modelos planos e de *clustering* (agrupamento); e protocolos de roteamento baseados em operação, ou seja, modelos proativos e reativos (ELHOSENY; HASSANIEN, 2019). Aqui, os protocolos de roteamento baseados em operação são discutidos, pois são os modelos mais populares na maioria dos aplicativos.

2.1.3.1 Proativos

Os protocolos de roteamento proativos (ou baseados em tabela) estabelecem caminhos antes que sejam realmente necessários. Cada nó mantém as informações de roteamento para todos os outros nós nas tabelas de roteamento, que são atualizadas periodicamente. Assim, todos os caminhos são salvos por cada nó em direção a todos os destinos, mesmo que não sejam necessários. Essa estratégia produz continuamente tráfego de controle, que deve ser minimizado para RSSF, uma vez que essas redes geralmente têm conexões de baixa largura de banda e nós com limitação de energia (BITAM; MELLOUK, 2014; CAMPISTA; RUBINSTEIN, 2014).

A principal vantagem dessa abordagem é que as rotas estão disponíveis sempre que são necessárias, porque os nós mantêm proativamente rotas para outros nós e não há atrasos para procurar rotas, como em protocolos de roteamento sob demanda (DARGIE; POELLABAUER, 2010; CAMPISTA; RUBINSTEIN, 2014). As principais desvantagens são os custos indiretos envolvidos na criação e manutenção de tabelas de roteamento potencialmente muito grandes e que as informações obsoletas nessas tabelas podem levar a erros de roteamento (DARGIE; POELLABAUER, 2010).

Nesta categoria, protocolos de roteamento de vetor de distância sequenciados por destino (DSDV) e roteamento de estado de enlace otimizado (OLSR) podem ser citados.

2.1.3.2 Reativos

Em comparação com protocolos proativos, os protocolos reativos diferem nos procedimentos de descoberta de rota e manutenção de rota de roteamento. Os protocolos reativos (próximo salto ou roteamento de origem) não descobrem e mantêm rotas até que sejam explicita-

mente solicitados e usados, ou seja sob demanda. Um nó de origem, conhecendo a identidade ou o endereço do nó de destino, inicia um processo de descoberta de rota dentro da rede, que é concluído quando pelo menos uma rota é encontrada ou quando todas as rotas possíveis foram examinadas. Uma rota é então mantida até que ela quebre ou não seja mais necessária para o nó fonte (DARGIE; POELLABAUER, 2010; CAMPISTA; RUBINSTEIN, 2014; BITAM; MELLOUK, 2014).

Nesta categoria, pode ser citado o protocolo de roteamento por vetor de distância *ad hoc* sob demanda (AODV).

2.1.4 Padrões de Comunicação

Um dos elementos cruciais para a concretização das RSSFs se encontra na padronização das tecnologias de comunicação. No mercado, inúmeros padrões foram desenvolvidos com base nos requisitos de operação e aplicabilidade das RSSFs, como é o caso do padrão IEEE 802.15.4, criado para dispositivos de baixa potência com baixíssima taxa de transmissão. O padrão IEEE 802.11 possui diversas características que atendem as necessidades de RSSFs que tenham alta demanda de taxas de dados as quais são abordadas neste trabalho.

2.1.4.1 IEEE 802.11

As WLANs (*Wireless Local Area Networks*) se tornaram uma parte integrante do mundo moderno, uma vez que fornecem uma flexibilidade e plataforma econômica para comunicação de curto e médio alcance. O padrão IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 é uma tecnologia predominante em redes sem fio, conhecida também pelo nome de Wi-Fi, desenvolvida na década de 1990 (KUROSE; ROSS, 2017), inclui uma família de padrões para sistemas sem fio que operam em várias bandas de frequência.

Essas redes utilizam um bloco de construção básico ao qual o padrão 802.11 se refere como um BSS (*Basic Service Set*), fornecendo uma área de cobertura na qual as estações do BSS permanecem totalmente conectadas. Uma estação está livre para se mover dentro do BSS, mas não pode mais se comunicar diretamente com outras estações se deixar o BSS.

As redes sem fio IEEE 802.11 operam em dois modos: infraestruturado e sem infraestrutura (*ad hoc*). No modo infraestruturado, BSS se refere a um bloco de construção básico, onde uma ou mais estações (nós clientes) se conectam a um ponto de acesso (*Access Point*), após o estabelecimento desta conexão, todas as trocas de mensagem são gerenciadas pelo ponto de acesso (GAWAS; TAMBI, 2017). No modo *ad hoc* não há necessidade de uma infraestrutura central, pois os nós atuam como retransmissores.

A transferência de informações baseadas em dispositivos com transmissores *wireless* de padrão 802.11 (a, b, g, n, ac, etc) são indispensáveis atualmente. Estas redes ocuparam com confiança o nicho das redes de WLAN e continuam se desenvolvendo na direção de expandir

sua presença na moderna infraestrutura de telecomunicações e buscam melhorar as normas em termos de competitividade, principalmente os mecanismos para aumentar a taxa de dados (URYVSKY; MOSHYNSKA; OSYPCHUK, 2017).

O IEEE 802.11 é frequentemente usado em RSSF quando as demandas de largura de banda são altas (por exemplo, para sensores de multimídia), duas versões do padrão são destacados para as avaliações neste trabalho, são elas:

- IEEE 802.11a: Operando com taxas de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps na frequência de 5GHz, certificado no ano de 1999;
- IEEE 802.11b: Operando com taxas de 5,5 e 11 Mbps na frequência de 2,4 GHz certificado no ano 1999.

2.2 A diferença entre as RSSFs e as Redes Sem Fio Tradicionais

As RSSFs e as redes sem fio tradicionais diferem em diversos aspectos como: em aplicações, limitações de hardware, software e suporte de mobilidade. De fato, a RSSF é caracterizada por sua forte interação com seu ambiente. Por esse motivo, ela pode ser usada em um grande número de aplicações, como monitoramento de ambiente e transporte. Por outro lado, as restrições das RSSFs são mais fortes do que das redes sem fio tradicionais. Essas restrições incluem limitações de hardware e software, como capacidade de processamento, tamanho de memória e consumo de energia. A restrição de energia representa o grande desafio na aplicação de RSSF, enquanto que as redes tradicionais não são afetadas por esse fator. Isso porque, geralmente, o sensor é implantado em ambiente hostil (ELHOSENY; HASSANIEN, 2019).

Tabela 1 – Comparação de Requisitos Típicos em Redes de Computadores Sem fio e RSSFs

Requisitos	Rede Tradicional	RSSF
Restrições de recursos	Baixa	Muito alta (1-2 MIPS, 32-128 kB)
Adaptabilidade	Estática	Ambiente Dinâmico
Escalabilidade	Moderada (10 nós)	Alta (10000 nós)
Latência	Alta (250 ms – 1 s)	Muito baixa (1 s – 1 hora)
Taxa de dados	Muito alta (MB/s)	Baixa-Moderada (bits/s – kbits/s)

Fonte: (SUHONEN et al., 2012)

A Qualidade de Serviço (QoS, *Quality of Service*) é o termo comumente dado em telecomunicações e rede de computadores para um conjunto de parâmetros de qualidade que um serviço de comunicação deve atender, é comumente expressa e gerenciada por taxa de dados,

latência³, *jitter* (variações dos atrasos) e confiabilidade. Esses parâmetros de QoS também se aplicam às RSSFs, mas sua importância difere das redes herdadas (redes *ad hoc*).

Os requisitos de RSSFs em comparação com as redes tradicionais de computadores sem fio, por exemplo, IEEE 802.11 *Wireless LAN* (WLAN), estão resumidos na Tabela 1. Algumas aplicações de detecção podem tolerar alta latência e baixo rendimento, mas a confiabilidade é particularmente significativa. Nas redes de computadores tradicionais, os dados são encaminhados através de ligações com fios altamente confiáveis (fibra ótica), enquanto apenas as ligações finais podem ser sem fios (conexões celulares ou WLAN). Nas RSSFs, os pacotes são encaminhados por meio de vários saltos sem fio, em cada transferência, se pode ter taxas de erro de pacote (PER, *Packet Error Rates*) de 10% a 30%, o que são comuns, e diminuem significativamente a confiabilidade de ponta a ponta (SUHONEN et al., 2012).

As restrições de hardware são uma das principais características das RSSFs, geralmente é dada pela quantidade de instruções que o nó sensor pode executar por segundo, normalmente demonstrada em MIPS⁴. A capacidade de memória também é restrita, de 32 à 128 kB (Tabela 1). Por conseguinte, a taxa de dados é proporcional a quantidade de memória e a periodicidade que os nós sensores coletam e transmitem os dados, frequentemente expressa em bits por segundo.

2.3 Levantamento do Cenário Paraense

2.3.1 O Estado do Pará

Pertencente à Região Norte, o Pará é uma das 27 unidades federativas do Brasil, sendo a segunda maior destas em território, com uma área de 1.247.954,666 km², pouco menor que o Peru e também a 13^a maior entidade subnacional do mundo. Se fosse um país, seria o 22^o do mundo em área. É maior que a área da Região Sudeste brasileira, com seus quatro estados, e um pouco menor que o estado norte-americano do Alasca. É dividido em 144 municípios, que possuem área média de 8.664,50 km². O maior deles é Altamira com 159.696 km², o quinto município mais extenso do mundo, e o menor é Marituba, com 103,279 km² (FREITAS, 2016).

- **Clima:** O do estado do Pará é equatorial, com médias térmicas anuais entre 24 e 26 ° C, além de alto índice pluviométrico, que chega a alcançar 2.000 mm nas proximidades do rio Amazonas. A quase totalidade de sua área se encontra na floresta Amazônica, exceto nas partes onde existem formações de campos - região do baixo rio Trombetas e Arquipélago do Marajó.

³ É o sinônimo de atraso, é uma expressão de quanto tempo leva para um pacote de dados ir de um ponto designado para o outro ponto da rede (KUROSE; ROSS, 2017).

⁴ Acrônimo de *Millions of Instructions Per Second*, que significa milhões de instruções por segundo, é uma medida de desempenho de processadores em computação.

- **Vegetação:** O território paraense apresenta basicamente mangues, campos, cerrados e floresta Amazônica, a última predomina no estado. A variedade vegetativa é muito grande, nesse caso as composições principais de cobertura vegetal dão origem a cinco tipos específicos de vegetação, como Mata de terra firme (não sofre inundações), Mata de várzea (margens de rios que sofrem inundações), Mangue (porção litorânea do Estado), Campos e Cerrados.
- **Hidrografia:** A bacia hidrográfica do estado abrange área de 1.253.164 km², sendo 1.049.903 km² pertencentes à bacia Amazônica e 169.003 km² pertencentes à bacia do Tocantins. A extensa rede hidrográfica paraense, dimensionada por aproximadamente 20.512 km² das águas internas, integra um quarto da rede hidrográfica da Bacia Amazônica, com rios navegáveis cortando praticamente todo o seu território (FREITAS, 2016).

Após uma redução no ritmo de destruição das florestas amazônicas desde 2004 (27,8 mil km² desmatados) até 2012 (4,6 mil km²), o desmatamento voltou a subir em 2016, atingindo 8 mil km² na Amazônia como um todo; dos quais cerca de 3 mil km² somente no Estado do Pará (INPE, 2016) como mostra a Figura 4a. Estimativas divulgadas pelo PRODES⁵ mostram as taxas preliminares de desmatamento na Amazônia Legal de agosto de 2017 a julho de 2018, onde o Pará teve 2,8 mil km² desmatados (PRODES, 2018) o que torna visível a pouquíssima redução a anos anteriores.

2.3.2 Situação Ambiental

2.3.2.1 Desmatamento

Os dez municípios mais críticos do desmatamento em 2016 contribuíram com dois terços do total desmatado no Pará (INPE, 2016). Entre os municípios que mais desmataram em 2016 (Figura 4b), incluem-se Altamira, município onde a usina hidrelétrica de Belo Monte foi construída, São Félix do Xingu, com o maior rebanho bovino do Brasil, e Novo Repartimento, área de influência da usina hidrelétrica de Tucuruí.

Alguns desses municípios, ao longo dos anos, têm sido aqueles que mais sofreram desmatamento no Pará. Até 2016, São Félix do Xingu era o município com o maior desmatamento acumulado do Estado, seguido por Paragominas, Marabá, Altamira e Novo Repartimento. Juntos, eles representam cerca de 20% de toda a área desmatada ao longo da história no Pará até 2016 (INPE, 2016).

Em setembro de 2018, o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD) detectou 444 quilômetros quadrados de desmatamento na Amazônia Legal, um aumento de 84% em relação a setembro de 2017, quando o desmatamento somou 241 quilômetros quadrados. Em setembro de

⁵ Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite - <www.obt.inpe.br/prodes/dashboard/prodes-rates.html>.

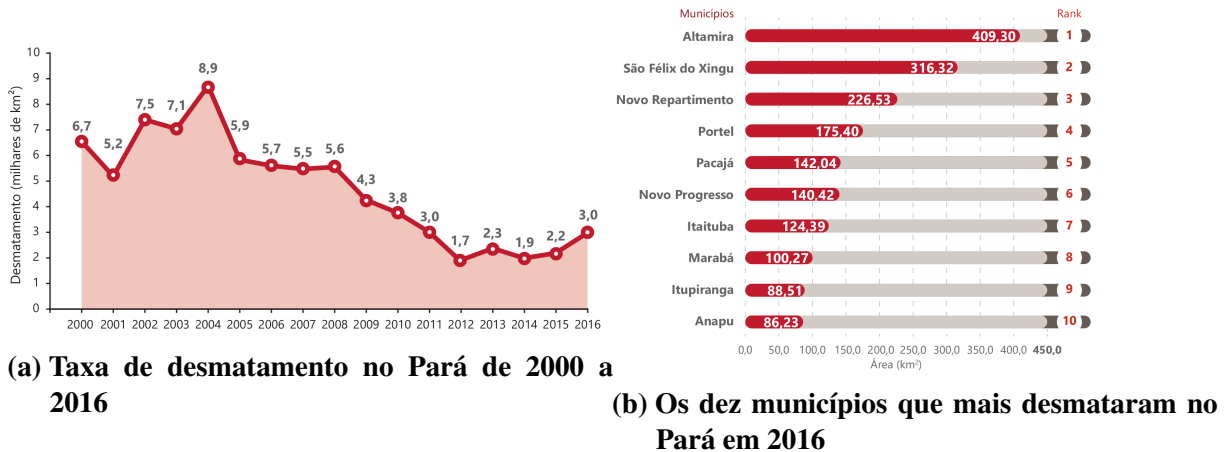


Figura 4 – Dados de Desmatamento no Pará
 Fonte: (MOURA, 2017)

2018, o desmatamento ocorreu no Amazonas (24%), Mato Grosso (23%), Rondônia (20%), Pará (19%), Acre (11%), Roraima (2%) e Amapá (1%) (FONSECA et al., 2018).

2.3.2.2 Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)

Aproximadamente a metade do total emitido de GEE no setor Mudança de Uso da Terra e Florestas (MUT) entre 1990 e 2016 ocorreu em dois Estados: Mato Grosso (26%) e Pará (22%) (SEEG, 2016b). Boa parte do desmatamento recente em ambos está associada às atividades agropecuárias e à especulação fundiária, sobretudo no Pará. Outro fator que influencia essa alta concentração de emissões é a perda da floresta em uma região com alto estoque de biomassa, como é o caso do bioma Amazônia. O Pará foi o Estado que mais emitiu gases de efeito estufa no setor MUT no país em 2016, principalmente devido ao desmatamento da floresta amazônica: 20% do total. Em seguida vem Mato Grosso e Bahia, com 13% das emissões do setor cada um (SEEG, 2018).

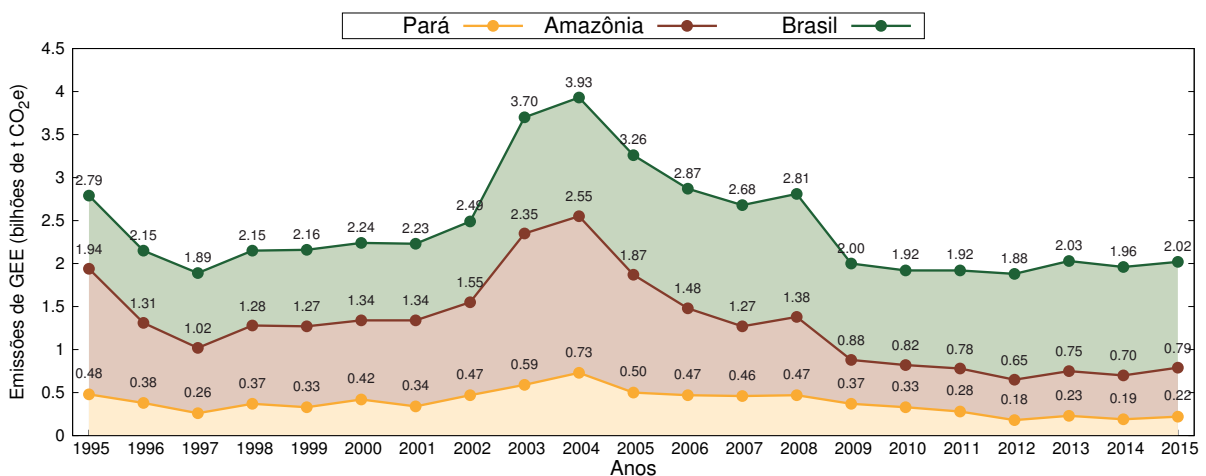


Figura 5 – Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil, Amazônia e Pará entre 1995 e 2015 em bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
 Adaptado de: (MOURA, 2017)

No ano de 2015, as emissões paraenses representaram 11% das emissões brasileiras como mostra a Figura 5, sendo a segunda unidade da federação com maior emissão de GEE, atrás apenas do Estado de Mato Grosso (SEEG; OFC, 2016). Por fim, a agropecuária praticada no Pará emitiu mais de 1 milhão de toneladas de metano (CH₄), o equivalente a 35,7 MtCO₂e (milhões de toneladas)⁶, ou 17% de todas as emissões de GEE do Estado em 2015 (SEEG, 2016).

O desmatamento é a principal fonte de emissão do setor MUT, com aumento expressivo em 2016. Somente o bioma Amazônia, que teve naquele ano a maior taxa de desmatamento registrada desde 2008 (8.000 km²), contribuiu com 52% (602 milhões de tCO₂e) das emissões do setor em 2016, com aumento de 27% em relação a 2015 (SEEG, 2018).

2.3.2.3 Acidentes e Desastres Ambientais

A Figura 6 organiza de forma cronológica notícias a respeito dos desastres e acidentes ambientais ocorridos no Pará nos últimos 10 anos, dentre eles, estão os rotineiros casos de desmatamento ilegal, fechamento de serrarias e minas de carvão (MMA, 2009), além de casos de queimadas (G1, 2015c), todos esses atos aconteceram em âmbito florestal.



Figura 6 – Linha dos tempo com os últimos desastres ambientais mais relevantes no Pará

Fonte: (LADES, 2018)

Crimes florestais não são os únicos desastres ambientais do Pará, o estado é marcado por inúmeros casos de acidentes ocorridos nos rios e afluentes na região, um desses casos ocorreu em outubro de 2015 em Barcarena, devido uma tragédia ambiental causada pelo naufrágio de

⁶ Utilizado o fator de conversão de equivalência em Carbono GWP (*Carbono Global Warming Potential*) com base no quinto relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) AR5, no qual cada molécula de CH₄ equivale a 28 moléculas de dióxido de carbono (CO₂) (MOURA, 2017).

um navio que transportava 5 mil bois. O óleo da embarcação e corpos dos animais mortos se espalharam por praias do município, após o rompimento da barreira de contenção dos resíduos do acidente (G1, 2015a). No distrito de Vila do Conde, com 8 mil moradores, os comerciantes da beira da praia fecharam as portas e os pescadores se recolheram. Em entrevista ao (G1, 2015a), moradores afirmaram que não haviam condições de trabalho com as praias interditadas e que as nódoas de óleo manchavam as águas e a areia por mais de três quilômetros.

Cerca de 3 meses após o ocorrido a Defensoria Pública do Pará informou, que iria entrar com uma ação civil pública contra as empresas responsáveis pelo desastre ambiental no Porto de Vila do Conde, em Barcarena. Segundo o defensor público Bernardo Moraes, cerca de 260 mil pessoas acabaram sendo afetadas pelo acidente (G1, 2015b). O defensor cobrou mais agilidade das autoridades responsáveis pela limpeza da área atingida.

Outro caso envolvendo os rios da região foi o vazamento de rejeitos da Hydro Alunorte nos rios em Barcarena em 2018, onde o pesquisador do Instituto Evandro Chagas (IEC), divulgou um laudo do resultado da coleta de amostragens de águas e efluentes que fez no igarapé Bom Futuro (BARBOSA, 2018), confirmando que houve o vazamento de rejeitos da barragem da empresa. As amostras analisadas tinham níveis de chumbo, sódio, nitrato e alumínio, sendo que este último estava 25% acima do permitido para a saúde humana.

2.3.2.4 Mecanismos de Monitoramento Ambiental no Pará

Avanços significativos no combate ao desmatamento foram obtidos em 2004 até 2012, quando este atingiu seu menor patamar na história recente graças à adoção de políticas públicas⁷. O PPCDAm tem como objetivos reduzir de forma contínua e consistente o desmatamento e criar as condições para se estabelecer um modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia Legal, os investimentos para esse plano chegam a R\$ 1,2 bilhões como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição Dos Recursos Pelas Componentes De Apoio Do Fundo Amazônia

Linha de investimento	Verba	Porcentagem	
Produção Sustentável	R\$ 295.940.290,93	24%	Fonte:
Monitoramento e Controle	R\$ 594.438.847,01	48%	
Ordenamento Territorial	R\$ 153.372.183,93	13%	
Desenvolvimento Científico e Tecnológico	R\$ 191.133.544,46	15%	

(MMA, 2016)

Para o monitoramento e controle das áreas protegida é destinado cerca de R\$ 594 milhões (Tabela 2), os quais se dividem em distintos planos de ação como fiscalização, controle e vigilância, além disso, parte do investimento é utilizado para manter programas e mecanismos de monitoramento (Tabela 3).

⁷ Como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) criado em 2004 para reduzir o desmatamento de forma contínua e consistente (MMA, 2016).

Atualmente, o monitoramento da degradação florestal é realizado pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), por meio do SAD (MOURA, 2017). O Instituto desenvolveu o sistema que opera desde 2007 monitorando mensalmente o desmate em toda a Amazônia brasileira. O objetivo geral do programa é detectar, quantificar e monitorar, por meio de imagens de satélite, o desmatamento, a degradação florestal, a exploração madeireira, as estradas não oficiais e outras formas de pressão humana na Amazônia Legal (IMAZON, 2018).

Os resultados do monitoramento são combinados com diversos mapas digitais, por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para a qualificação dos problemas ambientais e planejamento regional. O programa também desenvolve propostas para políticas públicas e capacitação em geotecnologias e dissemina estrategicamente os seus resultados, contribuindo para a redução do desmatamento e degradação florestal (IMAZON, 2018).

Tabela 3 – Mecanismos de Monitoramento na Amazônia

Programa	Atividade	Dados	Relatório
SAD	Detectar, quantificar e monitorar o desmatamento e a degradação florestal	Satélite	Mensais
PRODES	Fornecer informações detalhadas sobre a dinâmica do desmatamento	Satélite	Anuais
DETEX	Deteção da exploração seletiva de madeira	Satélite	Mensais
DEGRAD	Mapear áreas em processo de desmatamento onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida	Satélite	Mensais
DETER-A	Levantamento rápido de evidências de alteração da cobertura florestal	Satélite	Diários
DETER-B	Levantamento rápido de evidências de alteração da cobertura florestal com precisão para áreas menores do que 25 hectares	Satélite	Diários

Fonte: (MMA, 2016; INPE, 2016; IMAZON, 2018; FONSECA et al., 2018)

O INPE desenvolveu quatro sistemas de monitoramento da Amazônia, cada um deles com uma função diferente. PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Utiliza imagens do satélite americano Landsat. Produz, desde 1988, estimativas anuais das taxas de desflorestamento da Amazônia Legal, divididas por Estado (Acre, Amapá, Amazonas, Goiás, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins). DETER A e B - Deteção de Desmatamento em Tempo Real. Consiste em um levantamento rápido feito mensalmente pelo INPE desde maio de 2004, com dados dos satélites Terra e Aqua, americanos, e CBERS, sinobrasileiro. Tem como função enviar alertas de focos de desmatamento, para dar suporte aos órgãos de fiscalização e controle. DEGRAD – Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira. Mapeia áreas em processo de desmatamento onde a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida. DETEX – Deteção de Exploração Seletiva. Vigia áreas de manejo florestal, apontando se a exploração seletiva de madeira está de acordo com o que foi autorizado pelos órgãos ambientais.

Através da Tabela 3 é possível perceber que os principais mecanismos de monitoramento

ambiental na Amazônia utilizam como técnica ou fonte de dados, o processamento de imagens por satélite, técnica essa que se tem mostrado eficiente, permitindo a geração de relatórios e estatísticas precisas sobre o desmatamento e degradação florestal, a exemplo, DETER-B que é o principal mecanismo de monitoramento, e em um período de 1 ano gerou cerca de 38 mil alertas⁸, que são categorizados conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Classes de Identificação da Alteração da Cobertura Florestal

Nível 1	Nível 2
Desmatamento (Alertas)	Desmatamento com solo exposto
	Desmatamento com vegetação
Degradação	Mineração
	Degradação
	Cicatriz de incêndio florestal
Exploração madeireira	Corte Seletivo Tipo 1 (Desordenado)
	Corte Seletivo Tipo 2 (Geométrico)

Fonte: (INPE, 2018)

Porém, apesar dos relatórios diários, os dados analisados tem como base imagens com 5 dias de resolução temporal (DINIZ et al., 2015), assim, sendo categorizado como um sistema de quase tempo real. A frequência de observação desempenha um papel fundamental na avaliação da dinâmica de degradação e na detecção rápida de perturbações. A alta frequência de observação é crítica para sistemas quase em tempo real, já que a frequência de observação é importante para a detecção confiável de registros seletivos e outros eventos que podem se manifestar apenas efêmera em imagens de satélite (DINIZ et al., 2015).

Porém, apesar dos relatórios diários, os dados analisados têm como base imagens com 5 dias de resolução temporal (DINIZ et al., 2015), assim, sendo categorizado como um sistema de quase tempo real. A alta frequência de observação é crítica para esse sistemas, já que é de fundamental importância para a avaliação da dinâmica de degradação e na detecção rápida de perturbações, detecção confiável de registros seletivos e outros eventos que podem se manifestar apenas de forma efêmera em imagens de satélite (DINIZ et al., 2015).

2.4 Aplicações para o Contexto Paraense

A Figura 7 propõe um diagrama de uma aplicação RSSF, nela são identificadas os principais elementos para o cenário, sendo: (1) o ambiente a ser monitorado, o qual refere-se ao local onde a RSSF será instalada (2) A rede de sensores em si (3) A estação base ou nó concentrador responsável por reunir e retransmitir as informações dos nós sensores para o servidor (4) O servidor responsável por armazenar e processar as informações advindas da RSSF (5) Plataforma de visualização dos dados monitorados que poderá gerar relatórios ou alertas (6) Entidades e autoridades competentes a serem acionadas caso haja uma ocorrência.

⁸ Detecção de Desmatamento em Tempo Real - <<http://terrabrazilis.info/dashboard/DETER-B>>.

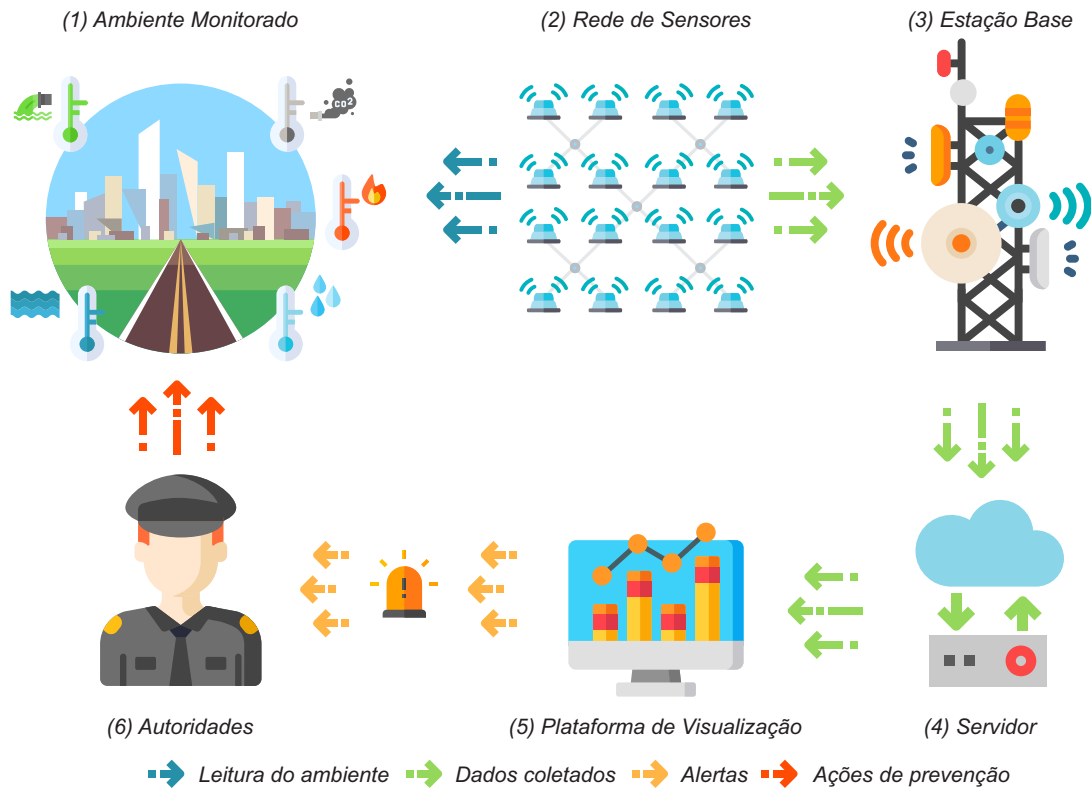


Figura 7 – Diagrama sequencial de Uma Rede de Sensor Sem Fio

Fonte: O Autor

Dito isto, a Figura 8 lista possíveis locais para aplicação de monitoramento utilizando RSSF levando em conta algumas características da região paraense:

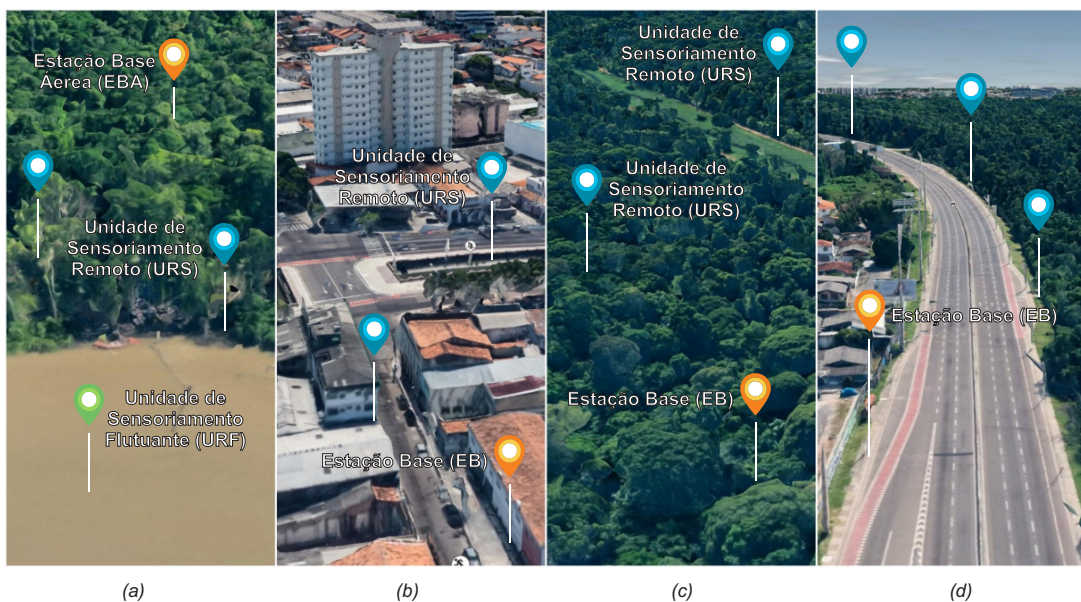


Figura 8 – Possíveis Locais para instalação de RSSF para o Cenário Paraense

Fonte: O Autor

- Próximo a rios ou igarapés: A mata ciliar é de extrema importância para evitar o assoreamento e a conseqüente morte dos rios e igarapés. O monitoramento destes locais permite

identificar a ocorrência de incêndios, evitando-se o assoreamento.

- Lugares urbanos: É preciso identificar o nível de poluição atmosférica dentro das cidades principalmente para verificar possíveis riscos à saúde das pessoas. Com a expansão horizontal das cidades, as pessoas ficam cada vez mais próximas a indústrias que têm alta liberação de poluentes. Além disso, o crescente aumento do número de veículos prejudica ainda mais a qualidade do ar.
- Monitoramento de Florestas: A vegetação também sofre com os impactos da poluição atmosférica: é preciso que o ar esteja adequado para o ecossistema ficar equilibrado. As medições nesses locais não precisam ser tão frequentes, a não ser que haja incêndio (o sistema poderá transmitir um sinal de alerta). Se não houver nenhum incêndio, as medições podem ocorrer duas ou três vezes ao dia, aumentando a vida útil da bateria na USR (Unidade de Sensoriamento Remoto).
- Beira de estrada: As estradas e rodovias tem intenso tráfego de veículos, o que aumenta a poluição atmosférica por causa da alta liberação de partículas como monóxido de carbono. A vegetação na beira das estradas também está propícia a incêndios por causa do lixo jogado para fora dos veículos, como as bitucas de cigarro, por exemplo. Nesse caso, é possível saber a ocorrência de incêndio rapidamente, através do sensor que quando detectar a presença de partículas de fumaça acima do limite, poderá enviar um sinal de alerta automaticamente.

3 TRABALHOS CORRELATOS

Em (GROSS, 2014) é relatado o trabalho do pesquisador Topher White¹ onde ele reutiliza *smartphones* descartados combinados com painéis solares para o combate do desmatamento em florestas. Os dispositivos foram ocultados no alto de uma árvore registrando todo o som e os transmitindo para um servidor em nuvem onde foi usado o *TensorFlow*² para analisar todos os dados auditivos em tempo real, ouvir motosserras, registrar caminhões e outros sons de atividades ilegais que possam ajudar a identificar problemas na floresta.

Em um estudo piloto conduzido em Sumatra, puderam mostrar que os dispositivos podem captar ruídos de motosserra a mais de 800 metros de distância. Assim, um único dispositivo pode proteger uma área de dois a três quilômetros quadrados, com muitos milhares de árvores. O pesquisador mantém um programa³ onde estudantes vão conversar com os moradores da comunidade Tembé pelo Google Hangouts e desenvolver⁴ seus próprios dispositivos “guardiões” para serem enviados para a Amazônia. Espera-se que esses dispositivos protejam quase 100.000 acres até o ano 2020.

No trabalho (SEABRA, 2017) foi apresentado um método para detecção de sons de motosserras, com o objetivo de auxiliar no combate de extração ilegal de madeira nas florestas tropicais. Na abordagem foi utilizado um método de classificação de uma classe para detectar apenas o som de interesse e rejeitar todos os demais, sejam estes naturais ou artificiais, tais como: chuva, vento, diversas vocalizações de animais, fala humana, e motores de barcos. Os resultados mostraram que o método é capaz de detectar o som de uma motosserra, demonstrando viabilidade para embarcar o método em um nó sensor e assim, instala-lo em áreas de preservação ambiental em risco, podendo-se prever extração ilegal e desmatamento não permitido na floresta amazônica.

Em (MA et al., 2018) uma RSSF foi projetada para o monitoramento da qualidade da água, através de múltiplos sensores que foram embutidos em navios não tripulados e microestações, que foram implantados na água e em áreas distantes. Um algoritmo utilizando função de base radial e entropia (RBFN) foi proposto para identificação de fatores de poluição entre carbono orgânico total (TOC), nitrato de nitrogênio, turbidez, oxigênio dissolvido (DO), condutividade, potencial de hidrogênio (pH), e outro algoritmo que utilizava otimização de enxame de partículas melhorada (PSO) foi proposto para a localização da fonte de poluição nas áreas de risco.

Os resultados de simulações e experimentos foram obtidos através de 18 navios não

¹ Fundador e CEO da *Rainforest Connection* - <www.rfcx.org>

² Plataforma de aprendizado de máquina do Google - <www.tensorflow.org>

³ “Guardiões do Planeta”, com participação de estudantes de programas de Ciências, Tecnologia, Engenharia e Matemática de Los Angeles

⁴ *Ouvir as florestas tropicais pode ser a solução para o desmatamento?* - <www.google.com/about/stories/rainforest>

tripulados e 12 micro estações implantadas na área de detecção, com 3000 m de comprimento e 3000 m de largura. As microestações foram instaladas regularmente no limite da área de detecção para monitoramento de qualidade de água a longo prazo, enquanto as embarcações não tripuladas foram colocadas aleatoriamente na água para detectar as fontes de poluição. Através da medição multifatorial que é uma técnica de combinação e correlação dos dados mensurados no mesmo período de tempo, a partir dessas leituras, o algoritmo RBFN conseguiu identificar o fator de poluição e o algoritmo PSO foi utilizado para deslocar as embarcações afim de saber a localização da fonte de poluição.

As simulações e experimentos realizados demonstraram que a precisão com a medição multifatorial é melhorada, o fator de poluição é identificado eficientemente, a fonte poluidora da água é identificada e localizada eficientemente com o método proposto e o consumo de energia é reduzido durante a busca. Além disso, como o método proposto é escalonável, mais sensores de qualidade da água e mais cenários de aplicação devem ser discutidos em pesquisas futuras.

Em (CRUZ et al., 2018) foi proposto uma solução para o monitoramento de gases poluentes na Amazônia Legal utilizando Internet das Coisas, os autores descreveram uma arquitetura combinado sensores de gases CO e CO² com módulo⁵ de transmissão sem fio, além disso, também foi desenvolvido o software para monitorar os índices de gases poluentes e armazenar as informações coletadas em um servidor, para que os relatórios gerados a partir do histórico de índices possam ser utilizados em estudos posteriores.

Para avaliar o desempenho do sistema de monitoramento da qualidade do ar utilizando RSSF's, foram realizados três testes práticos utilizando protótipo. O primeiro teste ocorreu às 12 horas em uma temperatura ambiente de 30° C no centro da cidade de Castanhal no Pará. Posteriormente, foi realizado o segundo teste às 14 horas, com temperatura ambiente de 31° C em ambiente simulado, a partir da combustão de papel próximo ao sensor, em local aberto. No último teste se verificou a concentração de CO₂ em local com grande tráfego de carros, às 11 horas. A temperatura era 29° C e a medição ocorreu na BR 316 que corta o município.

A partir dos testes, foi possível validar a capacidade e sensibilidade do equipamento quanto ao monitoramento de CO₂ e seu comportamento frente às distintas situações. Assim, com os resultados obtidos foi possível concluir que a utilização de tecnologias acessíveis e de baixo custo proporcionou a realização do monitoramento em tempo real dos gases. A pesquisa traz uma solução importante e aplicável no monitoramento da poluição do ar quanto a concentração de CO₂ na região amazônica.

⁵ NodeMCU ESP8266 - WiFi 802.11 b/g/n

Tabela 5 – Síntese dos Trabalhos Relacionados

Artigo	Aplicação	Tecnologia de Transmissão	Tipo de Dado	Taxa de Transferência
(GROSS, 2014)	Detecção de Motosserras, Caminhões e Sons de Atividade Ilegal	Não especificado	Amostras de Áudio	Alta
(SEABRA, 2017)	Detecção de Motosserras	Não especificado	Amostras de Áudio	Alta
(MA et al., 2018)	Monitoramento da Qualidade da Água	Não especificado	Amostras de pH	Baixa
(CRUZ et al., 2018)	Monitoramento de Gases Poluentes	WiFi 802.11b/g/n	Concentração de Gás (ppm)	Baixa

4 MODELAGEM DE SIMULAÇÃO

4.1 Simulação de Eventos Discretos

Simulação de eventos discretos é uma técnica baseada no desenvolvimento de modelos, isto é, abstrações da realidade, que capturam aspectos essenciais do objeto em estudo. Em geral, os modelos são especificados através de linguagens de programação de propósito geral, com bibliotecas para geração de números aleatórios que serão utilizadas para o escalonamento de eventos, ou linguagens específicas. O simuladores como NS-3¹ se torna uma potencial ferramenta para ser utilizada por parte desse projeto.

4.1.1 Modelos de Perda de Propagação

Modelos de propagação e perda de sinal são muito utilizados em simulações de comunicações sem fio com intuito de aproximar as simulações a um cenário realístico, eles modelam as possíveis perdas do sinal durante a comunicação. Em (STOFFERS; RILEY, 2012) os autores propõem que uma parte importante de qualquer simulação de rede sem fio é a escolha apropriada do Modelo de Perda de Propagação a ser usado para modelar o desempenho de um canal *wireless* ou conjunto de canais.

O simulador de redes NS-3, citado anteriormente, dispõe atualmente de 17 modelos de propagação (NETWORK SIMULATOR 3, 2018), os autores (STOFFERS; RILEY, 2012) categorizam esses modelos em três grupos:

1. Os modelos de perda de propagação abstratos não modelam a perda de propagação realista, somente a perda de propagação com base em parâmetros definidos apenas para o cenário em questão, entretanto precisam ser configurados para se adequarem ao cenário dado.
2. Modelos de perda na segunda categoria modelam a perda determinística do caminho ao longo da distância entre o emissor e receptor.
3. A terceira categoria inclui modelos de desvanecimento. Um processo de desvanecimento estocástico pretende ser aplicado no topo de um modelo de perda de caminho, a fim de explicar os efeitos não deterministas causados por objetos em movimento.

Modelos da segunda categoria são mais efetivos para as avaliações realizadas neste trabalho, os modelos utilizados foram:

1. *Two Ray Ground Model* (Modelo de Dois Raios): este modelo assume a propagação de rádio através de dois caminhos: Um raio é recebido diretamente e o outro reflete no solo.

¹ Network Simulator 3 – <www.nsnam.org>

2. Modelo *Friis*: O modelo de propagação de Harald T. Friis calcula a perda de trajetória quadrática conforme ocorre no espaço livre.

4.1.2 Modelo de Comunicação

O NS-3 possui um módulo `wifi`², controlador de interface de rede sem fio baseado no padrão IEEE 802.11 onde implementa de forma detalhada os aspectos físicos e lógicos da transmissão de dados, além de fornecer meios para a simulação da conectividade IP ponta-a-ponta, o mesmo vem por padrão em qualquer versão do simulador.

4.1.3 Protocolos de Roteamento

A ferramenta de estudo utilizada neste trabalho, o simulador NS-3, disponibiliza módulos de protocolos de roteamento, dos quais foram adotados três, sendo eles:

- Módulo `aodv`: Este módulo é baseado na RFC 3561 (PERKINS; BELDING-ROYER; DAS, 2003). A classe `ns3::aodv::RoutingProtocol` implementa toda a funcionalidade da troca de pacotes de serviço e herda de `ns3::Ipv4RoutingProtocol`. A classe base define duas funções virtuais para roteamento e encaminhamento de pacotes. O primeiro, `ns3::aodv::RouteOutput`, é usado para pacotes originados localmente, e o segundo, `ns3::aodv::RouteInput`, é usado para encaminhar e/ou entregar pacotes recebidos.
- Módulo `olsr`: Este módulo implementa a especificação básica do protocolo OLSR, que é um protocolo de roteamento pró-ativo, *unicast ad-hoc* móvel dinâmico, onde cada nó possui sua própria tabela de roteamento para criar uma rota para a transmissão de dados (CHOUHAN; DESHMUKH, 2015). O módulo implementa mensagens HELLO para descobrir seus vizinhos de um salto quanto vizinhos de dois saltos através de suas respostas. O conceito-chave utilizado no protocolo é o de MPR (*MultiPoint Relay*) que são os nós selecionados para encaminhar mensagens de controle durante o processo de inundação além de serem responsáveis pelas mensagens sobre o estado do caminho.
- Módulo `dsv`: Este módulo implementa o protocolo DSDV, que é um protocolo pró-ativo orientado por tabela. Ele usa a contagem de saltos como métrica na seleção da rota. A mensagem de atualização do DSDV consiste em três campos: Endereço de Destino (Destination Address), Número de Sequência (Sequence Number) e Contagem de Saltos (Hop Count). Cada nó usa dois mecanismos para enviar as atualizações do DSDV. Eles são: (I) Atualizações periódicas, que são enviadas a cada `m_periodicUpdateInterval` que tem valor padrão de 15 segundos. Nesta atualização, o nó transmite toda a sua tabela de roteamento. (II) Atualização de Gatilho, que são pequenas atualizações entre

² Wi-Fi Module – <<https://www.nsnam.org/docs/models/html/wifi.html>>

as atualizações periódicas. Essas atualizações são enviadas sempre que um nó recebe um pacote DSDV que causou uma alteração em sua tabela de roteamento.

4.1.4 Framework *FlowMonitor*

Um framework é uma abstração de desenvolvimento de software, pode ser entendido como uma estrutura que provê funcionalidades genéricas de software para fornecer uma maneira padrão de construir e implantar aplicações (RIEHLE; GROSS, 1998). O *FlowMonitor* dispõe de recursos para captura das informações geradas pelas simulações. O módulo detecta automaticamente todos os fluxos que passam pela rede e armazena em um arquivo a maioria das métricas que um pesquisador pode precisar analisar sobre o fluxo, como bitrates, duração, atrasos, tamanhos de pacotes e taxa de perda de pacotes (Carneiro, G; Fortuna, P; Ricardo, 2009).

4.2 Metodologia

A Figura 9 demonstra a forma pela qual se pretende alcançar os objetivos propostos nesse trabalho, abordagens cíclicas são bastante utilizadas em engenharia de software onde permitem que o grau de definição e implementação de um software seja aumentado incrementalmente enquanto seu grau de risco é diminuído. No mais, as atividades serão divididas em 5 etapas, sendo elas: (1) Modelagem do problema, onde se espera descrever e delimitar os problemas de topologia em um contexto RSSF o que implicará na forma como o estágio seguinte será executado. (2) Simulação do cenário, descrevendo as características de rádio, propagação, protocolo de roteamento e aplicação. (3) Coleta e análise dos dados objetivando a geração de resultados preliminares, após isso entrará um estágio de validação onde será observado se os resultados obtidos se adéquam aos requisitos definidos na Tabela 6, caso não, entram na próxima atividade, caso sim, passam diretamente ao último estágio. (4) Reajuste de parâmetros e codificação. (5) Implementação do ajustes descrito, o qual será adicionado dentro do cenário de simulação. (6) Estágio final, onde se obtém resultados concisos para a avaliação inicialmente proposta.

Tabela 6 – Requisitos Definidos para Validação dos Resultados

Condição C_1	Condição C_2	Condição C_3	Condição C_4
Não ter resultados nulos	Não apresentar inconsistência numérica	Nó coordenador retransmitir para todos os nós sensores	Tempo de simulação satisfatório para o intervalo de envio

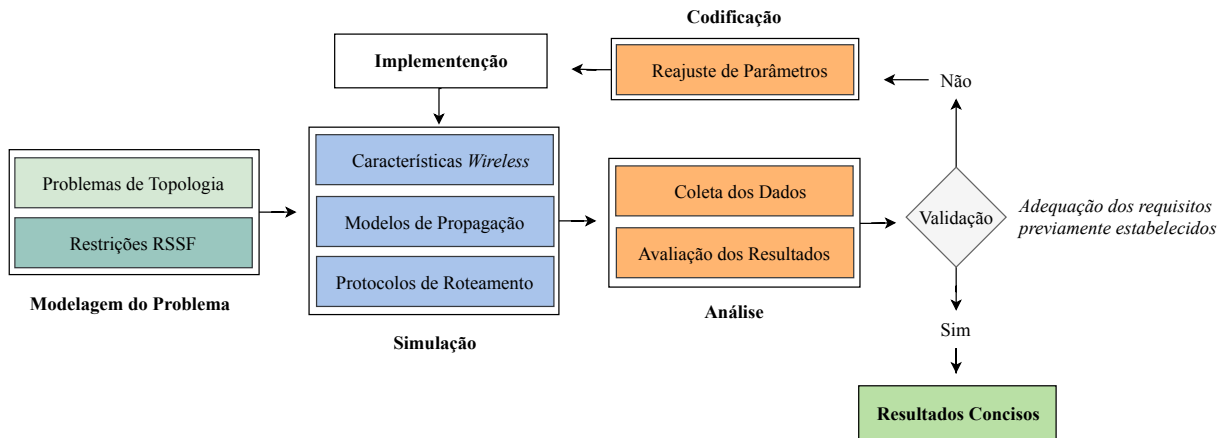


Figura 9 – Fluxograma metodológico

4.3 Descrição dos Cenários

Buscou-se inicialmente a criação de cenários de simulação e também uma classificação ao nível do fluxo de informações, na qual se propõe uma divisão em simulações de alta transferência de dados e baixa transferência de dados com o objetivo de analisar o comportamento da rede em situações diversas. Para as simulações de alta transferência de dados foram criados dois cenários, com intuito de representar uma rede em uma área urbana, onde dados sensorados poderiam ser na forma multimídia como imagem, som e vídeo, justificando assim a alta transferência de dados. Para as simulações de baixa transferência de dados também foram criados dois cenários, na premissa de representar uma rede para o monitoramento aquático ou agrícola, onde dados sensorados teriam um volume pequeno e o intervalo de coleta de informações seriam maiores, ocasionando assim a baixa transferência de dados. A Tabela 7 expõe de forma detalhada os parâmetros de configuração para a rede.

As mudanças na configuração da rede estão presentes no tipo de topologia utilizada, ou seja, a forma como os nós sensores são dispostos dentro da área. Para as simulações foram adotadas duas topologias, a grade que consiste em uma distribuição organizada dos nós, todos tendo a distância horizontal e vertical fixa em 20 metros, e a topologia aleatória onde os nós são dispostos em uma área de 6.400 m² (metros quadrados) que é equivalente a área de cobertura da distribuição em grade.

Para cada uma das topologias, a rede foi avaliada utilizando padrões de transmissão sem fio diferentes, neste trabalho se adotou os padrões Wi-Fi IEEE 802.11b e IEEE 802.11a, com o intuito de utilizar técnicas de modulação distintas, sendo elas Espectro Espalhado De Sequência Direta do inglês, *Direct-Sequence Spread Spectrum* (DSSS) e também Multiplexação de Divisão de Frequência Ortogonal, do inglês, *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM). A modulação consiste em uma técnica onde as características da portadora (sinal que é modulado) são modificadas com a finalidade de transmitir as informações, sendo feitas as alterações combinadas de frequência, amplitude ou fase (BASAR; ALTUNBAS, 2017).

Tabela 7 – Parâmetros de Configuração dos Cenários Urbanos de Alta Transferência de Dados

Parâmetros	Cenário 1	Cenário 2
MAC	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b
Frequência do rádio	5 GHz	2.4 GHz
Modulação do rádio	OFDM	DSSS
Topologia	Grade e Aleatória	
Quantidade de nós sensores	24	
Quantidade de nós coordenadores	1	
Modelo de atraso	Constant Speed Propagation	
Modelo de propagação	Two-Ray Ground	
Enlace dos nós	Ad-Hoc	
Aplicação do nó coordenador	Eco Servidor	
Protocolo de transporte	UDP	
Protocolos de roteamento	AODV, OLSR e DSDV	
Intervalo de envio	0.08 Segundos	
Tipo de tráfego	Contínuo	
Tamanho dos pacotes	1024 bytes	
Tempo de simulação	100 Segundos	

Além disso, optou-se por três protocolos de roteamento o *Ad-Hoc On-demand Distance Vector* (AODV), *Optimized Link State Routing* (OLSR) e o *Destination Sequenced Distance Vector* (DSDV), estes descritos com eficaz utilização para diversas aplicações de monitoramento que exigem alta eficiência na comunicação e baixo consumo energético (OLIVEIRA et al., 2014). Para avaliar o desempenho dos desses protocolos, utilizou-se uma configuração de referência sem nenhum protocolo de roteamento instalado nos sensores, onde cada sensor já tem o conhecimento prévio dos nós participantes da rede e as rotas de pacotes são estáticas, ou seja, não mudam.

Para que haja comunicação entre um nó sensor e seu nó coordenador, em uma típica rede de sensores sem fio, é necessário ter um protocolo de transporte que irá reger a maneira como os pacotes serão enviados e recebidos, visto que os dados trafegam em forma de pacotes, uma estrutura unitária de transmissão de dados onde a informação a transmitir geralmente é quebrada em inúmeros pacotes para então ser transmitida (KUROSE; ROSS, 2017). Para esta simulação, utilizou-se o protocolo UDP (*User Datagram Protocol*), além deste, também foi utilizado o protocolo de Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora com Anulação/Prevenção de Colisão do inglês *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA), o protocolo CSMA/CA está incluído na padronização da tecnologia Wi-Fi, ele tenta evitar colisões na transmissão sensoreando as portadoras antes de cada transmissão, se o canal estiver ocupado o nó sensor espera um tempo aleatório até monitorar novamente o canal, estando livre, ele iniciará a transmissão (CARVALHO et al., 2012).

A aplicação, Servidor de Eco irá gerar o fluxo de dados da rede, utilizando-se o tipo de tráfego contínuo (CBR, *Constant Bit Rate*) conforme é realizado em (ALVES; OLIVEIRA, 2016), funcionando da seguinte forma: Os nós sensores são instalados; os Clientes da aplicação

são responsáveis por iniciar a comunicação assim que a simulação começar; cada Cliente enviará cerca de 1200 pacotes com o tamanho de 1024 bytes para o nó coordenador, onde estará instalado o Servidor; o nó coordenador aguarda o recebimento dos pacotes dos nós sensores; para cada pacote recebido o nó coordenador ecoará (enviará) um pacote de tamanho igual para o nó do Cliente de origem.

4.3.1 Topologia dos Cenários 1 e 2

Para avaliar cada cenário foi criada 2 rodadas de simulações, variando na maneira como os nós sensores foram distribuídos geograficamente, como descrito na Tabela 1. As figuras abaixo representam a disposição dos nós sobre uma área da cidade de Salinópolis, litoral nordeste paraense, imagens obtidas a partir do SIG (Sistema de Informações Geográficas) disponibilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com o objetivo de auxiliar a visualização da suposta área de atuação da rede.



Figura 10 – Distribuição dos nós para os Cenários 1 e 2

A Figura 10a representa o primeiro cenário com 24 nós sensores identificados pelos marcadores verdes, 1 nó coordenador identificado pelo marcador azul, a organização segue um arranjo de grade com distância de 20 m entre os nós sensores, a rede está uniformemente distribuída em uma área de 80 m por 80 m, totalizando 6.400 m² (metros quadrados).

A Figura 10b representa o segundo cenário com 24 nós sensores identificados pelos marcadores verdes, 1 nó coordenador identificado pelo marcador azul, a organização segue uma distribuição aleatória dos nós sensores, a rede está distribuída em uma área de 80 m por 80 m, totalizando 6.400 m² (metros quadrados).

4.3.2 Cenários de Baixa Transferência de Dados

A Tabela 8 apresenta a configuração de parâmetros para as simulações dos cenários aquáticos, mantendo a mesma quantidade de nós sensores dos cenários urbanos, as mudanças estão presentes na distância vertical e horizontal dos sensores da topologia em grade que é

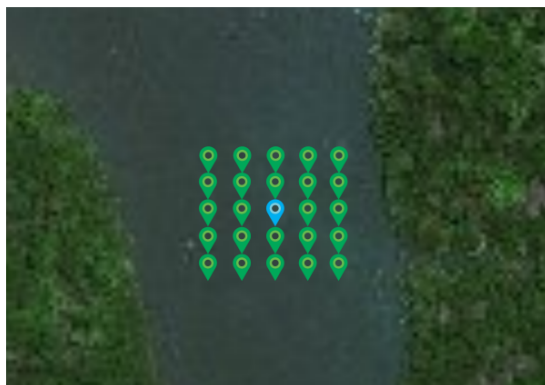
Tabela 8 – Parâmetros de Configuração dos Cenários Aquáticos de Baixa Transferência de Dados

Parâmetros	Cenário 3	Cenário 4
MAC	IEEE 802.11b	IEEE 802.11b
Frequência do rádio	2.4 GHz	2.4 GHz
Modulação do rádio	DSSS	DSSS
Topologia	Grade	Aleatória
Quantidade de nós sensores		24
Quantidade de nós coordenadores		1
Modelo de atraso	Constant Speed Propagation	
Modelo de propagação	Friis	
Enlace dos nós	Ad-Hoc	
Aplicação do nó coordenador	Eco Servidor	
Protocolo de transporte	UDP	
Protocolos de roteamento	AODV, OLSR e DSDV	
Intervalo de envio	0.11 Segundos	
Tipo de tráfego	Contínuo	
Tamanho dos pacotes	64 bytes	
Tempo de simulação	100 Segundos	

fixa em 25 metros. Para essas simulações, utilizou-se o padrão Wi-Fi IEEE 802.11b, como a modulação DSSS, já a configuração da aplicação Servidor de Eco, o tamanho dos pacotes foram configurados para 64 bytes e o intervalo de envio ficou em 0.11 segundos para representar uma rede com baixa transferência de dados.

4.3.3 Topologia dos Cenários 3 e 4

A Figura 11a representa o primeiro cenário com 24 nós sensores identificados pelos marcadores verdes, 1 nó coordenador identificado pelo marcador azul, a organização segue um arranjo de grade com distância de 25 m entre os nós sensores, a rede está uniformemente distribuída em uma área de 100 m por 100 m, totalizando 10.000 m² (metros quadrados).



(a) Grade



(b) Aleatório

Figura 11 – Distribuição dos nós para os Cenários 3 e 4

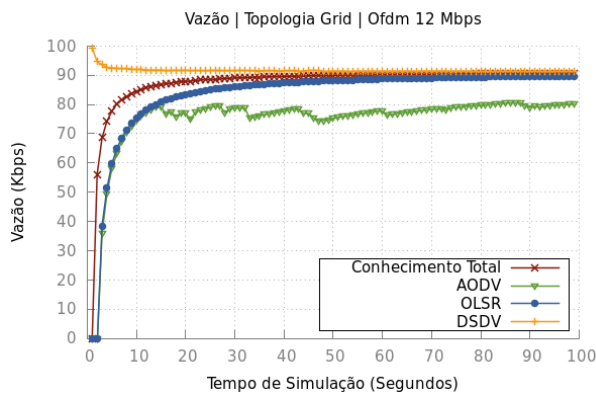
A Figura 11b representa o segundo cenário com 24 nós sensores que estão identificados

pelos marcadores verdes, 1 nó coordenador identificado pelo marcador azul, a organização segue uma distribuição aleatória dos nós sensores, a rede está distribuída em uma área de 100 m por 100 m, totalizando 10.000 m² (metros quadrados). Para fins avaliativos, supõe-se que os nós sensores estão alojados em boias e estão na superfície da água.

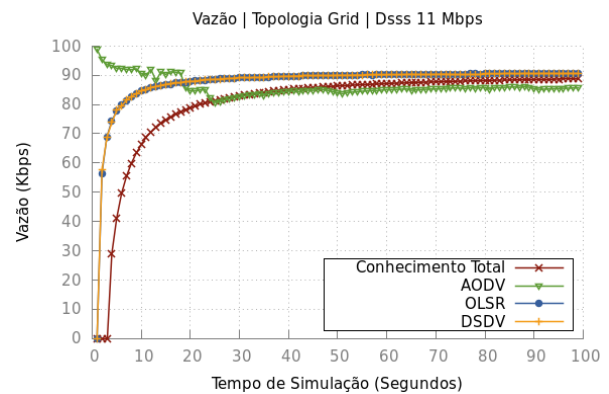
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Cenário 1 - Urbano Topologia em Grade

As Figuras 12a e 12b expressam a vazão para o cenário urbano na topologia em grade, fazendo um comparativo entre os protocolos de roteamento aplicados em dois padrões de redes diferentes. Em ambos os casos, os protocolos apresentaram taxas de vazão acima de 70 Kbps (Kilobit por segundo), o protocolo DSDV demonstrou um desempenho estável em ambos os casos, na Figura 12b os protocolos AODV, OLSR, DSDV tiveram desempenho melhor que Conhecimento Total que é a configuração sem protocolos de roteamento. Já na Figura 12a a configuração Conhecimento Total teve desempenho melhor que os protocolos OLSR e AODV.

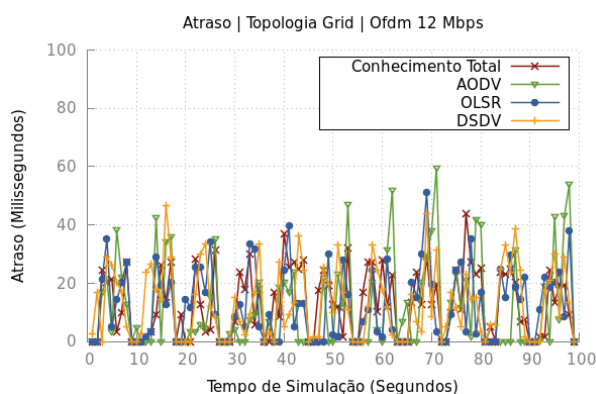


(a) Padrão IEEE 802.11a

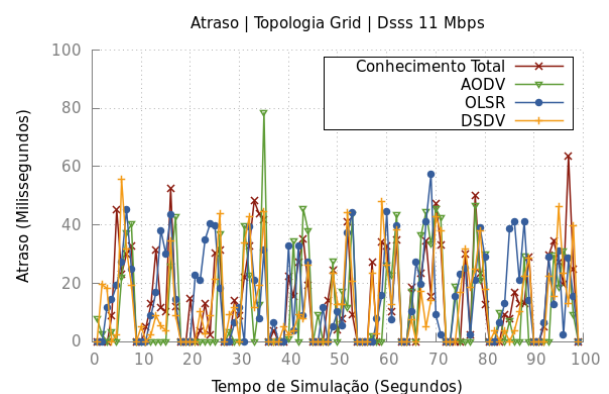


(b) Padrão IEEE 802.11b

Figura 12 – Vazão Cenário com Topologia em Grade



(a) Padrão IEEE 802.11a



(b) Padrão IEEE 802.11b

Figura 13 – Atraso Cenário com Topologia em Grade

As Figuras 13a e 13b expressam o atraso fim-a-fim para o cenário urbano na topologia em grade, novamente fazendo um comparativo dos protocolos de roteamento aplicado em dois padrões de redes diferentes. Para a Figura 13b, onde se utilizou a modulação DSSS, todos

protocolos apresentaram atrasos acima de 40 milissegundos, na já Figura 13a onde a modulação foi OFDM todos protocolos em média apresentaram atrasos abaixo de 40 milissegundos.

5.2 Cenário 2 - Urbano Topologia Aleatória

As Figuras 14a e 14b expressam a vazão para o cenário urbano na topologia aleatória, com a mesma abordagem avaliativa adotada no cenário anterior. Na Figura 14b, todos os protocolos apresentaram vazão acima de 80 Kbps (Kilobit por segundo), apenas o protocolo AODV apresentou um fluxo alto desde o início da simulação. Nos resultados utilizando modulação OFDM (Figura 14a), apenas o protocolo DSDV se manteve com vazão estável, os demais apresentaram pequenas variações, ainda assim, tiveram desempenho melhor que Conhecimento Total que é a configuração sem protocolos de roteamento.

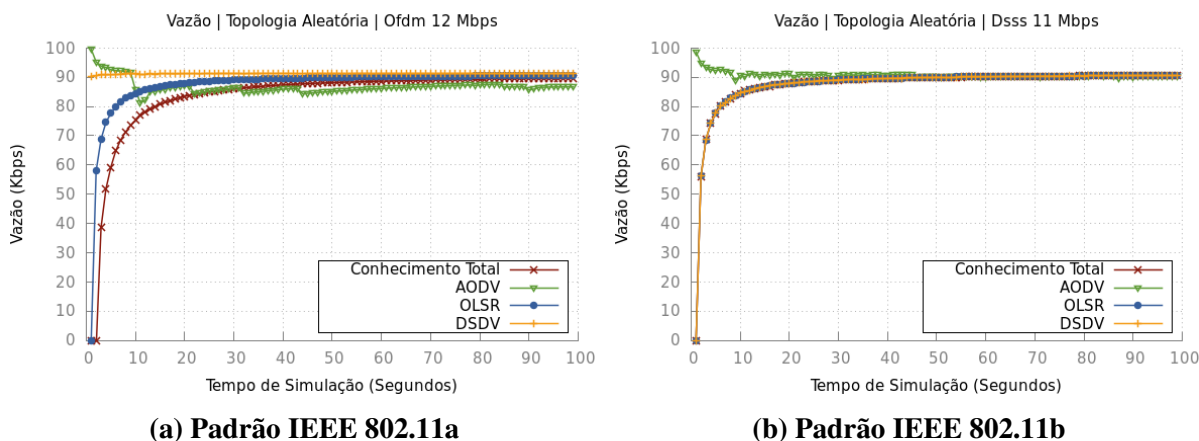


Figura 14 – Vazão Cenário com Topologia Aleatória

As Figuras 15a e 15b expressam o atraso fim-a-fim para o cenário urbano na topologia aleatória, novamente fazendo um comparativo dos protocolos de roteamento com a mesma abordagem adotada anteriormente. Para a Figura 15b, onde se utilizou a modulação DSSS, todos os protocolos apresentaram valores de atrasos semelhantes aos obtidos na topologia em grade (Figura 13b), que foram acima de 40 milissegundos, já na Figura 15a todos os protocolos em média apresentaram atrasos abaixo de 40 milissegundos já algumas variações acima, demonstrando que o padrão Wi-Fi IEEE 802.11a que utiliza modulação OFDM apresenta desempenho melhor a nível de atraso para as configurações desse cenário.

5.3 Cenário 3 - Aquático Topologia em Grade

A Figura 16 expõe resultados para o cenário aquático em grade, vazão na Figura 16a e atraso na Figura 16b, ambas utilizando o mesmo padrão Wi-Fi IEEE 802.11b com modulação DSSS. Para ambos resultados é visível a diminuição dos valores de vazão se comparados aos cenários urbanos (Figura 12a e 14b), isso ocorre devido ao tamanho dos pacotes para esse cenário

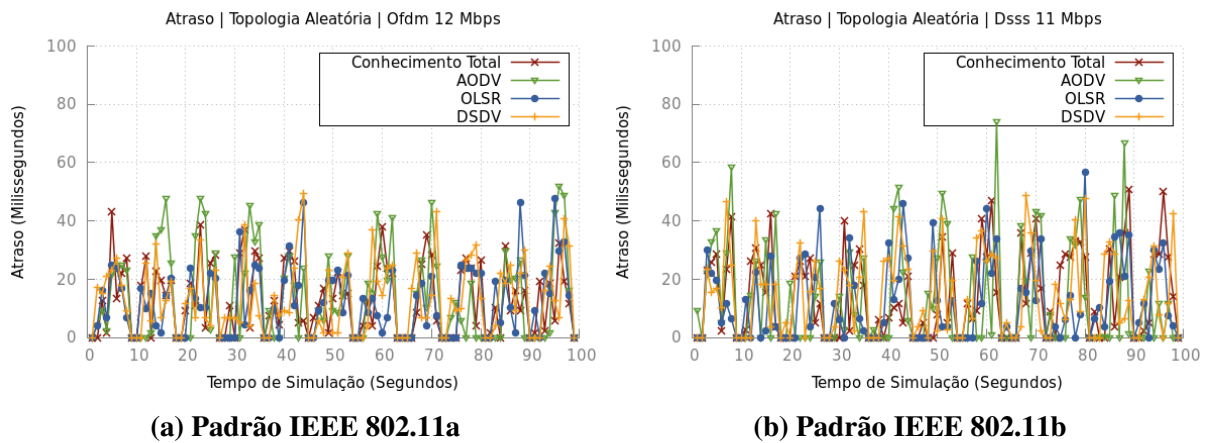


Figura 15 – Atraso Cenário com Topologia Aleatória

serem menores e o intervalo de envio ser maior. O protocolo OLSR manteve taxas de vazões estáveis na topologias em questão.

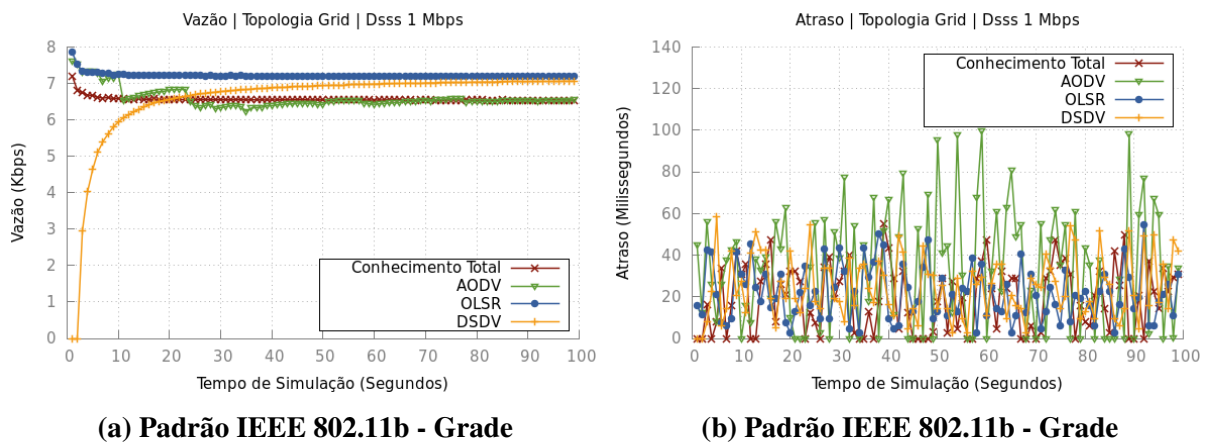


Figura 16 – Vazão e Atraso Cenário com Baixa Transferência de Dados

5.4 Cenário 4 - Aquático Topologia Aleatória

As Figuras 17a e 17b expressam a vazão e o atraso fim-a-fim respectivamente, para o cenário aquático, ambas utilizando o mesmo padrão Wi-Fi IEEE 802.11b com modulação DSSS, novamente fazendo um comparativo dos protocolos de roteamento. O aumento no intervalo de envio dos pacotes teve impacto significativo nos resultados de atraso para esse cenário, em ambos os casos os valores de atrasos superaram os 40 milissegundos, valendo ressaltar que o protocolo AODV obteve variações altas nas duas avaliações, ultrapassando 80 milissegundos de atraso. Já para os resultados de vazão (Figura 17a) os protocolos de roteamento obtiveram taxas de transmissão sem muitas divergências.

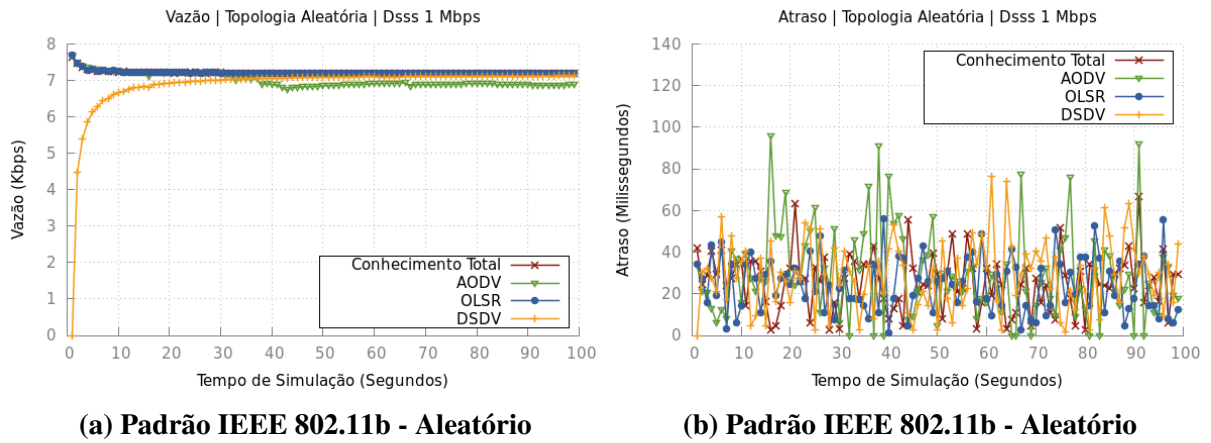


Figura 17 – Vazão e Atraso Cenário com Baixa Transferência de Dados

5.5 Avaliação Geral de Todos os Cenários

A Figura 18 relaciona os dados das taxas de pacotes perdidos (LPR, *Lost Packet Ratio*) (entre 0 e 100%) para todos os cenários, em forma de um mapa de calor (*heatmap*¹), onde é possível visualizar o resultado individual de cada nó sensor em comparação aos demais nós, assim, é possível notar padrões de desempenho dos cenários no geral.

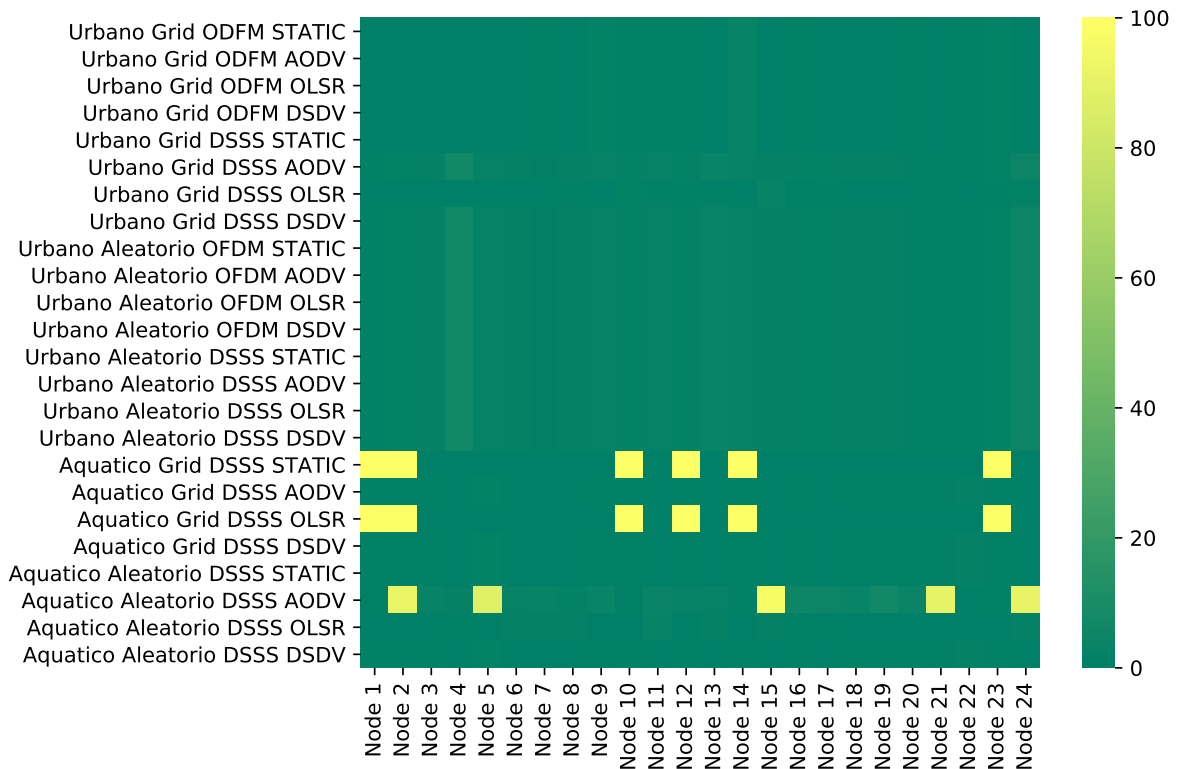


Figura 18 – Taxa de Pacotes Perdidos em (%) para Todos os Cenários Simulados: com os nós organizados de forma numérica

¹ É uma representação gráfica de dados que usa um sistema de codificação por cores para representar valores diferentes.

A Figura 18, para este caso, exibe uma predominância da cor verde, referindo-se aos valores mais baixos de LPR (entre 0 – 6,6%), demonstrando um excelente desempenho. Apenas os nós dos cenários aquáticos em grade com protocolos de roteamento STATIC e OLSR, e aleatório com protocolo AODV, obtiveram taxas médias de 100% e 91,6% respectivamente de LPR. Em ambos os casos a rede foi comprometida devido às altas perdas de pacotes de 6 nós do cenários grade DSSS com STATIC e OLSR e dos 5 nós do cenário aleatório DSSS com AODV. Representando respectivamente um comprometimento de 25% e 20,8% do funcionamento da rede.

A Figura 19 exibe a LPR de todos os cenários com um arranjo no eixo horizontal, usando como referência a distância dos nós sensores em relação ao nó coordenador, desta forma é possível visualizar que os nós que obtiveram alta LPR estão posicionados predominantemente em distâncias acima de 41 metros em relação ao nó coordenador.

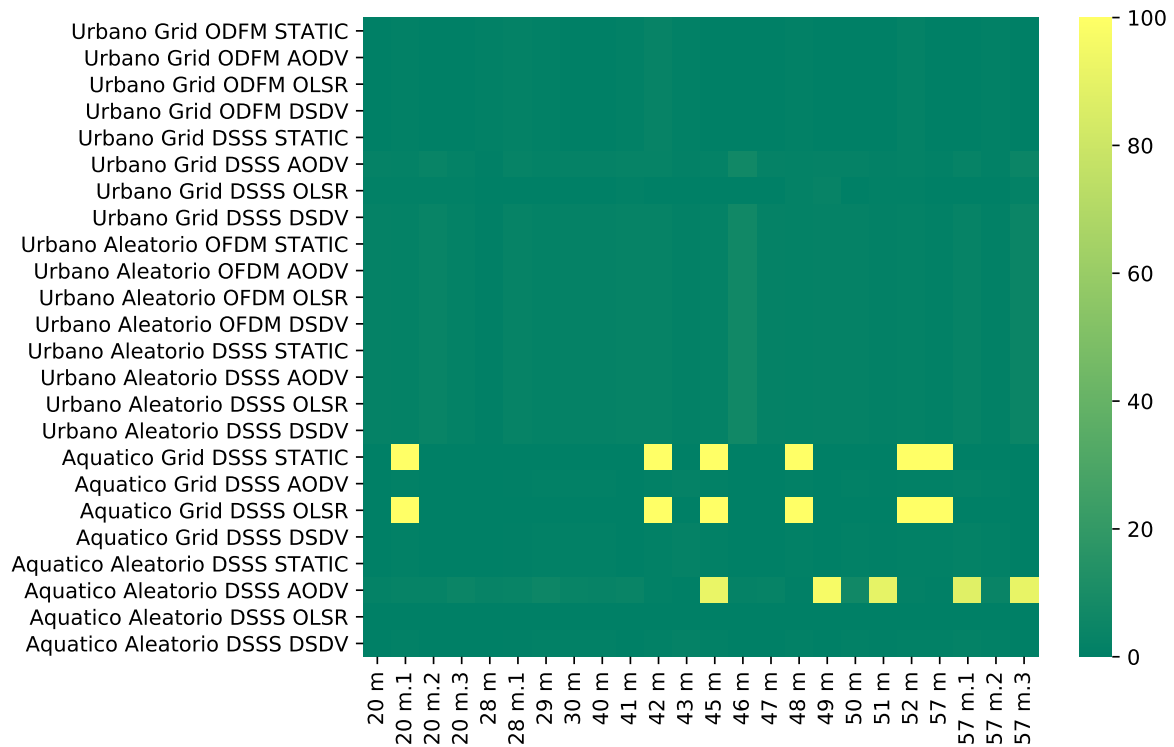


Figura 19 – Taxa de Pacotes Perdidos em (%) para Todos os Cenários Simulados: com nós organizados pela distância ao nó coordenador

A Figura 20 expõe a média dos atrasos individuais de cada nó em relação ao cenário avaliado, organizados pela numeração do mesmo. Para esse mapa de calor, os 6 nós que obtiveram LPR de 100% (cenário aquático grade, Figura 18) têm seus valores de média anulados para não comprometer a visualização dos demais. O protocolo AODV no cenário aquático aleatório DSSS, obteve 108,37 milissegundos de média dos atrasos, sendo assim o pior resultado obtido em relação a todos os cenários avaliados.

A Figura 21 organiza a média dos atrasos de todos os cenários com base no valor de

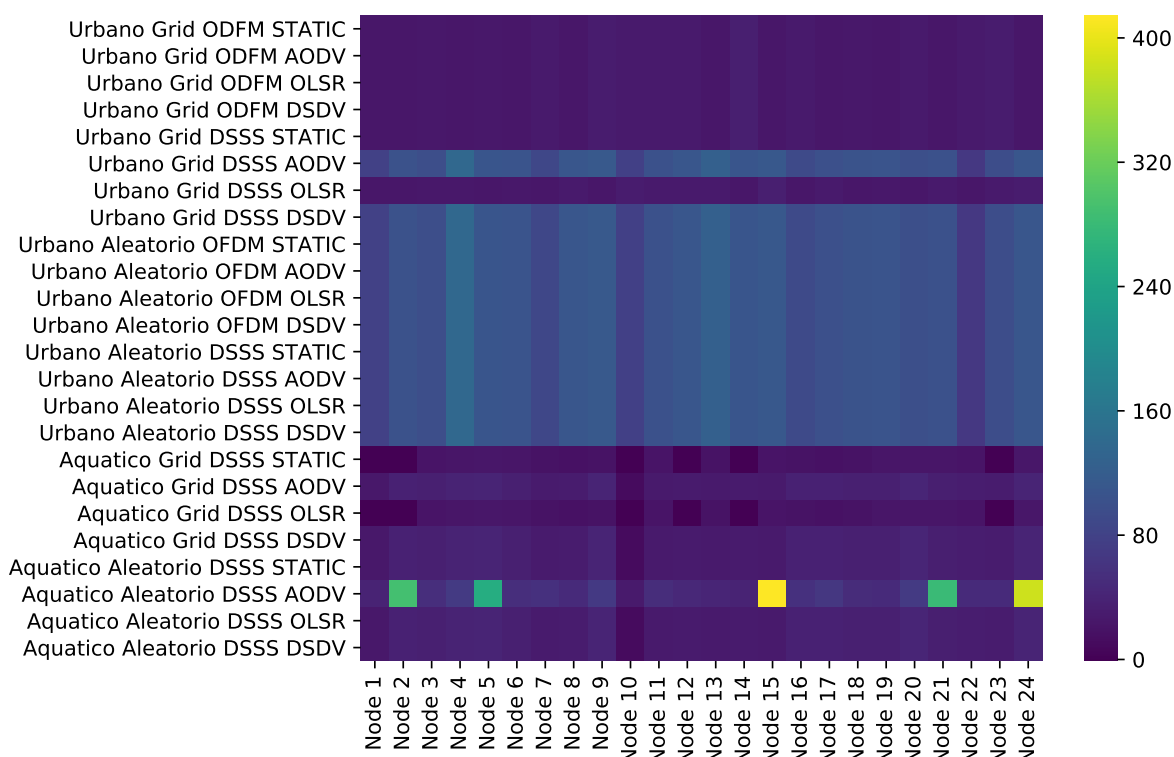


Figura 20 – Média dos Atrasos em milissegundos para Todos os Cenários Simulados: com os nós organizados de forma numérica

distancia do nó sensor ao nó coordenador. Na figura é possível perceber o mesmo comportamento obtido com Figura 19 de LPR, onde os nós do cenário aquático aleatório DSSS com protocolo AODV tiveram maiores médias de atraso após os 43 metros de distância em relação ao coordenador, além disso é notável a uma região mais clara ao centro do gráfico, onde estão alocados os resultados dos cenários de alta transferência de dados. Com relação a esses cenários se observa que os cenários urbano grade OFDM para todos os protocolos de roteamento tiveram médias de atraso menor se comparado ao mesmo cenário usando DSSS.

A Tabela 9 relaciona os resultados finais para cada cenário, perfazendo a média das taxas de perda, a média das médias de atraso e por fim, a taxa de transferência.

Tabela 9 – Resultados Gerais de Média das Taxas de Transferências

Métrica	Resultado
Resultados Gerais de Média das Taxa de Pacotes	
Cenários de Alta Taxas de Transferência (Urbano grade e aleatório)	1,57%
Cenários de Baixa Taxas de Transferência (Aquático grade e aleatório)	9,23%
Resultados Gerais de Média das Médias dos Atrasos	
Cenários de Alta Taxas de Transferência (Urbano grade e aleatório)	73,81 ms
Cenários de Baixa Taxas de Transferência (Aquático grade e aleatório)	38,00 ms
Resultados Gerais de Média das Taxas de Transferências	
Cenários de Alta Taxas de Transferência (Urbano grade e aleatório)	92,55 Kpbs
Cenários de Baixa Taxas de Transferência (Aquático grade e aleatório)	6,72 Kpbs

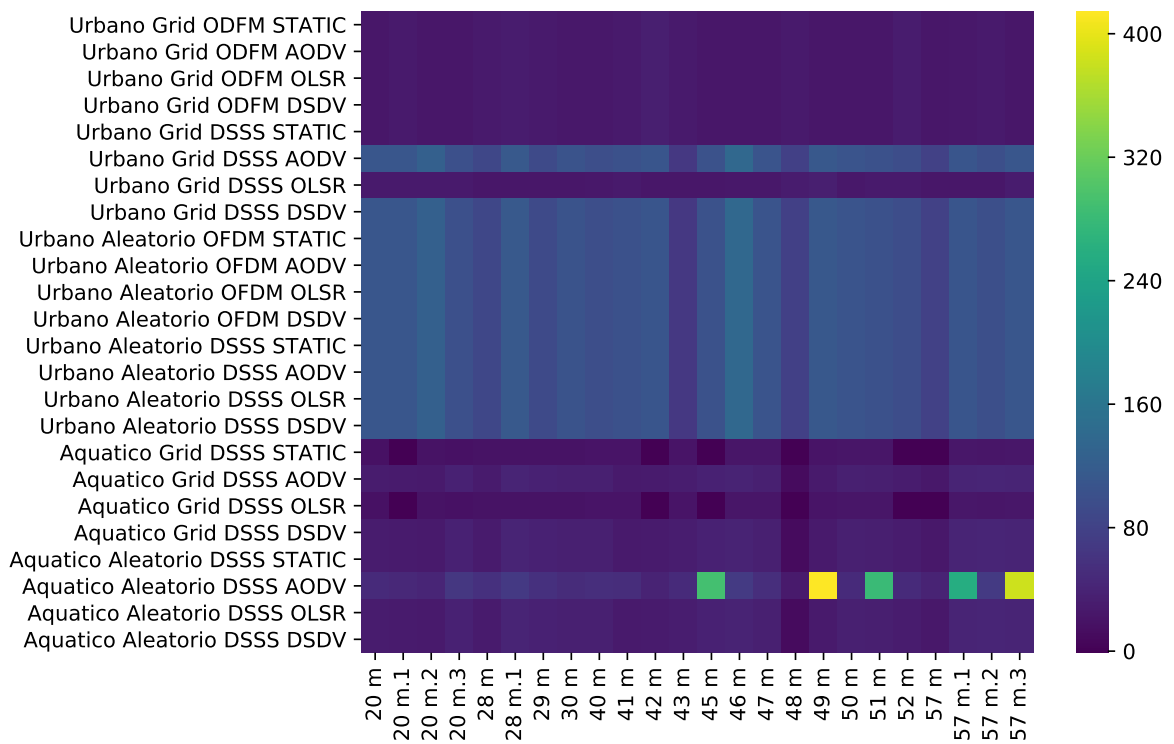


Figura 21 – Média dos Atrasos em milissegundos para Todos os Cenários Simulados: com nós organizados pela distância ao nó coordenador

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um levantamento de informações a respeito da situação ambiental do estado Pará, seguindo-se uma análise sobre a avaliação de desempenho em cenários de elevada e baixa taxa de transferência de dados para rede de sensores sem fio, na região paraense. Avaliou-se o desempenho de dois padrões de transmissão sem fio, IEEE 802.11a IEEE 802.11b e também duas técnicas de modulação de dados, DSSS e OFDM, com estas configurações foram testados os três protocolos de roteamento mais utilizados em rede de sensores sem fio, AODV, DSDV, OLSR, além de uma configuração sem protocolo de roteamento, acerca da organização dos nós sensores. Optou-se por duas topologias a fim de observar situações onde o controle do posicionamento dos nós seriam ou não possíveis, foram elas: distribuição em grade para situações urbanas e também industriais; e distribuição aleatória para situações de monitoramento florestal, aquático e agrícola.

Observou-se que o estado do Pará ainda representa grande parcela do desmatamento na Amazônia Legal, além de contribuir significativamente na emissão de GEE. O estado é, ainda, marcado por inúmeros desastres ambientais, que, apesar de avanços consideráveis nas medidas de controle e monitoramento, se averiguou que a maioria dos mecanismos de monitoramento vigentes se utiliza de dados de imagens de satélite, os quais são bastante precisos, porém o sistema de detecção mais veloz, gera alertas com imagens tiradas há 5 dias, sendo classificado como sistema quase em tempo real.

Sistemas que realizem monitoramento baseados em uma alta periodicidade de obtenção dos dados são capazes de dar instrumentação para compreender o comportamento e o dinamismo a cerca dos acidentes e crimes ambientais, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) propõe em uma das suas diretrizes que sistemas e técnicas monitoramento que contenham metodologias inovadoras de prevenção de danos ambientais devem ser apoiadas. As RSSFs se encaixam neste requisito, para isso foram propostos possíveis lugares para a instalação de rede de sensores na região paraense.

Os resultados apresentados mostraram que o padrão IEEE 802.11a demonstrou um desempenho significativamente melhor que o padrão IEEE 802.11b obtendo valores menores de atrasos. O protocolo de roteamento DSDV demonstrou desempenho estável tanto nos cenários de elevada transferência quando de baixa transferência, já o protocolo AODV demonstrou ter melhor desempenho aplicado com a técnica de modulação DSSS do padrão IEEE 802.11b. Nos cenários de alta transferência, todas as configurações tiveram taxas de vazão com média de 92,55 Kbps (Kilobit por segundo), já nos cenários de baixa transferência obtiveram taxas de 6,72 Kbps (Kilobit por segundo) a mudança de protocolo de roteamento no último cenário não trouxe resultados expressivos, todos protocolos mantiveram desempenho semelhante.

Assim, os resultados alcançados a partir do levantamento com o simulador confirmam o alcance dos objetivos deste trabalho, além disso, criam a possibilidade para o amadurecimento das

atuais simulações em trabalhos futuros, permitindo a reconfiguração dos parâmetros e também desenvolvimento de novas simulações e cenários levando em conta outros fatores. Acredita-se que este trabalho resultou em dados significativos podendo colaborar para comunidade de forma geral. Desta forma, espera-se que as simulações aqui realizadas possam auxiliar no estudo de RSSF para região paraense.

6.1 Dificuldades

Apesar de rede de sensores ser uma área de pesquisa bastante difundida, a pesquisa utilizando esses equipamentos se torna inviável devido ao elevado custo desse material para o estudo, não sendo possível para este arcar tais custos, logo, uma maneira de contornar essa situação foi a utilização do simulador NS-3, como mecanismo de obtenção de dados para a pesquisa, por ser um software livre e estar disponível publicamente para pesquisa, desenvolvimento e uso, sendo seu custo praticamente zero.

Para a utilização do simulador de forma satisfatória também foi encontrado dificuldades, de início, para a configuração do ambiente de trabalho que necessitou de um estudo prévio dos requisitos, tanto do computador no qual o simulador seria instalado quanto dos softwares que ele necessitava.

Além das dificuldades de configuração, também se encontrou dificuldades para correção dos erros dos modelos de simulações, pois apesar do simulador NS-3 possuir vários módulos de rede, abordando as mais diversas camadas, a depuração de código é algo que ainda deixa a desejar.

6.2 Trabalhos Publicados

Parte dos resultados deste trabalho de conclusão de curso motivaram direta e indiretamente a obtenção das seguintes publicações:

- **DA SILVA, H. J.; SOARES NETO, J. M.; BRITO, V. L. O.** Avaliação de Desempenho dos Padrões IEEE 802.11a e 802.11b: Um estudo em Cenários ad hoc com Mobilidade. Anais Jornada da Inclusão Digital, v. 6, 2018.
- **DA CRUZ, J. W. V.; OLIVEIRA, M. V. R.; SILVA, J. I. da C.; SILVA, R. da C.; SOUSA, R. C.; DA SILVA, H. J.; FERREIRA JÚNIOR, J. J. H.** Uma Solução Internet das Coisas para Monitoramento de Gases Poluentes na Amazônia Legal. Anais SULCOMP, v. 9, 2018.
- **DA SILVA, H. J.** Colaborador no Capítulo 4 – Redes Veiculares. **FERREIRA JÚNIOR, J. J. H.; DE CARVALHO, T. C.** Integração de Redes Heterogêneas Sem Fio para Composição de Redes 5G. [S.l.]: Novas Edições Acadêmicas, 2018. p. 38.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Á. de O.; OLIVEIRA, F. D. M. de. Análise de desempenho dos protocolos de roteamento de redes de sensores sem fio em smart grids. 2016.
- BARBOSA, C. **Vazamento de rejeitos da Hydro Alunorte causa danos socioambientais em Barcarena**. Amazônia Real, 2018. Disponível em: <<http://amazoniareal.com.br/vazamento-de-rejeitos-da-hydro-alunorte-causa-danos-socioambientais-em-barcarena-no-para/>>. Acesso em: 3/12/2018.
- BASAR, E.; ALTUNBAS, I. Space-time channel modulation. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, IEEE, v. 66, n. 8, p. 7609–7614, 2017.
- BITAM, S.; MELLOUK, A. **Bio-inspired routing protocols for vehicular ad-hoc networks**. John Wiley & Sons, 2014. ISBN 9781848216631. Disponível em: <<https://www.wiley.com/en-mq/Bio+inspired+Routing+Protocols+for+Vehicular+Ad+Hoc+Networks-p-9781848216631>>.
- BRÖRING, A. et al. New generation Sensor Web Enablement. **Sensors**, v. 11, n. 3, p. 2652–2699, 2011. ISSN 14248220.
- CAMPISTA, M. E. M.; RUBINSTEIN, R. M. G. **Advanced Routing Protocols for Wireless Networks**. [S.l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2014. v. 9781848216273. 1–131 p. ISBN 9781118984949.
- Carneiro, G; Fortuna, P; Ricardo, M. FlowMonitor: a network monitoring framework for the network simulator 3 (NS-3). **VALUETOOLS '09 Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools**, 2009. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1698824>>.
- CARVALHO, F. B. S. de et al. Aplicacoes ambientais de redes de sensores sem fio. **Revista de tecnologia da informação e comunicação**, v. 2, n. 1, p. 14–19, 2012.
- CHOUHAN, T. S.; DESHMUKH, R. S. Analysis of dsdv, olsr and aodv routing protocols in vanets scenario: Using ns3. In: IEEE. **Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), 2015 International Conference on**. [S.l.], 2015. p. 85–89.
- CRUZ, J. W. V. da et al. Uma solução internet das coisas para monitoramento de gases poluentes na amazônia legal. **Anais SULCOMP**, v. 9, 2018.
- DARGIE, W.; POELLABAUER, C. **Fundamentals of Wireless Sensor Networks**. [s.n.], 2010. ISSN 1098-6596. ISBN 9780470666388. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/9780470666388>>.
- DINIZ, C. G. et al. DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 7, p. 3619–3628, 2015. ISSN 21511535.
- ELHOSENY, M.; HASSANIEN, A. E. Hierarchical and clustering wsn models: Their requirements for complex applications. In: **Dynamic Wireless Sensor Networks**. [S.l.]: Springer, 2019. p. 53–71.

- FONSECA, A. et al. **Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (setembro de 2018) SAD (p. 1)**. Imazon, 2018. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/transparencia_florestal/SAD-setembro-2018.pdf>. Acesso em: 4/12/2018.
- FREITAS, S. C. S. Políticas públicas de educação ambiental no estado do pará: Trinta anos de uma trajetória. **Revista Margens Interdisciplinar**, v. 7, n. 9, p. 131–157, 2016.
- G1. **Barcarena decreta situação de emergência após tragédia ambiental**. G1 Pará, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2015/10/barcarena-decreta-situacao-de-emergencia-apos-tragedia-ambiental.html>>. Acesso em: 6/12/2018.
- G1. **Defensoria vai acionar responsáveis por dano ambiental em Barcarena**. G1 Pará, 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2015/12/defensoria-vai-acionar-responsaveis-por-dano-ambiental-em-barcarena.html>>. Acesso em: 6/12/2018.
- G1. **Pará já registrou 38 mil focos de queimadas este ano, 20 mil deles só em setembro**. G1 Pará, 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/para-ja-registrou-38-mil-focos-de-queimadas-este-ano-20-mil-deles-so-em-setembro.ghtml>>. Acesso em: 3/12/2018.
- GAWAS, M. A.; TAMBI, R. Data rate adaptation algorithms survey for iee 802.11 networks. In: IEEE. **2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC)**. [S.l.], 2017. p. 926–932.
- GROSS, M. **Connecting with the natural world**. Elsevier, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982214008318>>. Acesso em: 25/11/2018.
- HEKMAT, R. Ad-hoc networks: Fundamental properties and network topologies. **Ad-hoc Networks: Fundamental Properties and Network Topologies**, p. 1–146, 2006.
- HOLDOWSKY, J. et al. Inside the internet of things (iot). **Deloitte University Press**, v. 54, p. 19787–1571, 2015.
- IMAZON. **Monitoramento da Amazônia**. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), 2018. Disponível em: <<https://imazon.org.br/programas/monitoramento-da-amazonia/>>. Acesso em: 3/12/2018.
- INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. 2016. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 3/12/2018.
- INPE. **Projetos e Pesquisas - DETER B**. 2018. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/deterb.php>.
- KHANDURI, R.; RATTAN, S. Performance comparison analysis between iee 802.11 a/b/g/n standards. **International Journal of Computer Applications**, Citeseer, v. 78, n. 1, p. 13–20, 2013.
- KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de computadoras**. [S.l.]: Pearson Educación, 2017.

- KUZMINYKH, I.; SNIHUROV, A.; CARLSSON, A. Testing of communication range in zigbee technology. In: IEEE. **Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2017 14th International Conference The**. [S.l.], 2017. p. 133–136.
- LADES. **Projeto Rede de Sensores, Acidentes e Desastres Ambientais no Pará**. [S.l.]: GitHub, 2018. <https://github.com/Lades-Ufpa/Projetos/tree/master/Rede_de_Sensores>. Acesso em: 3/12/2018.
- LOUREIRO, A. A. et al. Redes de sensores sem fio. In: SN. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)**. [S.l.], 2003. p. 179–226.
- MA, J. et al. Intelligent water pollution source identification and localization in wireless sensor networks. In: IEEE. **2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)**. [S.l.], 2018. p. 1300–1305.
- MMA. **Megaoperação fecha 13 serrarias e apreende 6 milhões de reais em madeira ilegal**. Ministério do Meio Ambiente, 2009. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/operacao-interdita-garimpos-ilegais-em-sao-felix-do-xingu-no-para.ghtml>>. Acesso em: 3/12/2018.
- MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**. Ministério do Meio Ambiente, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/PPCDAm/_FINAL_PPCDAM.PDF>. Acesso em: 3/12/2018.
- MOURA, R. **DESMATAMENTO ZERO NO PARÁ: Desafios e Oportunidades**. Belém, Pará: Imazon, 2017. ISBN 978-85-86212-93-2. Disponível em: <<https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/DesmatamentoZeronoPara.pdf>>. Acesso em: 3/12/2018.
- NETWORK SIMULATOR 3. **PropagationLossModel Class Reference**. 2018. Disponível em: <https://www.nsnam.org/doxygen/group__propagation.html>. Acesso em: 3/12/2018.
- OLIVEIRA, F. D. et al. Qos analysis of routing protocols in wireless sensor networks in the monitoring of wind farms. In: IEEE. **Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) Proceedings, 2014 IEEE International**. [S.l.], 2014. p. 1059–1064.
- PERKINS, C.; BELDING-ROYER, E.; DAS, S. **Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing**. [S.l.], 2003.
- PINTO, D. et al. Hydronode: A low cost, energy efficient, multi purpose node for underwater sensor networks. In: IEEE. **37th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks**. [S.l.], 2012. p. 148–151.
- PRODES. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite**. 2018. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/dashboard/prodes-rates.html>>. Acesso em: 3/12/2018.
- RAWAT, P. et al. Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. **The Journal of supercomputing**, Springer, v. 68, n. 1, p. 1–48, 2014.
- RIEHLE, D.; GROSS, T. Role model based framework design and integration. **Proceedings of the 13th ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming, systems, languages, and applications (OOPSLA)**, p. 117–133, 1998.

- ROSSLER, B. Electrically erasable and reprogrammable read-only memory using the n-channel simos one-transistor cell. **IEEE Transactions on Electron Devices**, IEEE, v. 24, n. 5, p. 606–610, 1977.
- SANTOS, B. P. et al. Internet das coisas: da teoriaa prática. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, 2016.
- SEABRA, W. J. G. Sensor Acústico para Detecção de Desmatamento Ilegal na Floresta Amazônica. **IX Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)**, 2017.
- SEEG. **Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2016. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 4/12/2018.
- SEEG. **Análise das Emissões de GEE Brasil (1990-2016) - Emissões do Setor de Mudança de Uso da Terra. Documento Síntese**. 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/relatorios_SEEG_2018_-_MUT_Final_v1_.pdf>. Acesso em: 4/12/2018.
- SEEG; OFC. **Análise das Emissões de GEE Brasil (1970-2014) e suas Implicações para Políticas Públicas e a Contribuição Brasileira para o Acordo de Paris. Documento Síntese. 85 p.** 2016. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/WIP-16-09-02-RelatoriosSEEG-Sintese.pdf>>. Acesso em: 4/12/2018.
- SILVA, M. S. da; FRUETT, F. Monitoramento ambiental através de rede de sensores sem fio de baixo custo. 2013.
- SOUSA, M. P.; LOPES, W. T. A. Desafios em redes de sensores sem fio. **revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 1, n. 1, p. 41–47, 2011.
- STOFFERS, M.; RILEY, G. Comparing the ns-3 Propagation Models. **Modeling, Analysis & Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)**, p. 61–67, 2012.
- SUHONEN, J. et al. **Low-power wireless sensor networks: protocols, services and applications**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- TARUI, Y.; HAYASHI, Y.; NAGAI, K. Electrically reprogrammable nonvolatile semiconductor memory. **IEEE Journal of Solid-State Circuits**, IEEE, v. 7, n. 5, p. 369–375, 1972.
- URYVSKY, L.; MOSHYNSKA, A.; OSYPCHUK, S. Applied research of modulation-coding schemes selection algorithms effectiveness in 802.11 equipment. In: IEEE. **Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC SandT), 2017 4th International**. [S.l.], 2017. p. 405–409.

Apêndices

APÊNDICE A – PRIMEIRO APÊNDICE

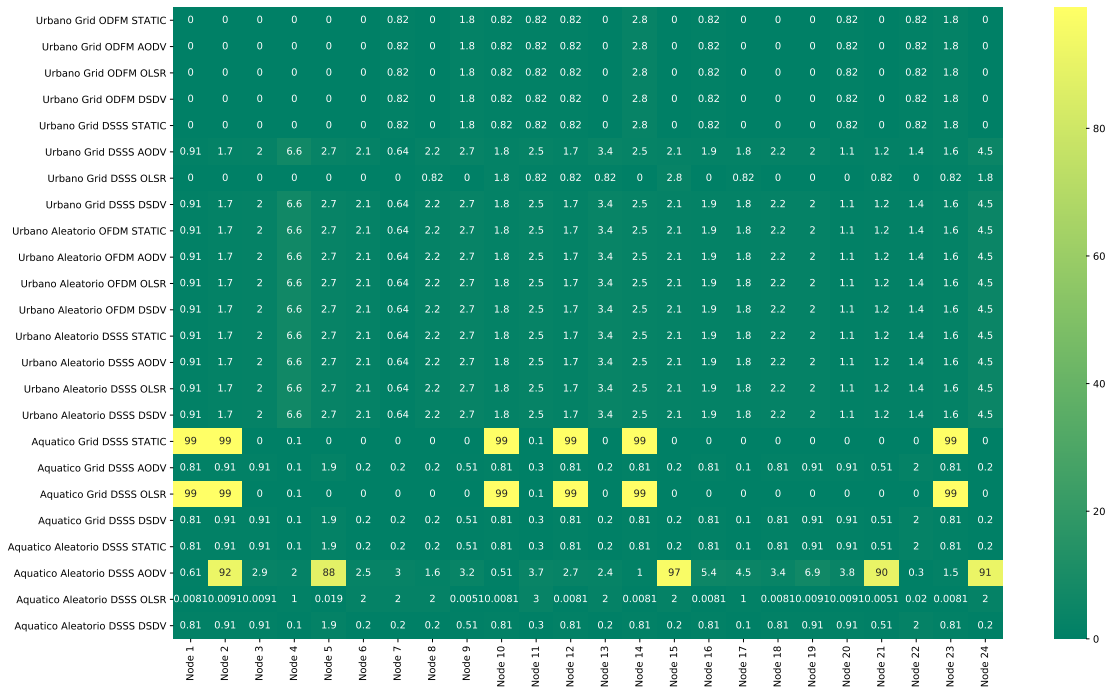


Figura 22 – Mapa de Calor com Valores Expressos das Taxas de Pacotes Perdidos em (%) para Todos os Cenários Simulados: com nós organizados pela distância ao nó coordenador
 Fonte: O Autor