



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

WILSON LUIZ DA SILVA FARIAS

**SISTEMA DE DECISÃO COLABORATIVA PARA
TRANSMISSÃO MULTIMÍDIA EM FLYING
AD-HOC NETWORKS**

BELÉM-PA

Fevereiro / 2016

WILSON LUIZ DA SILVA FARIAS

**SISTEMA DE DECISÃO COLABORATIVA PARA
TRANSMISSÃO MULTIMÍDIA EM FLYING AD-HOC
NETWORKS**

Dissertação submetida à banca julgadora na
Universidade Federal do Pará como parte dos
requisitos para obtenção do grau de Mestre
em Ciência da Computação

Orientador: Dr. Gustavo Pessin

Co-Orientador: Dr. Denis Lima Rosário

BELÉM-PA

Fevereiro / 2016

WILSON LUIZ DA SILVA FARIAS

**SISTEMA DE DECISÃO COLABORATIVA PARA
TRANSMISSÃO MULTIMÍDIA EM FLYING
AD-HOC NETWORKS**

Dissertação submetida à banca julgadora na
Universidade Federal do Pará como parte dos
requisitos para obtenção do grau de Mestre
em Ciência da Computação

Aprovada em: --/--/----

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Pessin
Universidade Federal do Pará
Orientador

Prof. Dr. Denis Lima Rosário
Universidade Federal do Pará
Co-orientador

Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho a minha família por todo apoio durante esta jornada, e em especial a minha mãe e a minha madrinha, pelas madrugadas de café e todo incentivo dado desde o início.

Agradecimentos

Em primeiro lugar a Deus por cada dia de vida e pela oportunidade de vivenciar a obtenção de novos conhecimentos e experiências durante o período da pós-graduação.

Aos meus pais, José Maria de Magalhães Farias e Alba Lucinda Cruz da Silva, por sempre me apoiarem em meus objetivos, pelas palavras de incentivo nas horas certas, e por sempre permitirem que eu tivesse a liberdade de escolher o meu caminho. A minha tia Maria José e a minha madrinha Heron, por todos os seus conselhos nos momentos de dúvida, por todas as suas orientações nos momentos de erros, e por toda torcida, carinho e amor dedicado até hoje. Agradeço também aos demais familiares, que em algum momento de dificuldade deram total apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Pessin, pela oportunidade de realizar esse trabalho, pelas trocas de ideias, conversas, incentivos, paciência, e por ter me mostrado que existem várias formas de seguir o mesmo caminho, mas em todas elas é preciso esforço e dedicação.

Ao Prof. Dr. Eduardo Cerqueira, por toda confiança depositada desde a Iniciação Científica até hoje, por ter aberto as portas do mundo da pesquisa, que hoje alcanço mais um degrau, por toda cobrança, reuniões e idéias, que me ajudaram a sempre exigir mais de mim mesmo e dar sempre o meu melhor em retorno.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Denis Rosário, que trabalhou mais diretamente comigo na fase de implementação do trabalho, sempre estando disposto a me ajudar quando precisava, a tirar minhas dúvidas, discutir ideias, corrigir meus textos de artigos, e principalmente pela amizade e conversas informais, que ajudavam a relaxar nos momentos de tensão e ansiedade.

Ao GERCOM (Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia), pela colaboração significativa ao meu amadurecimento acadêmico, e pela oportunidade de desenvolver diversos trabalhos.

Aos grandes amigos que sempre torceram e acreditaram na realização de mais essa

etapa em minha vida, me apoiando e relaxando com conversas, brincadeiras, e momentos de descontração.

A FAPESP (Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa) pelo suporte financeiro.

E por fim, mas não menos importante agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação PPGCC/UFPA, pela oportunidade do Mestrado.

Resumo

Resumo da Dissertação apresentada à UFPA como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Sistema de Decisão Colaborativa para Transmissão Multimídia em Flying Ad-Hoc Networks

Orientador: Dr. Gustavo Pessin

Co-orientador: Dr. Denis Lima Rosário

Palavras-chave: FANETs; Decisão distribuída; Mobilidade; Multimídia

Por um tempo, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) tiveram seu uso limitado a aplicações militares, no entanto, recentemente VANTs estão sendo utilizados também para uma ampla gama de aplicações civis. Algumas destas aplicações utilizam dados multimídia, como vídeos, devido ao maior ganho de informação oferecida, além de geralmente envolverem conjuntos de VANTs, as chamadas Flying Ad-hoc Networks (FANETs), que devem cooperar para alcançar um objetivo comum. De forma a se alcançar tal objetivo, geralmente são adotados modelos de decisão centralizada. Isso requer ligações diretas entre os VANTs e a estação base ou uma entidade central, ou através de múltiplos saltos entre eles. Esta abordagem sofre de muitas limitações, pois deixa a rede sensível a falhas de comunicação, as quais podem tornar o sistema ineficaz. Ademais, ao se transmitir conteúdo multimídia, levar em consideração os requisitos e limitações da rede, a relevância da informação capturada e a mobilidade dos nós, ao se escolher o melhor nó para realizar a transmissão, colabora para que o usuário tenha uma melhor Qualidade de Experiência (QoE). Portanto, este trabalho propõe um sistema de decisão distribuída para transmissão multimídia em FANETs, baseado em múltiplas métricas. Nele são levadas em consideração a relevância do conteúdo capturado pelo nó, o consumo energético do nó e dos recursos da rede, e a mobilidade dos nós. Simulações foram realizadas com diferentes velocidades e modelos de mobilidade. Resultados mostraram que o sistema

alcança um bom equilíbrio entre a qualidade do conteúdo transmitido e a longevidade da rede, provendo sempre conteúdo relevante ao usuário e consumindo menos recursos.

Abstract

Abstract of Dissertation presented to UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Computer Science.

Collaborative Decision System for Multimedia Streaming in Flying Ad-hoc Networks

Advisor: Dr. Gustavo Pessin

Co-advisor: Dr. Denis Lima Rosário

Key words: FANETs; Distributed decision; Mobility; Multimedia.

For a while, Unmanned Aerial Vehicle (UAVs) have been employed only in military applications, but recently, the use of UAVs become more popular also for civil applications. Some of these applications make use of multimedia data, because this kind of data increases the gain of information. In this context, the cooperation between multiple UAVs, called of Flying Ad-hoc Networks (FANETs) have been proposed to increase the capabilities of a single UAVs, for example, to improve execution time of a particular task and to increase the coverage area. Many of these FANETs applications consider a centralized decision making, which requires direct communication between the UAVs and the decision-maker node or requires multiple hops for a particular UAV to reach the decision-maker node. A centralized approach has some limitations related to possible failure, while a particular UAV try to reach the decision-maker node. Furthermore, during multimedia transmission, the system must take into account (i) network requirements and constrains; (ii) relevance of the obtained information; and (iii) node mobility. These aspects must be taken into account when deciding how to transmit the information with Quality of Experience (QoE) support. In this sense, this master thesis proposes and evaluates a distributed system that performs data dissemination based on multiple metrics, namely relevance of the content, the energy consumption and the node mobility. Simulations were carried out with different UAVs speed and mobility models, and results showed that the system reaches a good balance among the quality of the content and the

time of life of the network, providing relevant content to the users and lowering the need of resources.

Sumário

1	Introdução	p. 2
1.1	Visão geral	p. 2
1.2	Objetivo Geral	p. 4
1.3	Objetivos Específicos	p. 4
1.4	Organização do texto	p. 5
2	Referencial Teórico	p. 6
2.1	Flying Ad-Hoc Networks	p. 6
2.2	Modelos de Decisão	p. 8
2.3	Mobilidade em FANETs	p. 10
2.4	Transmissão Multimídia em Redes Dinâmicas	p. 11
2.5	Conclusões do capítulo	p. 13
3	Trabalhos Relacionados	p. 14
3.1	VIGILANT: situation-aware quality of information interest groups for wireless sensor network surveillance applications	p. 14
3.2	Fast aerial image acquisition and mosaicking for emergency response operations by collaborative UAVs (FAMOUS)	p. 15
3.3	Exploiting the sensing relevancies of source nodes for optimizations in visual sensor networks	p. 15
3.4	A decentralized approach for information dissemination in Vehicular Ad hoc Networks	p. 16

3.5	Quality-based event reliability protocol in wireless sensor networks (QERP)	p. 16
3.6	Efficient data collection in multimedia vehicular sensing platforms	p. 17
3.7	Conclusões do capítulo	p. 17
4	SISTEMA DE DECISÃO COLABORATIVA PARA TRANSMISSÃO MULTIMÍDIA EM FANET	p. 19
4.1	Arquitetura do Sistema	p. 19
4.2	Módulo de Percepção	p. 20
4.3	Módulo de Comunicação	p. 22
4.4	Módulo de Decisão	p. 23
4.4.1	Energia	p. 23
4.4.2	Mobilidade	p. 24
4.4.3	Largura de Banda	p. 25
4.4.4	Fator de Decisão	p. 25
4.5	Fases de Decisão	p. 26
4.6	Conclusões do capítulo	p. 28
5	Avaliação de desempenho	p. 29
5.1	Descrição da Simulação, Parâmetros e Métricas de Desempenho	p. 29
5.2	Análise da Qualidade dos Vídeos	p. 31
5.3	Análise do Tempo de Vida	p. 32
5.4	Análise do Overhead e Acurácia da Escolha	p. 34
5.5	Conclusões do Capítulo	p. 36
6	Conclusões	p. 37
	Referências	p. 39
	Anexo A – Resultados para cenário de 150 m x 150 m	p. 45

Lista de Abreviaturas

VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
FANETs	Flying Ad-Hoc Networks
QoE	Qualidade de Experiência
MANETs	Mobile Ad-hoc Networks
VANETs	Vehicular Ad hoc Networks
RWP	Random Waypoint
ARQ	Automatic Repeat Request
FEC	Forward Error Correction
EC	Erasure Coding
QoS	Qualidade de Serviço
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
VQM	Video Quality Metric
SSIM	Structural Similarity Index Metric
FAMOUS	Fully Autonomous Multi-UAV Operation System
SR	Sensing Relevance
QERP	Quality-based Event Reliability Protocol
CD	Contribution Degree
FD	Fator de Decisão
GoP	Group Of Pictures
FND	First Node Dies
HNA	Half of the Nodes Alive

Lista de Simbolos

θ	theta
α	alpha
β	beta
γ	gamma
ω	omega

Lista de Figuras

Figura 1	Visão geral do sistema	4
Figura 2	Modelos de Comunicação. Adaptado de [2]	7
Figura 3	Modelo de decisão centralizada. Adaptado de [22]	8
Figura 4	Modelo de decisão distribuída. Adaptado de [22]	9
Figura 5	Modelo de decisão hierárquica. Adaptado de [25]	9
Figura 6	Trajectoria utilizando o modelo RWP [30]	11
Figura 7	Arquitetura do FAMOUS. Adaptado de [43].	15
Figura 8	Grupos de relevância baseados nos alvos monitorados. Adaptado de [7].	16
Figura 9	Arquitetura dos Módulos.	20
Figura 10	Fases do processo de decisão	27
Figura 11	SSIM para cada cenário	31
Figura 12	<i>Frame loss</i> para cada cenário	32

Figura 13	FND para cada modelo de mobilidade	33
Figura 14	HNA para cada modelo de mobilidade	33
Figura 15	Quantidade de vídeos transmitidos	34
Figura 16	Quantidade de pacotes transmitidos	35
Figura 17	Porcentagem de acertos em cada modelo	35
Figura 18	SSIM para cenário de 150 m x 150 m	46
Figura 19	Taxa de perda de <i>frames</i> para cenário de 150 m x 150 m	46
Figura 20	Quantidade de vídeos transmitidos para cenário de 150 m x 150 m	46
Figura 21	Overhead para cenário de 150 m x 150 m	47
Figura 22	Porcentagem de acertos para cenário de 150 m x 150 m	47

Lista de Tabelas

Tabela 1	Comparação entre os sistemas de decisão	17
Tabela 2	Valores de SR para cada nível de relevância	21
Tabela 3	Valores de E para cada nível de energia	24
Tabela 4	Parâmetros da Simulação	30

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 Visão geral

Um conjunto de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) pode ser utilizado para formar uma *Flying Ad-Hoc Networks* (FANETs), uma vez que novas aplicações requerem sistemas autônomos e de rápida implantação [1]. As FANETs possibilitaram o surgimento de novas aplicações militares e civis, tais como operações de busca e resgate, combate de incêndios, monitoramento de desastres, entre outras. Isso é devido à versatilidade, flexibilidade, fácil instalação e relativas pequenas despesas operacionais dos VANTs [2]. A capacidade dos VANTs em coletar conteúdo multimídia, tais como imagens ou vídeos, aumenta o nível das informações adquiridas, amplia a área de cobertura e permite que as autoridades (por exemplo, equipes de resgate, polícia, etc.) obtenham informações mais precisas da área monitorada. Desta forma, o conteúdo multimídia ajuda a tomada de decisões adequadas com base em informações visuais.

A transmissão de conteúdo multimídia em FANETs requer certo nível de Qualidade de Experiência (QoE), que quantifica a qualidade do conteúdo multimídia de acordo com a percepção do usuário [3]. Um vídeo com boa qualidade, ou seja, um vídeo sem efeitos fantasma (*ghosting*), *pixelization* ou congelamento da tela (*freeze frame*), é essencial para identificar pessoas, objetos ou lugares, rastrear alvos, mapeamento de áreas, renderização de construções, entre outras [4]. *Frames* de vídeo com baixa qualidade podem comprometer a usabilidade do sistema, pois não conseguirão fornecer conteúdo visualmente útil. Portanto, para a transmissão de vídeo com qualidade é necessário um fluxo contínuo de pacotes, com alta demanda de largura de banda e menor taxa de perda de frames.

Em cenários com tomada de decisão centralizada, assume-se que o VANT sempre consegue se comunicar com uma central de controle, ou entidade central, a qual possui

a capacidade de tomar as melhores decisões para a seleção do VANT que irá capturar o conteúdo de vídeo (chamado de nó fonte). Em tal cenário, a central de controle define as funções de cada VANT a priori ou em tempo real. Porém, tal abordagem acarreta em um aumento do número de pacotes de controle trafegando pela rede, aumentando assim a sobrecarga (*overhead*) e o consumo de recursos da mesma. Além disso, perdas na comunicação entre o VANT e a central de controle tornam o sistema ineficaz ou levam a falhas perigosas e a consequências não intencionais [5].

Por outro lado, em cenários onde os próprios VANTs que formam a FANET decidem de forma distribuída e colaborativa qual nó irá transmitir o vídeo, promovem-se operações de decisões autônomas e com *overhead* reduzido. Dessa forma, os VANTs devem levar em consideração o estado e as métricas de rede (largura de banda, atraso, etc.) e a relevância da informação capturada por cada VANT [6]. Isso pode ser explicado, uma vez que os VANTs podem prover conteúdo com diferentes relevâncias para a aplicação, as quais podem ser utilizadas como um parâmetro para otimizar a tomada de decisão de acordo com o contexto do cenário [7].

Além disso, as limitações energéticas dos VANTs e sua mobilidade, também devem ser levadas em consideração para a tomada de decisão. Devido à alta mobilidade apresentada pelas FANETs, é essencial que o VANT possua energia para executar suas tarefas e continuar se movendo, ou retornar a base. Ademais, a mobilidade adotada por cada nó na rede, ou seja, a direção e sentido de sua movimentação podem contribuir para o aumento ou economia do gasto energético da rede, além de influenciar na manutenção de rotas seguras para a transmissão do conteúdo multimídia.

Este trabalho propõe um sistema de decisão distribuída e colaborativa para transmissão multimídia em FANETs. O sistema proposto leva em consideração a natureza dos dados multimídia capturados em tempo real, eficiência energética, relevância da informação¹ e a mobilidade dos VANTs, a fim de selecionar os melhores nós fontes na rede. A seleção é feita de forma colaborativa e distribuída, onde cada VANT possui autonomia para se excluir ou se candidatar à execução de funções específicas, sem a necessidade de comunicação com a central de controle.

A Figura 1 ilustra a proposta do trabalho onde o sistema proposto inclui a capacidade de identificar um evento de forma autônoma, através da correlação de diferentes imagens capturadas. Cada VANT quantifica o nível de relevância da informação capturada para o sistema, possui capacidade de processar localmente sequências de imagens e de enviar vídeos para as equipes de resgate em tempo real, assegurando níveis aceitáveis de QoE e prolongando o tempo de vida da rede. São realizadas simulações com o objetivo de demonstrar os impactos e benefícios do sistema no processo de decisão colaborativa. Os resultados são analisados quanto à eficiência energética, *overhead*, a qualidade do vídeo recebido na central de controle e o grau de acerto na escolha do melhor nó.

¹Característica do tipo de aplicação adotada. Ex: sobreviventes em áreas de desastres, existência de fogo em áreas florestais, etc.

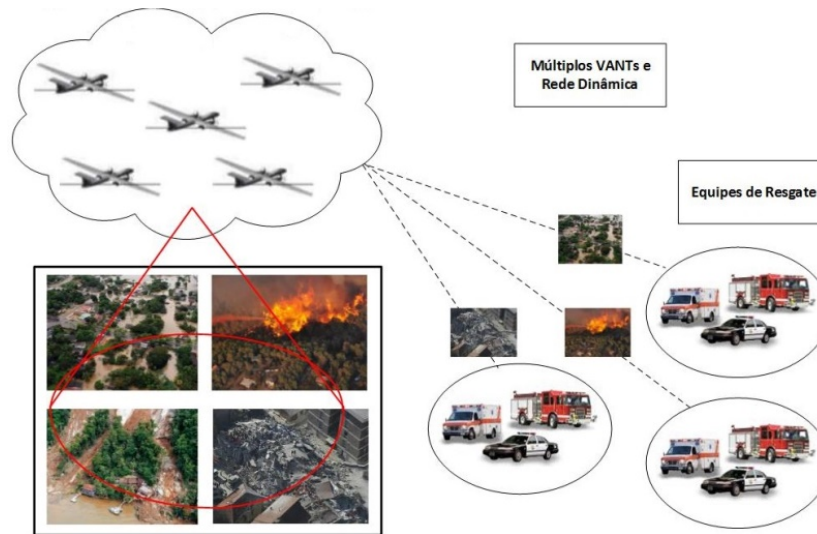


Figura 1: Visão geral do sistema

1.2 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é propor, desenvolver e avaliar um sistema de decisão colaborativa e distribuída para transmissões de conteúdo multimídia em FANETs, minimizando o gasto de recursos da rede e assegurando qualidade ao conteúdo.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho, apresentados como etapas para se alcançar o objetivo geral, são:

- Identificação confiável do evento, através de correlação de diferentes imagens com diferentes níveis de relevância para o sistema.
- Capacidade de processar localmente sequências de imagens e enviar vídeos para os usuários em tempo real.
- Capacidade de decisão colaborativa e distribuída, selecionando os melhores nós na rede para transmissão do conteúdo multimídia.
- Gestão de recursos eficiente, provendo vídeos com um nível mínimo de QoE, e assegurando baixo *overhead* e prolongando o tempo de vida da rede.
- Comparação e análise do impacto de diferentes modelos de mobilidade no desempenho do sistema.

1.4 Organização do texto

O restante do documento está dividido seguindo o ordenamento descrito abaixo:

- Capítulo 2: É apresentado de forma geral o estado-da-arte utilizado no trabalho. Nesta seção, os trabalhos foram selecionados pelas áreas abordadas pelo presente trabalho, dentre elas: Decisão distribuída e/ou colaborativa, transmissão multimídia em redes dinâmicas e mobilidade em redes dinâmicas.
- Capítulo 3: São apresentados os principais trabalhos relacionados baseados no estado-da-arte, descrevendo suas vantagens e desvantagens associadas ao cenário com transmissões multimídias e as abordagens de decisão adotadas.
- Capítulo 4: É descrita a proposta do trabalho, detalhando as ferramentas e metodologia adotada no seu desenvolvimento, bem como as fases do processo de decisão e as métricas utilizadas.
- Capítulo 5: São apresentados os resultados do trabalho para cada tipo de cenário proposto em termos de qualidade de vídeo, tempo de vida da rede, *overhead*, taxa de perdas de *frames* e acurácia da escolha do nó, além da análise detalhada de cada um dos resultados e especificações e/ou recomendações para aplicações em cenários mais específicos.
- Capítulo 6: São comentadas as principais conclusões alcançadas com a implementação do trabalho proposto. São sumarizadas suas vantagens e desvantagens, recomendações de cenários aplicáveis da proposta e opções de trabalhos futuros para a continuidade e melhoramento do trabalho.

Parte do conteúdo e dos resultados alcançados nesta dissertação foram publicados no XX Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS 2015), realizado em conjunto ao XXXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), e são referenciados em Farias et al. [8].

CAPÍTULO 2

Referencial Teórico

Neste capítulo, serão apresentadas as principais características das FANETs e os benefícios de sua utilização de maneira geral. Ademais, serão apresentadas as principais aplicações utilizadas neste tipo de rede. Serão abordados, também, os diferentes modelos de comunicação e de decisão existentes.

No restante do capítulo serão detalhados os diferentes modelos de mobilidade adotados em FANETs. Além disso, serão apresentados os métodos e desafios de transmissões de conteúdo multimídia em redes dinâmicas, bem como as métricas de avaliação de desempenho utilizadas para analisar a performance do trabalho proposto.

2.1 Flying Ad-Hoc Networks

Como resultado dos rápidos avanços tecnológicos em eletrônica, sensores e tecnologias de comunicação, tornou-se possível produzir sistemas que utilizam Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Os VANTs possuem capacidades de voar autonomamente ou podem ser operados remotamente sem a necessidade de qualquer piloto para guiá-los [2].

Os VANTs são geralmente compostos por: sensores de navegação e localização, como o GPS, e microprocessadores que permitem que a aeronave viaje de forma autônoma; sistemas de comunicação que permitem maior flexibilidade para mudar seu curso *on-the-fly*; câmeras multimídia, sensores climáticos ou armamentos; e uma estação de controle fixa, para proporcionar um controle mais preciso na aeronave [9] [10].

As FANETs são basicamente redes ad hoc entre VANTs [2]. Configurar uma rede ad-hoc entre VANTs é uma questão desafiadora, e os requisitos podem diferir das tradicionais *Mobile Ad-hoc Networks* (MANETs) e *Vehicular Ad-hoc Networks* (VANETs) em termos de mobilidade, conectividade, roteamento de mensagens, qualidade de serviço,

etc [11]. Ademais, as FANETs possuem diversas áreas de aplicações civis e militares, como por exemplo: operações de busca e resgate ou busca e eliminação de alvos [12], sensoriamento remoto, combate a incêndios [13], mapeamento de áreas [14], gestão costeira [15], monitoramento de desastres [16], transporte de carga, monitoramento de tráfego [17], entre outras. Dentre algumas das vantagens da utilização de uma FANET em diversas aplicações, pode-se citar:

- **Custo:** O custo de aquisição e manutenção de VANTs de menor tamanho é menor que o custo de um VANT de grande porte [18].
- **Escalabilidade:** A utilização de grupos de VANTs pode estender a área de operação facilmente.
- **Sobrevivência:** Na utilização de apenas um VANT para operações, em casos de falha do nó, a operação é interrompida. Entretanto, em uma FANET, a perda de um nó não impede que os outros continuem a operação.
- **Velocidade:** De acordo com a aplicação, as operações podem ser completadas mais rapidamente à medida que se aumenta o número de VANTs [19].

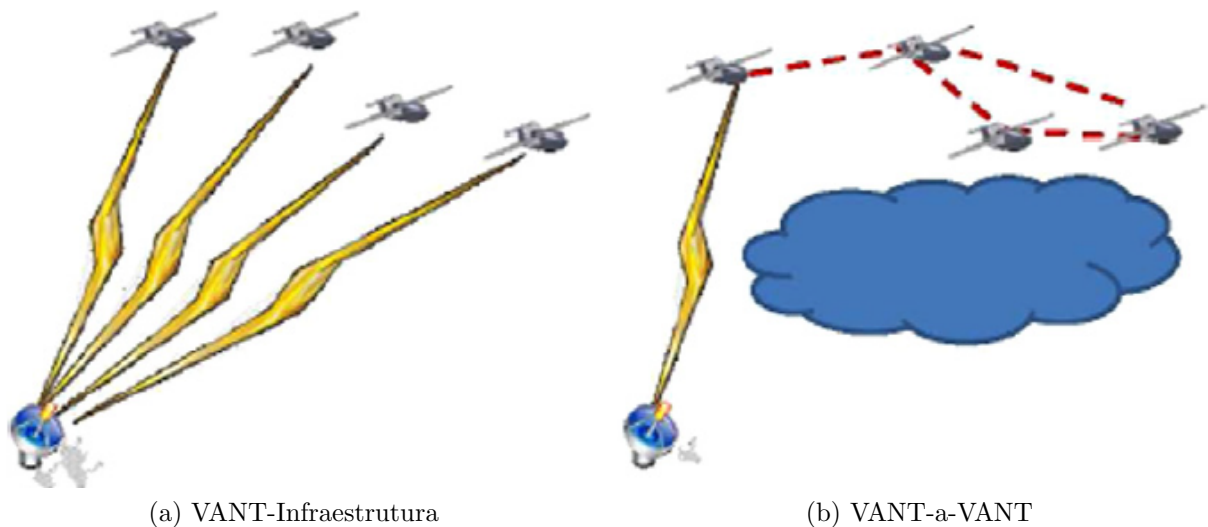


Figura 2: Modelos de Comunicação. Adaptado de [2]

Contudo, um dos maiores desafios neste tipo de rede é a comunicação. Os VANTs possuem diversos modelos de comunicação adaptados aos cenários utilizados, porém, pode-se dividi-los em basicamente dois tipos: comunicação VANT-a-VANT e VANT-Infraestrutura [11]. Na comunicação VANT-a-VANT, cada nó pode se comunicar com o outro, a fim de atender às necessidades de diferentes áreas de aplicação, tais como planejamento cooperativo de trajetória e rastreamento de alvos. Esta comunicação entre os nós pode ser direta ou através de múltiplos saltos, dessa forma, garante-se que todos os

nós estejam ligados uns aos outros e que exista ao menos uma rota de encaminhamento entre cada nó na rede, como ilustrado na Figura 2b.

Na comunicação VANT-Infraestrutura, os nós comunicam-se diretamente com uma infraestrutura fixa (vide Figura 2a), como estações terrestres, satélites, ou navios de guerra perto da área de operação para fornecer serviços de informação para outros usuários na rede. Para aumentar a taxa de transferência de dados e o desempenho do sistema, diferentes tipos de antenas e sensores podem ser utilizados, além de se controlar o alcance do raio de comunicação. Com o uso de receptores de GPS e antenas diretas, links de comunicação mais confiáveis podem ser construídos nas FANETs.

2.2 Modelos de Decisão

Devido a alta mobilidade dos VANTs, a topologia da rede muda com muita frequência, e durante a maior parte do tempo a conectividade torna-se um obstáculo importante para o planejamento de tarefas. Dessa forma, o modelo de decisão adotado pela aplicação possui grande importância no seu desempenho e no consumo de recursos da rede. Os modelos de decisão para sistemas autônomos podem ser classificados em três tipos [20] [21] [22]: (i) centralizado, (ii) descentralizado ou distribuído, e (iii) hierárquico.

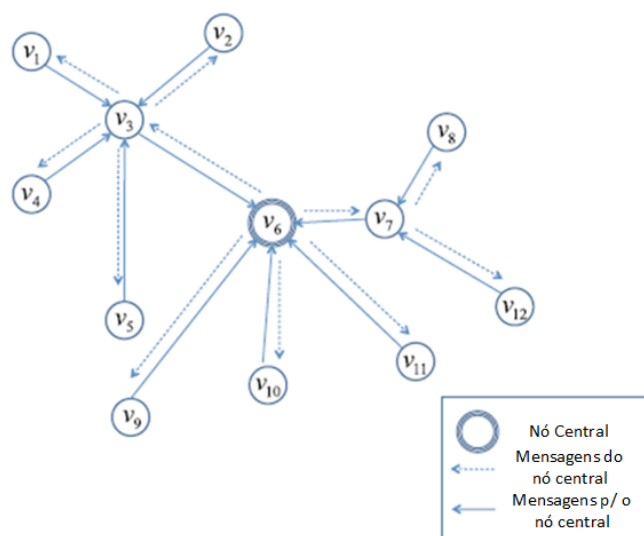


Figura 3: Modelo de decisão centralizada. Adaptado de [22]

Nos modelos de decisão centralizada, a informação é propagada por cada um dos VANTs da rede, até alcançar a entidade central, que pode ser uma central de controle ou um VANT com capacidades de decisão, responsável por determinar e disseminar as decisões esperadas (definição de caminhos, atribuição de tarefas, etc) para os nós na rede [22] (vide Figura 3). Isso requer alta carga computacional na entidade central, devido à necessidade de lidar com alta complexidade para obter soluções otimizadas, e uma rede de comunicação robusta e confiável que permite praticamente um fluxo perfeito de informações entre todos os agentes do sistema e a entidade central [23].

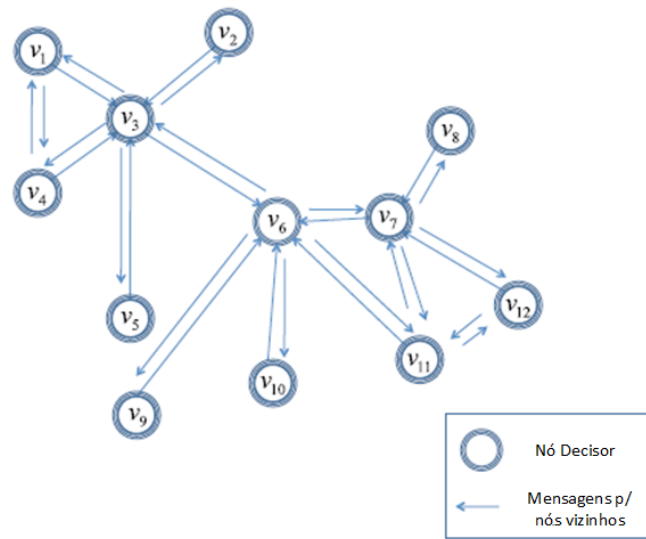


Figura 4: Modelo de decisão distribuída. Adaptado de [22]

Por outro lado, modelos de decisão distribuída (vide Figura 4) contam com processamento de informações locais, incluindo informações de agentes nas proximidades, e tomada de decisão local. Assim, as mensagens de comunicação são independentes do tamanho total da quantidade de VANTs. Este quadro reduz os requisitos computacionais e de comunicação de um modelo centralizado, permitindo a escalabilidade do sistema para grupos com mais agentes na rede, pois evita a sobrecarga da troca de informações de controle com uma única entidade central [24] [22]. Ademais, com a utilização de modelos de decisão distribuída pode-se prover à rede capacidade de auto-organização e maior tolerância a falhas.

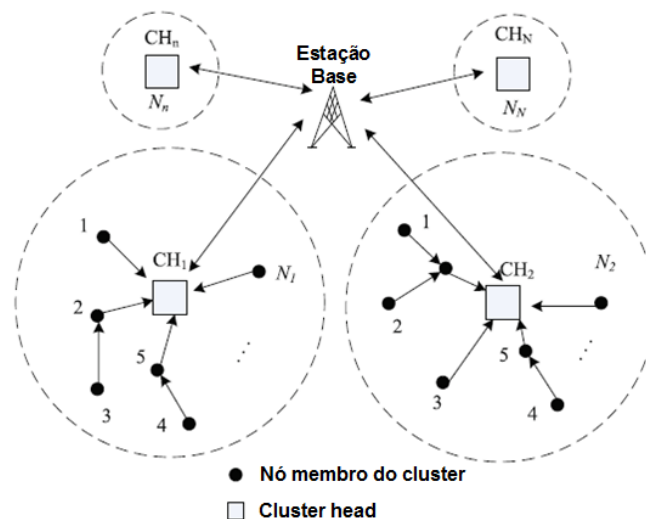


Figura 5: Modelo de decisão hierárquica. Adaptado de [25]

Por fim, o modelo hierárquico é um híbrido das duas anteriores. Este modelo utiliza o conceito de grupos ou *clusters*, onde em cada *cluster* um nó é selecionado como entidade central ou *Cluster head* e é responsável pela determinação de tarefas e por obter

soluções otimizadas que beneficiem ao *cluster* como um todo [26]. Uma vez que os VANTs do *cluster* trocam informações apenas com os seus *Cluster heads*, o sistema se torna mais escalável, devido o fluxo de informação ser mais rápido do que em certas arquiteturas centralizadas. Este modelo é ilustrado na Figura 5.

2.3 Mobilidade em FANETs

O modelo de mobilidade desempenha um papel importante na avaliação do desempenho de redes ad hoc [27]. Uma rede ad hoc é uma coleção de nós sem fio que se comunicam uns com os outros, na ausência de qualquer infraestrutura. Salas de aula, campos de batalha e atividades de socorro são alguns cenários onde redes ad hoc podem ser usadas. Uma vez que não muitas FANETs foram implantadas, a maioria das pesquisas é baseada em simulação. Estas simulações têm vários parâmetros, incluindo o modelo de mobilidade e o padrão do tráfego de comunicação [28].

O padrão de movimentação dos VANTs em uma FANETs depende do tipo de aplicação para a qual estão sendo utilizados, como por exemplo, um modelo de mobilidade que permite que os nós se movam independentemente um do outro é mais apropriado em missões de busca em que uma grande área tem de ser mapeada [29]. Dessa forma, a escolha do modelo de mobilidade dos nós tem um impacto significativo sobre os protocolos de roteamento utilizados e na performance da rede como um todo, pois eles especificam os padrões de movimento dos nós, que levam à análise estatística de uma variedade de medidas de desempenho, tais como taxa de entrega de pacotes, atraso fim-a-fim, *throughput* e *overhead* [30].

Os modelos de mobilidade podem ser classificados em dois grupos principais: modelos de mobilidade com caminho pré-definido e modelos de mobilidade randômicos. Em modelos de mobilidade com caminho pré-definido, como o próprio nome já diz, um caminho é pré-definido para o nó seguir. As posições que os nós percorrem são definidas com antecedência. Em modelos de mobilidade randômicos, as posições são calculadas "à medida que se avança". Tais modelos são mais adequados para missões de busca onde a informação disponível sobre a área pesquisada é mínima [29].

Por conseguinte, modelos de mobilidade randômicos podem ser classificados em dois grupos principais: modelos de mobilidade de grupo e modelos de mobilidade de entidade [29]. Em modelos de mobilidade de grupo, os nós se movem como um grupo, seguindo um líder do grupo. Por outro lado, em modelos de mobilidade de entidade, os nós se movem independentemente um do outro. Tendo em vista que o presente trabalho adota uma aplicação de busca e resgate, foram utilizados apenas os modelos de mobilidade randômica de entidades, nomeadamente o *Random Waypoint* (RWP) [27] e o *Paparazzi* [31].

O modelo RWP foi introduzido pela primeira vez por Johnson e Maltz [32], em 1996, para imitar o movimento aleatório de usuários móveis, e devido à sua simplicidade logo se tornou o modelo de simulação padrão para avaliar os protocolos de roteamento em

MANET [28]. No entanto, este modelo adequa-se melhor a simulações de nós terrestres, uma vez que apresenta paradas bruscas e curvas fechadas (vide Figura 6). Enquanto que devido a limitações mecânicas e dinâmicas, o VANT realiza curvas menos bruscas e tende a manter a velocidade ao longo de trajetórias contínuas.

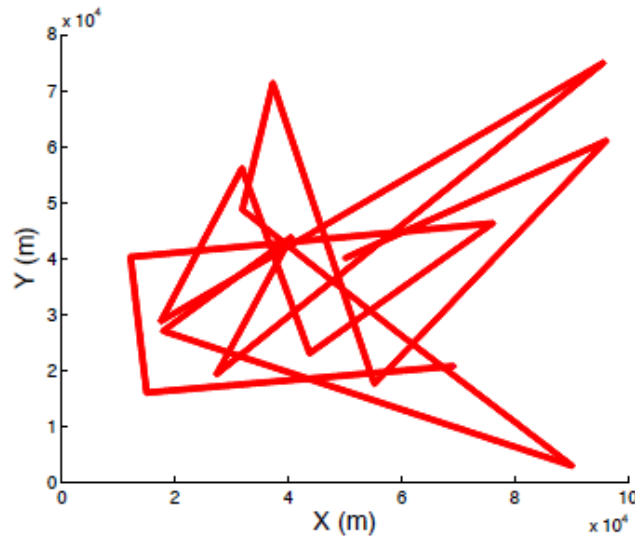


Figura 6: Trajetória utilizando o modelo RWP [30]

Por outro lado, o modelo Paparazzi é um modelo de mobilidade baseado em *traces* reais, ou seja, foi desenvolvido baseado em movimentos de aeronaves reais. Deste modo, este modelo fornece informações de mobilidades mais precisas que outros modelos randômicos. Este modelo permite que os nós realizem 5 tipos de movimentos comuns em manobras aéreas, como movimentos circulares (*Stay-at*), ovais (*Oval*), em forma de oito (*Eight*), seguir reto (*Waypoint*) ou scanear uma área (*Scan*). Todos esses movimentos têm diferentes probabilidades de ocorrer. Contudo, devido ser um modelo novo, ainda não existem muitos trabalhos na literatura atual que o adotam para análise de desempenho. Dessa forma, além da utilização deste, é necessário o uso do RWP, de modo a provê quadros comparativos da proposta atual com o estado-da-arte apresentado.

2.4 Transmissão Multimídia em Redes Dinâmicas

Com a proliferação de aplicações multimídia e a demanda por novos serviços de áudio/vídeo, ampliou-se a sua utilização em diversos tipos de aplicações. Em aplicações como monitoramento ambiental, vigilância de áreas, controle de tráfego e serviços para cidades inteligentes, o conteúdo multimídia fornece informações mais precisas do que os simples dados escalares, permitindo que o usuário final (ou sistema) possa verificar visualmente o impacto real do evento, tomar consciência do que está acontecendo no ambiente, ajudar a detectar objetos ou intrusos, e planejar ações de acordo com estas informações visuais [33].

No entanto, transmissões multimídia através de comunicação sem fio, principal-

mente em tempo real, trazem novos obstáculos. Este tipo de transmissão necessita de um fluxo regular e contínuo de pacotes, que podem ser afetados por uma variedade de fatores. Em primeiro lugar, tem-se o uso da largura de banda disponível, pois sendo uma transmissão de alto volume de dados, é necessária uma boa largura de banda, de forma a se manter a qualidade do que está sendo transmitido. Ademais, dependendo da quantidade de agentes na rede, estas redes tendem a ter má qualidade em sua conectividade [34]. Por fim, as condições do canal podem oscilar rapidamente ao longo do tempo, devido à alta mobilidade dos nós e das estruturas do terreno, além de outros problemas de comunicação sem fio como o ruído e a interferência de canal [35].

Embora existam muitos obstáculos ao se utilizar meios sem fio para transmissões multimídia, algumas técnicas de correções de erros podem ser aplicadas para prover transmissões robustas e mais confiáveis. Dentre as existentes, pode-se citar algumas, como [36]:

- Automatic Repeat Request (ARQ): é um método de controle de erro que utiliza um mecanismo de retransmissão, quando os pacotes de dados são perdidos. Além disso, quando ocorrem erros, o protocolo ARQ introduz um atraso adicional variável entre as retransmissões, *overhead* e um custo de consumo de energia, embora possa superar outros esquemas quando as condições do canal são adequadas.
- Forward Error Correction (FEC): É um mecanismo onde o nó remetente acrescenta alguns pacotes redundantes para os pacotes de origem e transmite-os para o nó destino. A redundância de informação é utilizada pelo destino para detectar e corrigir erros. Dependendo da quantidade e estrutura da redundância, o nó destino pode receber pacotes livre de erro, mesmo se ocorrer alguns erros de bits de transmissão.
- Erasure Coding (EC): É um esquema de controle de erros para FEC, em nível de aplicação, que é usado para lidar com perdas em comunicação em tempo real. Este esquema pode provocar um atraso adicional, uma vez k pacotes devem ser bufferizados antes dos processos de codificação e decodificação na camada de aplicação.

A medição de nível de qualidade multimídia alcançada ao final da transmissão pode ser dada por diferentes abordagens. As abordagens tradicionais são focadas apenas em parâmetros em nível de rede, como largura de banda, perda de pacotes, atraso e jitter, que têm sido usados para avaliar questões de Qualidade de Serviço (QoS). No entanto, QoS por si só é insuficiente em termos de percepção subjetiva do usuário [37]. Dessa forma, são utilizadas também métricas de QoE, pois estas conseguem avaliar a qualidade do conteúdo a partir da percepção do usuário.

As métricas de QoE são divididas em objetivas e subjetivas, onde elas relacionam um resultado quantitativo a uma faixa de valores qualitativos. As métricas objetivas são dadas através de modelos matemáticos, os quais quantificam a qualidade do vídeo recebido e o mapeia para valores qualitativos. Por outro lado, as métricas subjetivas necessitam da análise visual de um grupo de pessoas quanto à qualidade do vídeo, os resultados são dados de acordo com a percepção dos avaliadores e de acordo com uma escala de valores qualitativos pré-estabelecida.

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) [38], *Video Quality Metric* (VQM) [39], *Structural Similarity Index Metric* (SSIM) [40], são algumas das métricas objetivas existentes que mapeiam a qualidade do vídeo de acordo com a percepção do usuário. Para o presente trabalho, utilizou-se a métrica SSIM, pois, embora o PSNR e o VQM sejam métricas fáceis de calcular, sua correlação geral com a qualidade da imagem percebida provou-se ser baixa [41].

SSIM é uma métrica que envolve medição *frame-a-frame* de três componentes, sendo eles, luminosidade, contraste e semelhança estrutural. Ele também mede a distorção estrutural do vídeo, e visa obter uma melhor correlação com a percepção subjetiva do usuário. Por isso, combina estes componentes em um único valor, chamado índice. O índice SSIM é um valor decimal entre 0 e 1, onde 0 significa que não há correlação com a imagem original (baixo nível de qualidade de vídeo), e 1 significa exatamente a mesma imagem (nível de alta qualidade de vídeo) [39] [42].

2.5 Conclusões do capítulo

Este capítulo tem por objetivo apresentar uma revisão sobre as FANETs e suas características. Foram apresentadas as vantagens e desvantagens da utilização de FANETs para os diversos tipos de aplicações, além dos tipos de comunicação adotados nessas redes. Ademais, são descritos os diferentes tipos de modelos de decisão adotados em aplicações de FANETs, a importância da correta escolha do modelo certo para a aplicação utilizada e seu impacto nos recursos e desempenho da rede. Finalmente, são apresentados os modelos de mobilidade utilizados em FANETs, os quais, assim como os modelos de decisão, também apresentam papel importante no desempenho da rede, dada a aplicação utilizada e o grau de realidade dos movimentos dos nós.

As características das transmissões de conteúdo multimídia encerram o capítulo. Nelas são apresentados os desafios deste tipo de transmissão em redes dinâmicas e os mecanismos adotados para correção de erros e conservação da qualidade do conteúdo. Por fim, são descritas as métricas utilizadas para avaliação deste tipo de conteúdo, além de ser descrito o modo como a métrica adotada realiza tal avaliação. Desta forma, este capítulo apresenta grande importância para o decorrer do trabalho, pois neles são descritos todas as abordagens e mecanismos adotados no mesmo, assim como seus fundamentos, vantagens e desvantagens em suas utilizações.

CAPÍTULO 3

Trabalhos Relacionados

Este capítulo tem como objetivo apresentar trabalhos relacionados a abordagens de decisões aplicadas em cenários com transmissões multimídia. São discutidas as principais características e abordagens de cada trabalho. Além disso, são discutidas as vantagens e deficiências dos trabalhos em relação ao modelo de decisão adotada para cada tipo de cenário utilizado.

3.1 VIGILANT: situation-aware quality of information interest groups for wireless sensor network surveillance applications

O VIGILANT [6] é um sistema que utiliza uma abordagem de formação de grupos dinâmicos baseados em contexto. Foi utilizada uma aplicação de vigilância, onde os nós atuam de forma colaborativa para detectar, adquirir e verificar informações de maneira eficiente sobre possíveis ameaças, dentro de uma região específica de interesse. Além disso, através da formação de grupos, os nós tomam decisões adaptativas que são relevantes para o contexto da aplicação, melhorando a qualidade e a pontualidade das mesmas, especialmente, no que se refere à capacidade de detecção de ameaças. Contudo, para aplicações mais complexas, transferir a decisão, do que os autores chamam de iniciador de grupo, para a rede, preveniria o controle centralizado, melhorando ainda mais o desempenho da rede, assim como reduziria o *overhead* e o gasto energético das trocas de mensagens de controle.

3.2 Fast aerial image acquisition and mosaicking for emergency response operations by collaborative UAVs (FAMOUS)

Os autores desenvolveram o *Fully Autonomous Multi-UAV Operation System* (FAMOUS) [43], um sistema que utiliza uma arquitetura de FANET para dar suporte a equipes de resgate em cenários de desastre. Com base em uma descrição de tarefas, os VANTs voam autonomamente sobre uma área definida e fornecem uma visão geral da área através de imagens de alta resolução. Foi demonstrada a utilização do sistema em uma aplicação real em larga escala de combate a incêndio, mas os autores não consideram qualquer tipo de métrica relacionada ao estado da rede ou de QoE, como por exemplo, largura de banda disponível ou o custo energético da proposta, de maneira a assegurar a entrega das imagens e a qualidade das mesmas. A Figura 7 apresenta a arquitetura do sistema.

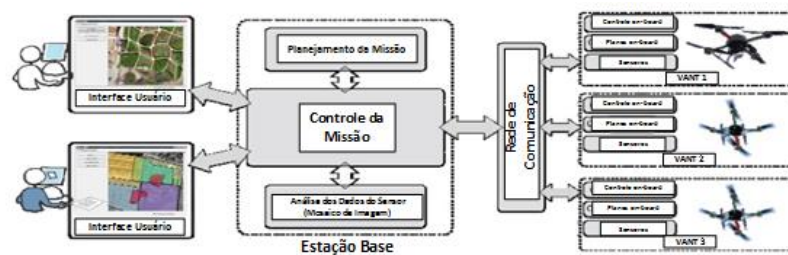


Figura 7: Arquitetura do FAMOUS. Adaptado de [43].

3.3 Exploiting the sensing relevancies of source nodes for optimizations in visual sensor networks

Os autores introduziram o conceito da relevância da informação (*Sensing Relevance* - SR) dos nós fontes [7]. Em uma determinada rede, os nós podem prover conteúdo com diferentes relevâncias de acordo com os requisitos de monitoramento da aplicação (alvos ou cenas a serem monitoradas), como ilustrado na Figura 8. A relevância de cada nó é uma função direta de tais requisitos, ao invés de características da rede. Os autores utilizaram o SR para uma aplicação de eficiência energética e outra de controle de congestionamento na rede. Porém, o cálculo do SR de cada nó requer uma visão global da rede em ambas as aplicações, exigindo processamento centralizado. Assim a proposta é dependente da comunicação com o nó gerenciador da rede.

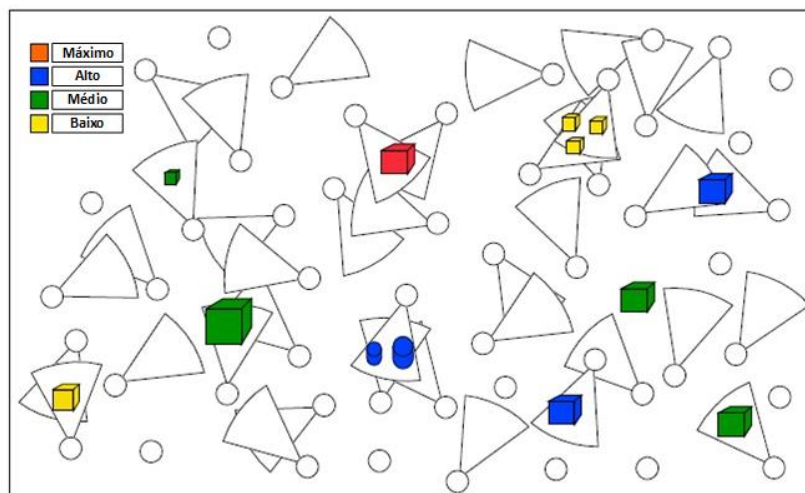


Figura 8: Grupos de relevância baseados nos alvos monitorados. Adaptado de [7].

3.4 A decentralized approach for information dissemination in Vehicular Ad hoc Networks

Os autores desenvolveram uma abordagem descentralizada para disseminação de informação em VANETs, onde se focam principalmente em disseminação de informações críticas em situações de emergência [44]. Baseando-se na abordagem de colônia de formigas (*Ant-colony*), os autores criaram duas estratégias de disseminação de informação inspirando-se nos feromônios das formigas. Eles também adotam o princípio da relevância da informação, relacionando-o de acordo com a severidade e tipo do evento ocorrido na via. Além disso, levam em conta o tempo de duração da mensagem, a distância do evento e a abrangência geográfica do mesmo para as tomadas de decisões quando ao repasse das mensagens e as possíveis ações a serem tomadas como contramedidas. Contudo, os autores não avaliam a proposta quanto à quantidade de *overhead* gerado pela abordagem em casos de n veículos detectarem o mesmo evento, ademais, como estão tratando de situações de emergências, seria interessante os autores disseminarem imagens ou vídeos, além de apenas mensagens, assim o usuário teria uma compreensão melhor da situação do local do evento, o que aumentaria a confiabilidade da informação além de contribuir para melhores escolhas de ações e contramedidas.

3.5 Quality-based event reliability protocol in wireless sensor networks (QERP)

O QERP [45] é um protocolo que assume que os dados gerados por cada nó na rede, apresentam diferentes graus de contribuição (*Contribution Degree - CD*) para a detecção do evento. De forma a assegurar eficiência energética e prevenir congestionamento na rede, os autores utilizam uma abordagem de formação de grupos a qual consiste em dois processos, seleção e transporte. Na fase de seleção, através de colaboração é escolhido

um nó líder em cada grupo, o qual é responsável por selecionar os nós que transmitem dados para o destino, de acordo com seu CD. Enquanto que na fase de transporte, é adotada uma abordagem de gerenciamento do buffer e de balanceamento de carga, ambas baseadas no CD dos nós transmissores. Embora os autores alcancem resultados quanto à eficiência energética e controle de congestionamento, os mesmo não deixam claro como é feita a eleição dos nós líderes dos grupos através de colaboração, ademais, não analisam a abordagem de gerenciamento do buffer baseada no CD dos nós quanto ao custo do algoritmo para organizar e selecionar os pacotes a serem descartados.

3.6 Efficient data collection in multimedia vehicular sensing platforms

Em uma *multimedia vehicular sensor networks*, os autores exploram técnicas de otimização submodulares para sistemas de aquisição de dados robustos e eficientes [46]. Eles também propuseram uma abordagem que utiliza distribuições espaço-temporais para agregar informações de maneira menos centralizada. Os autores alcançaram bons resultados quanto à minimização da quantidade de imagens necessárias para reconstrução das cenas capturadas na via, e aos requisitos de latência da aplicação de monitoramento. Contudo, os autores se preocupam apenas com a precisão da cobertura da cena capturada, e não utilizam nenhuma métrica de QoE para avaliar a qualidade das imagens capturadas e da cena reconstruída a partir dessas imagens. Assim, dado que os autores assumem um cenário com largura de banda limitada, além de assegurar uma maior precisão da cobertura do evento, os autores garantiriam um nível mínimo de QoE ao usuário

3.7 Conclusões do capítulo

Tabela 1: Comparação entre os sistemas de decisão

Trabalhos	Modelo de decisão	Relevância da informação	Recursos e requisitos da rede	QoE
VIGILANT [6]	Híbrida	Sim	Sim	Não
FAMOUS [43]	Centralizada	Não	Não	Não
Costa e Guedes [7]	Centralizada	Sim	Sim	Sim
Medetov et al. [44]	Descentralizada	Sim	Não	Não
QERP [45]	Híbrida	Sim	Sim	Não
Bruno e Nurchis [46]	Centralizada	Sim	Sim	Sim

Com base na análise dos trabalhos relacionados, conclui-se que é essencial levar em consideração múltiplas métricas para a tomada de decisão em relação à escolha do nó que irá transmitir o conteúdo multimídia. Dadas as formas de decisão apresentadas em

cada um dos trabalhos, foi observado que, de maneira geral, é fundamental estar ciente dos recursos e requisitos da rede, além de ter capacidade de identificar o contexto da mesma e de responder a eventuais mudanças que possam ocorrer, sem a dependência de centralizar tais decisões. Contudo, não foram vistas formas de adaptar todos esses requisitos em um sistema de forma eficiente. Ademais, não foram encontradas na literatura vista, propostas que levam em consideração a necessidade de se assegurar e avaliar QoE em aplicações multimídia. Finalmente, na Tabela 1 são relacionados os trabalhos supracitados com as principais características que, de maneira geral e baseado na revisão da literatura realizada, impactam no desempenho de um sistema de decisão, ressaltando a utilização ou não de tais características no processo de decisão.

CAPÍTULO 4

SISTEMA DE DECISÃO COLABORATIVA PARA TRANSMISSÃO MULTIMÍDIA EM FANET

O sistema proposto considera informações sobre o SR, energia residual, a mobilidade do nó fonte e a largura de banda disponível para a tomada de decisão colaborativa sobre qual nó irá transmitir o vídeo de um determinado evento. Cada VANT próximo ao evento calcula seu Fator de Decisão (FD), o qual permite decidir de modo colaborativo e distribuído, os melhores nós fonte para capturar o vídeo do evento. Dessa forma, é possível assegurar um equilíbrio na utilização dos recursos da rede, prolongar seu tempo de vida e reduzir o *overhead*.

4.1 Arquitetura do Sistema

A Figura 9 ilustra a arquitetura de software dos VANTs, a qual é composta pelos módulos de Percepção, de Comunicação e de Decisão. O módulo de percepção permite aos VANTS capturar imagens da área monitorada, além da identificação da ocorrência de eventos, por exemplo, a existência de fogo para uma aplicação de combate a incêndio. Este módulo também é responsável por analisar e fornecer aos outros módulos o SR da imagem capturada, reduzindo o gasto de recursos da rede por VANTs com baixa relevância.

O módulo de comunicação é responsável por auxiliar os VANTs a disseminarem na rede a detecção do evento na área, bem como o FD de cada VANT. A disseminação deve ser realizada de forma eficiente, ou seja, com baixo *overhead*, baixo congestionamento e sem desperdício de recursos da rede, além de assegurar o mínimo de qualidade necessária durante a transmissão do vídeo para as equipes de apoio.

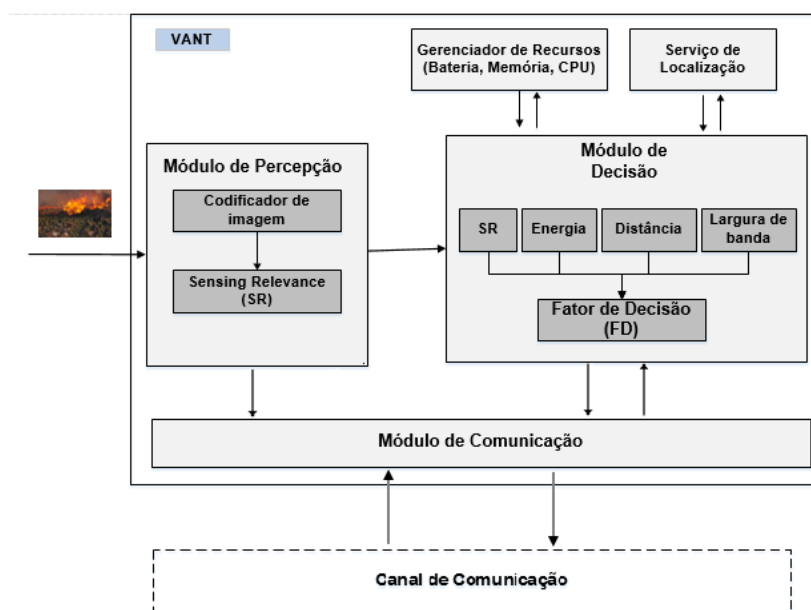


Figura 9: Arquitetura dos Módulos.

O módulo de decisão é o responsável por permitir que os VANTs decidam qual o melhor nó para transmitir o vídeo de forma distribuída e colaborativa. Este módulo é considerado como o núcleo do sistema, pois ele é o responsável por computar o FD de cada VANT. Ele também decide, através da colaboração com outros nós, se o nó deve ser incluído ou excluído da seleção dos nós fonte. Por fim, este módulo faz também o balanceamento dos recursos do nó, de forma a prolongar o tempo de vida da rede.

4.2 Módulo de Percepção

Cada VANT é equipado com um rádio transmissor, uma câmera, um codificador de imagem e capacidade de processamento e energia limitados. Segundo Medjo Me Biomo et al. [29], um modelo de mobilidade que permite que os nós se movam independentemente um do outro é mais apropriada em missões de busca onde uma grande área precisa ser analisada. Dessa forma, os VANTs voam de forma independente entre si para monitorar a área de interesse, e periodicamente capturam imagens para detectar a ocorrência de eventos em uma determinada região. Com o auxílio do módulo de percepção, o VANT irá capturar uma imagem da área monitorada e computar o valor de SR da informação adquirida.

Para o presente trabalho, utilizou-se como estudo de caso uma aplicação de detecção de incêndio em área florestal, dessa forma, para ser capaz de detectar corretamente a existência de fogo em uma imagem, é necessário empregar um modelo de cor adequada para se realizar com eficácia a detecção de *pixels* de fogo na imagem. Chen et al. [47] introduziram três regras necessárias para uma segmentação eficaz de *pixels* de fogo em uma imagem colorida. A fim de reduzir a complexidade computacional, o modelo de cor RGB é empregado no algoritmo proposto pelos autores devido sua simplicidade. As três

regras necessárias para a segmentação da região de fogo da imagem, são definidas como:

- Regra 1: $R > RT$
- Regra 2: $R > G > B$
- Regra 3: $S > (255 * R) * ST / RT$

Onde, os valores de R, G e B correspondem aos valores das matrizes vermelha, verde e azul do padrão RGB, respectivamente. O valor de saturação das chamas é dado por S, e define-se ST e RT como limiares específicos previamente estabelecidos no algoritmo. De acordo com os autores, nas regras de decisão, os valores típicos de ST e RT variam entre 55 a 65 e 115 a 135, respectivamente.

Tabela 2: Valores de SR para cada nível de relevância

Relevância	Intervalo de valores	SR
Irrelevante	0	0
Baixa	1 – 3	1
Média	4 – 6	2
Alta	7 – 9	3
Máxima	10	4

Esse módulo também é responsável por calcular o SR da informação capturada por cada VANT. Com base no algoritmo de detecção de fogo apresentado acima e no conceito de SR, foram desenvolvidas algumas modificações no algoritmo, de maneira que ele possa ser adaptado ao objetivo do trabalho. Para o sistema proposto, a imagem é processada e quantizada quanto à porcentagem de *pixels* de fogo existentes na mesma (intervalo de valores). Tal porcentagem é sumarizada quanto ao nível de SR de cada VANT para a aplicação. Assim, de acordo com as faixas de intervalo de valores definidas, os VANTs podem receber cinco valores de SR, variando de 0 a 4. De acordo com o valor de SR, os VANTs estão aptos ou não a executar tipos de tarefas específicas. A Tabela 2 ilustra a relevância de cada VANT para aplicação, de acordo com o seu SR.

- **Irrelevante (SR = 0)**. Isso acontece quando o VANT captura informações visuais com nenhuma relevância para aplicação. Por exemplo, capturar imagens de rios, de áreas sem vegetação, ou seja, onde não há a presença de fogo. Nestas situações, o VANT funciona apenas como nó de encaminhamento (*relay node*), onde sua função é unicamente a de repassar os pacotes dos nós fontes até o destino.
- **Baixa Relevância (SR = 1)**. Geralmente, são os VANTs que capturam informações mínimas para aplicação, ou estão na borda da área de ocorrência do evento, onde o ganho de informação é mínimo. Esses VANTs funcionam prioritariamente como *relay nodes*, porém, podem ser utilizados pra transmitir algumas informações complementares da área, caso a aplicação necessite delas.

- **Relevância Média (SR = 2).** São os VANTs com um ganho de informação considerável para a aplicação. VANTs com esse nível de relevância são considerados como candidatos na seleção do nó fonte, realizada pelo módulo de decisão.
- **Relevância Alta (SR = 3).** É atribuída aos VANTs que capturam informações visuais cruciais da área monitorada. Nesses casos, devido seu maior ganho de informação, os VANTs possuem maior prioridade na decisão do nó fonte.
- **Relevância Máxima (SR = 4).** Este é o valor de relevância máxima para a aplicação, a qual é atribuída a apenas um pequeno número de nós fontes, geralmente um ou dois. Isso se deve ao fato de que os nós fonte precisam estar exatamente no centro do evento, na hora da detecção, para conseguirem obter valores máximos, o que ocorre com uma frequência muito baixa.

Portanto, quanto maior a porcentagem de *pixels* de fogo capturada pelo VANT, maior será o SR calculado, ou seja maior será a sua relevância para o sistema, e consequentemente, mais rica será sua informação visual para as equipes de apoio. Assim, VANTs com valores de SR maiores, possuem maior influência no cálculo do FD pelo módulo de decisão e na seleção quanto ao melhor nó fonte para transmitir o vídeo. Assim, o módulo de percepção encaminha seu valor de SR, caso seja relevante, para os outros dois módulos até que execute novamente outra captura de imagem.

4.3 Módulo de Comunicação

O objetivo principal do módulo de comunicação é otimizar a troca de informações e minimizar o *overhead* na rede. Assim, logo após o módulo de percepção detectar a ocorrência de um evento, tal como a presença de fogo em determinada região (ou seja, $SR > 1$), o nó que detectou (nó iniciador) transmite em *broadcast* seu SR para todos os nós vizinhos que se encontram a, no máximo, um salto de distância. Segundo Wittenburg et al. [48], não é necessário compartilhar a detecção do evento para os nós mais distantes, pois para a maioria dos cenários, o raio de cobertura do rádio é maior que o alcance espacial do evento. Para esses casos raros, onde o alcance do evento é maior que o raio de cobertura do rádio, a informação pode ser compartilhada, para os nós vizinhos, utilizando técnicas de inundação limitada (*limited flooding*), porém, com aumento no *overhead* da rede.

Para que o alerta de detecção do evento e as trocas de informações entre os VANTs atendam aos objetivos da proposta, são feitas duas premissas. A primeira informa que os VANTs que estiverem no alcance do nó iniciador precisam de informações referentes à localização do mesmo e a largura de banda disponível para comunicação. A segunda é que, quanto mais mensagens forem trocadas entre os VANTs, mais precisas as informações serão, porém, maior será o *overhead* e a interferência de outros rádios. Deste modo, é utilizado um protocolo de roteamento oportunístico *beaconless* [42] para realizar a troca de mensagens na rede. Tal protocolo aumenta o desempenho da rede, adotando uma

decisão distribuída de encaminhamento de pacotes com base nas características específicas do protocolo, além de economizar recursos como energia e largura de banda, devido à ausência da necessidade de se trocar mensagens de controle (*beacons*) entre os nós.

O sistema proposto adota também uma abordagem de monitoramento passivo para medir as condições da rede de forma não invasiva e sem gerar *overhead* [49]. Assim, quando o nó iniciador dissemina sua detecção na rede através de uma mensagem em *broadcast*, cada nó vizinho conseguirá saber a posição e o valor do SR do nó iniciador, a largura de banda disponível e a interferência do canal, sem precisar trocar diversas mensagens de controle para isso, pois o nó inclui essas informações no pacote. Tais informações são repassadas para o módulo de decisão dos vizinhos, onde são mensuradas e computadas para se obter o valor do FD de cada VANT.

4.4 Módulo de Decisão

O módulo de decisão é o responsável por permitir que os VANTs decidam de forma distribuída e colaborativa, sobre o melhor nó para transmitir o vídeo. Além de ser também o responsável por ponderar e equilibrar o gasto dos recursos da rede através do cálculo do FD, o qual leva em consideração quatro métricas: o SR, a energia residual do nó fonte (E), a mobilidade do nó, dada pelo valor associado da distância do nó em relação ao destino (D) e a largura de banda disponível (BW). Cada uma das métricas habilita ou exclui o VANT da seleção do nó fonte, além de cada uma ter sua própria relevância para cada tipo de cenário. Tais métricas são sumarizadas a seguir.

4.4.1 Energia

O consumo de energia em cada nó depende de um conjunto de fatores e tarefas, como se locomover pela área monitorada, capturar, processar e transmitir vídeos, o tipo de rádio empregado, o poder de transmissão utilizado, entre outros. Nós com baixo nível de energia não são capazes de realizar toda a tarefa de transmitir o vídeo, ou de conseguir continuar se locomovendo, podendo acarretar em falhas de voo ou acidentes. Dessa forma, foram realizados testes empíricos, de modo a definir níveis mínimos de energia necessária para assegurar a correta execução das tarefas.

Como resultado, foi constatado que o gasto dos nós para transmitir um vídeo codificado no padrão H.264 em 300 kbps, a 30 quadros por segundo, tamanho do *Group Of Pictures* (GoP) de 18 e formato de 352 x 288 *pixels*, foi aproximadamente de 761 Joules¹. Assim, para o estudo de caso adotado, citado anteriormente, estipulou-se que o nível mínimo de energia de um nó para a transmissão do vídeo é de 760 Joules, pois, adotando uma situação de emergência, assume-se que a prioridade seria o encaminhamento da informação à equipes de apoio. Para aplicações não emergenciais, tal limiar poderia ser em torno de 780 Joules, sendo assim o nó teria energia para pousar ou regressar a base

¹Valor obtido do simulador

após a transmissão. Dessa forma, a qualificação de energia para nós com 3000 Joules, capazes de transmitir até 3 vídeos da área, é sumarizada na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de E para cada nível de energia

Descrição	Nível	E
Relay node	< 760 J	0
Regular	760 J < & < 1480 J	1
Bom	1480 J < & < 2240 J	2
Ótimo	2240 J <	3

Nós com níveis de energia $E = 3$ e $E = 2$ (Ótimo e Bom, respectivamente), são os melhores candidatos na seleção de nós fonte, tendo o maior valor mais relevância na seleção, e, conseqüentemente no seu FD. Já nós com nível de energia $E = 1$ (Regular), apenas transmitem o vídeo se necessário, isto é, no caso de não haver mais nós na área com níveis melhores. Por fim, nós com energia $E = 0$, funcionam apenas como *relay nodes*, provendo suporte a comunicação e conectividade na rede.

4.4.2 Mobilidade

Depois do SR e da energia, a mobilidade é outro fator considerado na proposta. Em uma transmissão de vídeo em tempo real, o atraso é ponto crucial no seu desempenho, assim, quanto mais distante o nó fonte estiver do destino (central de controle, equipes de resgate, *Base Station*, etc), mais saltos os pacotes terão que realizar para chegar ao mesmo, e maior será o atraso da informação. Além disso, quanto maior a quantidade de saltos necessários para transmitir o pacote, maior será o número de retransmissões necessárias pelos *relay nodes*, acarretando um maior gasto energético pela rede e tornando a transmissão mais suscetível a falhas ou perdas de pacote.

Adotando modelos de mobilidade randômicos para a aplicação utilizada, relacionou-se a direção e o sentido de movimentação do nó com a sua distância em relação ao destino. Logo, o nó conhecendo sua localização atual, a localização do ponto para o qual está se movendo, e a localização do destino, o nó poderá calcular sua distância em relação a este ultimo. Dessa forma, utilizou-se uma função de regressão linear para definir a relação entre a distância e os valores associados da variável D para cada uma [50]. Na Equação 4.1, tem-se a função de regressão linear adaptada ao contexto do projeto, onde D é o valor que se quer atingir, X é a distância do nó em relação ao destino, θ é o coeficiente de regressão, o qual representa a variação de D em função da variação de uma unidade da variável X, e C é a constante de regressão, que representa o intercepto da reta com o eixo das ordenadas do plano cartesiano.

$$D = \theta \times X + C \quad (4.1)$$

4.4.3 Largura de Banda

Como citado anteriormente, transmissões multimídia exigem alta largura de banda, logo, a relevância da largura de banda disponível é levada em consideração como última métrica do FD. Segundo Kowalik et al. [49], a análise da largura de banda é usada como uma medida de carga de tráfego, pois se baseia na duração dos intervalos ocupados (T_{busy}) e ociosos (T_{idle}), que são normalizados e combinados com a taxa de transmissão (TX_{rate}), como ilustrado na Equação 4.2. Ademais, utilizando monitoramento passivo, é possível avaliar as condições do canal sem desperdício de recursos, e assim, avaliar a relevância de cada nó sem prejuízo ao desempenho da rede.

$$BW = (T_{idle}/T_{busy} + T_{idle}) \times TX_{rate} \quad (4.2)$$

4.4.4 Fator de Decisão

Como citado anteriormente, o Fator de Decisão dos nós é computado utilizando as métricas supramencionadas. Porém, antes de chegar a computar seu FD, e com o intuito de reduzir a quantidade de candidatos a nó fonte participantes na seleção, onde no pior caso teria n nós participantes, desenvolveu-se um algoritmo que provê carácter classificatório ou eliminatório às métricas utilizadas. Assim, cada VANT executa localmente o algoritmo após receber o pacote do nó iniciador, desta maneira, limita-se a seleção a um grupo menor de nós participantes, exigindo menos recursos da rede e promovendo eficiência energética.

Algoritmo 1: Classificação

```

1 se  $SR < 2|E = 0|D_n > D_{ni}|BW < \text{threshold}$  então
2   |  $Nó \leftarrow \text{Relay Node};$ 
3 senão
4   |  $\text{calcular } FD();$ 
5 fim

```

Dado o estudo de caso utilizado, onde se tem uma situação emergencial, o objetivo do trabalho em provê conteúdo útil ao usuário final minimizando o gasto de recursos, e baseado em trabalhos presentes do estado-da-arte, como [4], [51] e [52], definiu-se a escala de prioridade de checagem das métricas sendo $SR > E > D > BW$. Frequentemente, situações críticas necessitam de monitoramento com o maior ganho de informação possível e boa qualidade visual, dessa forma, nós com SR irrelevante ou baixo não influenciam no ganho de informações críticas para a aplicação. Ademais, o nó escolhido irá transmitir fluxos de vídeo constantes, o que resulta na transmissão de mais pacotes pelo mesmo, ou seja, o nó irá demandar um consumo de recursos e gasto energético maior que os outros nós na rede. Por fim, em decorrência do evento crítico, a informação transmitida pelo nó escolhido precisa chegar ao destino com um atraso menor que em transmissões comuns, além de necessitar de uma alta largura de banda, dado o volume de dados transmitidos e

o carácter emergencial da aplicação.

Seguindo o raciocínio explicado, é apresentado o Algoritmo 1, onde são cheçadas cada uma das métricas seguindo a escala de prioridade estabelecida, sendo que para distância é comparada a distância do nó atual (D_n) com a do nó iniciador (D_{ni}), e a largura de banda comparada a um limiar (*threshold*) previamente estabelecido. Dessa forma, o nó não se classificando em uma das métricas, automaticamente se intitula como *relay node*, e não desperdiça recursos trocando informações com outros nós.

Dadas as métricas utilizadas para o cálculo do FD, foram analisadas algumas abordagens para resolver problemas de decisão com múltiplas variáveis, como o Modelo Markoviano de Decisão Descentralizada [53], Modelo de Regressão Linear [54], Função de Valores Distribuídos [55], e Função de Utilidade, entre outros. Dentre as analisadas, optou-se por cada VANT computar seu FD utilizando função de utilidade, devido a sua menor complexidade e boa capacidade de aplicação em problemas que utilizam múltiplas métricas, apresentando uma forma analítica de comparação e de representação de preferências entre variáveis [56].

Esta função é uma modelagem do conceito de utilidade, que faz uma ordenação dos benefícios que um consumidor auferir de cada bem ou serviço, de acordo com a satisfação que estes lhe trarão. A função utilidade atribui a cada elemento da função um valor numérico, o que permite ordenar os elementos de acordo com as preferências do agente, onde o elemento com maior valor é o que apresenta maior preferência. Dessa maneira, normalizando a função e adaptando-a ao contexto do trabalho, o FD de cada VANT pode ser definido de acordo com a Eq. 4.3.

$$FD = \alpha \times SR + \beta \times E + \gamma \times D + \omega \times BW \quad (4.3)$$

Ainda seguindo o princípio da utilidade, para cada métrica utilizada são atribuídos pesos diferentes, proporcionais à relevância de cada uma para aplicação, $(\alpha, \beta, \gamma, \omega)$. Para a proposta, a distribuição das métricas segue a ordem de prioridade das mesmas, como citado anteriormente, onde tem-se a métrica SR como mais relevante e a BW como menos relevante. O objetivo principal da proposta é a transmissão de vídeos dos focos de incêndio para as equipes de resgate utilizando o mínimo de recursos da rede e assegurando qualidade ao conteúdo transmitido. Logo, como descrito durante o trabalho, a relevância da informação do conteúdo do vídeo é o fator prioritário na escolha do nó fonte.

4.5 Fases de Decisão

Após a diminuição do número de nós participantes da seleção e do cálculo do FD, cada VANT dissemina seu resultado na região que se encontra o nó iniciador do evento. Esta abordagem é necessária, pois como a abordagem é distribuída, todos os nós participantes agem de forma colaborativa para decidir sobre o melhor nó fonte. Para isso, todos os nós precisam ter conhecimento dos valores do FD dos outros participantes, de

maneira que todos tenham conhecimento do melhor candidato a transmitir o vídeo, sem a necessidade de centralizar essa decisão. Na Figura 10, pode ser observada cada fase do processo de decisão.

Na primeira fase (a), temos a detecção do evento e disseminação em *broadcast* pelo nó iniciador para todos os nós em seu raio de cobertura. Na segunda fase (b), temos a execução do algoritmo pelos VANTs vizinhos do nó iniciador e suas exclusões do processo de seleção do nó fonte, devido seus baixos valores de SR, ou de E; ou por possuírem distância maior que a do nó iniciador, ou pelo congestionamento do canal. Por último (c), temos o resultado da diminuição dos nós participantes da seleção e execução da fase de decisão colaborativa distribuída entre os nós restantes. Nessa fase, consegue-se diminuir o *overhead* na rede, provê uma visão abrangente da área do evento aos nós e capacitá-los a um senso comum sobre o melhor nó fonte.

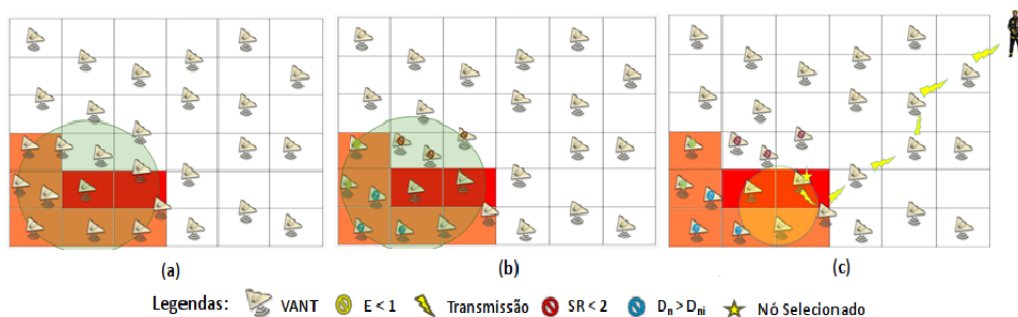


Figura 10: Fases do processo de decisão

Contudo, adotando a possibilidade de todos os nós vizinhos do nó iniciador não estarem aptos a transmitir a informação, uma regra de eliminação adotada pelo Algoritmo 1 é reanalisada. Quando o nó vizinho estiver mais distante que o nó iniciador, porém, possuir $SR > 1$ e $E > 1$ o qualificando em relevância e energia. Para esse cenário, o nó iniciador espera por um período de tempo pré-determinado a resposta de algum nó vizinho, caso ninguém responda, ele reenvia a detecção ativando uma *flag*. Esta *flag* ativa os nós que estão mais distante do nó iniciador a calcularem seu FD, possibilitando, assim, que nós com mais energia e relevância transmitam o vídeo, pois, embora se aumente o atraso da informação e o consumo de energia pela rede, permite-se que o vídeo transmitido tenha relevância para as equipes de resgate. Ou seja, promove-se um *trade-off* entre a relevância e qualidade do vídeo pelo consumo de recursos da rede de forma equilibrada.

Em contrapartida, adotando a possibilidade do nó iniciador possuir $SR = 4$, $E = 3$, estar perto do destino (1 ou 2 saltos no máximo), e possuir uma alta largura de banda do canal, este não necessitará de colaboração para decidir sobre a transmissão do vídeo, tendo em vista que todas as suas métricas possuem valor máximo, permitindo uma transmissão rápida e com pouco gasto de recursos da rede. Esse cenário é entendido como o melhor caso no cenário proposto, mas com uma frequência de ocorrência muito baixa, devido à grande combinação de fatores reais que contribuiriam para a sua não ocorrência.

4.6 Conclusões do capítulo

Este capítulo apresentou a proposta do sistema de decisão colaborativa para transmissões multimídia em FANETs. Este sistema permite, de forma distribuída, que os nós da rede decidam sobre o melhor nó para transmitir a informação coletada. Em relação aos trabalhos apresentados no Capítulo 3, este sistema assimila as principais características que, de maneira geral, impactam no desempenho de um sistema de decisão. Além disso, leva em consideração as vantagens e desvantagens de cada abordagem adotada no trabalho, as quais foram apresentadas no Capítulo 2.

Foram apresentados também neste capítulo, os módulos que compõem o sistema de decisão proposto. Detalharam-se suas arquiteturas e seus modos de operação dentro do sistema. Ademais, foram descritos os parâmetros coletados em cada módulo e sua influência na decisão do nó fonte escolhido. Por fim, demonstrou-se o modo de funcionamento do processo de decisão, suas fases, o tratamento para alguns casos de uso (melhor e pior caso) e a modelagem matemática, através de uma função de utilidade, necessária para se atingir o resultado da decisão.

CAPÍTULO 5

Avaliação de desempenho

Este capítulo descreve a metodologia e as métricas usadas para avaliar o nível de qualidade dos vídeos transmitidos, o tempo de vida da rede, o *overhead* e a acurácia de cada modelo de decisão. Foi avaliado o impacto da mobilidade dos nós com modelos de mobilidade randômicos em diferentes velocidades de movimento.

Mais precisamente, na Seção 5.1 são descritos o cenário de simulação, os parâmetros, os modelos de mobilidade utilizados e também define as métricas de desempenho. Em seguida, a Seção 5.2 apresenta os resultados das simulações quanto à qualidade dos vídeos e sua taxa de perda de *frames*, enquanto que as Seções 5.3, 5.4 e 5.5 apresentam os resultados para o tempo de vida da rede, o *overhead* e a acurácia dos modelos de decisão respectivamente.

5.1 Descrição da Simulação, Parâmetros e Métricas de Desempenho

O desempenho do sistema proposto foi implementado no OMNeT++ framework [57] e avaliado no ambiente de programação do MATLAB [58]. Os VANTs se comunicam utilizando o padrão 802.11g com taxa de transmissão de 11 Mb/s. Cada nó possui uma potência de transmissão de 12 dBm com um raio de transmissão de 60 m, além da capacidade de capturar fluxos de vídeos em tempo real. Os outros parâmetros de simulação encontram-se resumidos na Tabela 4.

O ambiente de monitoração considera uma aplicação de combate a incêndio. Dada as características exploratórias da aplicação em uma área sem informações prévias, adotou-se os modelos de mobilidade *Random Waypoint* (RWP) e *Paparazzi*, implementados através do gerador de mobilidade *BonnMotion* [59]. Nas simulações o destino

encontra-se no ponto (0,95) da área, e os outros nós movem-se seguindo os modelos supracitados.

Tabela 4: Parâmetros da Simulação

Parâmetros	Valores
Número de VANTs	40
Área	100 m x 100 m
Velocidades	5 m/s - 30 m/s
Energia	1000 J
Tempo de Simulação	650 s
Rodadas / Simulação	40
Tempo / Rodada	16 s
Codec de Video	H.264
Taxa de compressão	300 kbps
Taxa de <i>Frames</i>	30
GoP	18
Resolução	352 x 288

O modelo de mobilidade RWP se caracteriza por suas trajetórias retas, onde cada nó se move para um destino escolhido aleatoriamente dentro da região e com uma velocidade selecionada randomicamente dentro dos intervalos estabelecidos. Devido à eliminação de muitos pormenores, este modelo é simples de modelar e implementar, e tem sido amplamente utilizado em análises de desempenho de protocolos e métricas em FANETs [30], como visto em [60], [61] e [62].

Por outro lado, o Paparazzi é um modelo de mobilidade baseado em movimentos reais de VANTs. Para cada um dos movimentos possíveis são estipuladas probabilidades diferentes de ocorrência. De acordo com os autores, *Stay-at*, *Oval*, e *Scan* são os movimentos mais produzidos durante um voo de missão. Dessa forma as probabilidades foram estipuladas em 30% para *Stay-at*, *Oval* e *Scan*, e 5% para *Waypoint* e *Eight*, como definidas em Bouachir et al. [31].

Seguindo o teorema do limite central [63] e de forma a se obter um intervalo de confiança dos resultados, foram realizadas 33 simulações utilizando 33 seeds diferentes com 40 rodadas de duração. Assim, têm-se 33 resultados independentes para cada métrica de cada modelo de decisão. Utiliza-se a média obtida com os 33 resultados coletados. Ademais, o nós utilizam o protocolo CSMA/CA sem mensagens RTS/CTS e retransmissões, com um mecanismo para descartar pacotes, um mecanismo de redundância *QoE-aware*, para adicionar pacotes redundantes apenas nos *frames* mais importantes na camada de aplicação, e utilizam o protocolo XLinGO [42] na camada de roteamento. Os valores utilizados para cada um dos pesos do FD foram $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.2$, $\gamma = 0.2$ e $\omega = 0.1$.

Foram escolhidos os vídeos *Hall*, *container*, *UAV1* e *UAV2* [64], pois os dois primeiros possuem características semelhantes como se um VANT parasse numa deter-

minada área para capturar um vídeo, enquanto que os dois últimos apresentam níveis de movimentação e complexidade similares, comparados a um VANT capturando fluxos de vídeos enquanto está voando.

O objetivo das simulações é avaliar o comportamento dos sistemas de decisão colaborativa distribuída e de decisão centralizada quanto ao desempenho da rede e do vídeo transmitido. O *overhead*, adotado como a quantidade de pacotes transmitidos, representa o número total de pacotes necessários para escolher os melhores nós fontes durante o tempo de simulação estipulado, pois quanto maior o número de pacotes trafegando pela rede, maior será o consumo de recursos e a probabilidade de ocorrerem colisões e congestionamento durante as transmissões.

O tempo de vida da rede será medido através das métricas *First Node Dies* (FND) e *Half of the Nodes Alive* (HNA). O FND denota um valor estimado para a rodada em que o primeiro nó morre, sendo útil em redes esparsas e em cenários como detecção de incêndios, pois é necessário que a maioria dos nós continue vivos o máximo de tempo possível devido a qualidade do serviço da rede decrescer conforme os mesmos morrem. Contudo, em redes densas, a morte de um único nó não é uma questão tão importante, dessa forma utiliza-se a métrica HNA, pois esta denota um valor estimado para a rodada em que metade dos nós continua viva [65]. A qualidade dos vídeos será dada pela métrica *Structural Similarity Index Metric* (SSIM) e pela taxa de perdas de *frames*. Por fim, a acurácia dos sistemas de decisão é dada pela porcentagem de acertos na escolha do melhor VANT baseado no FD disseminado na rede.

5.2 Análise da Qualidade dos Vídeos

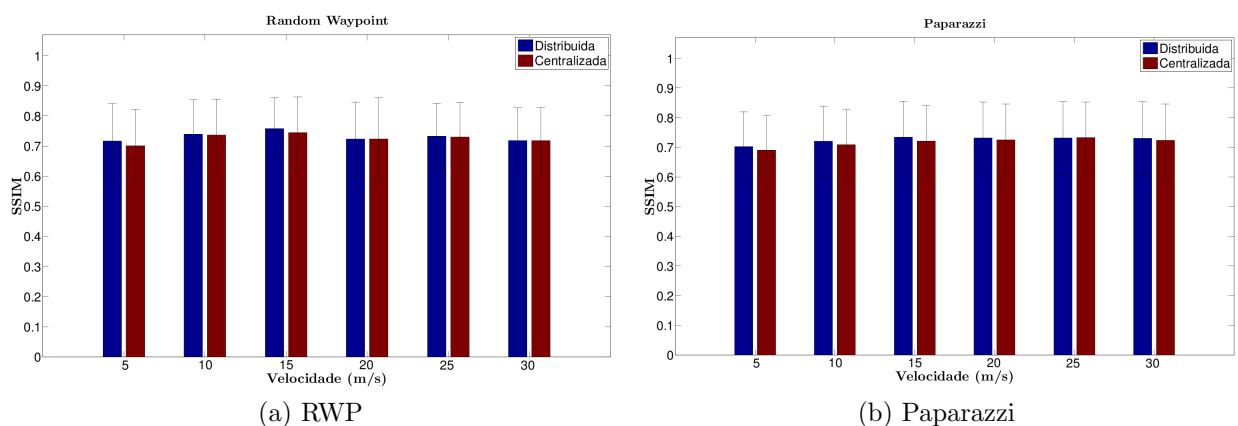


Figura 11: SSIM para cada cenário

A Figura 11 ilustra a qualidade dos vídeos transmitidos medidos por meio da métrica SSIM com diferentes velocidades dos VANTs e diferentes mobilidades. O sistema de decisão colaborativa e distribuída apresentou certo ganho na qualidade dos vídeos em alguns dos cenários, em comparação com o sistema de decisão centralizada, contudo, em

sua grande maioria, os resultados foram bem próximos. Isso se deve ao fato de ambos terem apresentado taxas de perdas de *frames* semelhantes (*Frame loss*), como mostrado na Figura 12, dessa forma, os vídeos recebidos apresentam certa perda na qualidade. Ademais, como ambos os modelos de mobilidade utilizados são randômicos, há momentos que a rede apresenta buracos de comunicação, o que contribui para a perda de pacotes.

Entretanto, devido ao mecanismo de redundância dos *frames* mais importantes utilizado no protocolo, os vídeos conseguem manter a qualidade acima da média para todos os cenários avaliados, desde o mais estático ao mais dinâmico, assegurando dessa forma que a informação capturada possa ser útil ao usuário final.

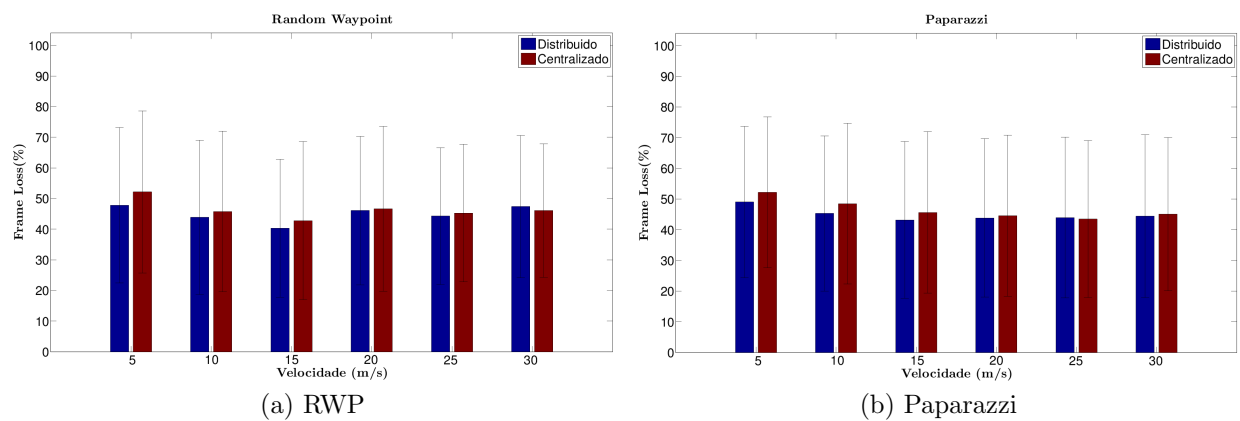


Figura 12: *Frame loss* para cada cenário

5.3 Análise do Tempo de Vida

As Figuras 13 e 14 ilustram o comportamento de cada métrica utilizada para análise do tempo de vida. É possível notar uma diferença no comportamento dos dois modelos de decisão para as diferentes mobilidades utilizadas. Com o RWP, o sistema de decisão distribuída tende a diminuir o número de rodadas do FND a medida que se aumenta a velocidade, enquanto que para o sistema centralizado, o número de rodadas aumenta (vide Figura 13a). Isto ocorre devido o sistema de decisão centralizada necessitar da resposta do nó iniciador sobre o melhor nó fonte. Desta forma, devido às mudanças bruscas de direção do RWP e o tempo de contato entre os nós diminuir conforme o aumento da velocidade, muitas vezes o nó escolhido não recebe a confirmação do nó iniciador a tempo, acarretando em ociosidade na rede, pois nenhum nó transmite o vídeo. Contudo, como a proposta distribuída não necessita da confirmação de escolha do nó, visto que cada nó é capaz de se escolher como nó fonte, em velocidades elevadas, o nó se eleger mais vezes como tal, pois o mesmo não consegue escutar a tempo todos os FDs da área do evento. Assim, embora ocorram mais transmissões, a rede não se torna ociosa, provendo sempre conteúdo útil para as equipes de apoio. Tal comportamento pode ser constatado também na Figura 15.

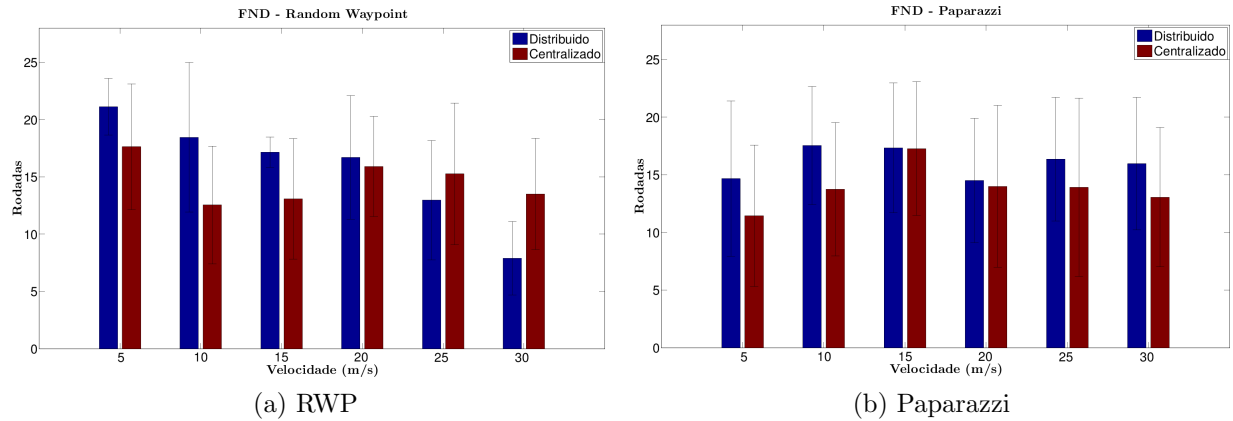


Figura 13: FND para cada modelo de mobilidade

Com o Paparazzi, é possível observar certa homogeneidade nos resultados para as diferentes velocidades. Tanto o sistema distribuído quanto o centralizado, mantém um comportamento mais estável, apresentando uma média de 16 e 13 rodadas de duração, respectivamente. Ademais, o sistema distribuído apresentou uma longevidade maior que o sistema centralizado, para a maioria dos cenários. Todos esses resultados se devem ao comportamento dos nós, pois, mesmo aumentando sua velocidade, como estes não são limitados a movimentos retilíneos, ao executarem movimentos como *Stay-at*, *Oval* ou *Eight*, tendem a permanecer na mesma área de cobertura por mais tempo. Dessa forma, os nós conseguem escutar com mais precisão a todos os FDs na sua área, ocorrendo menos transmissões duplas como no RWP.

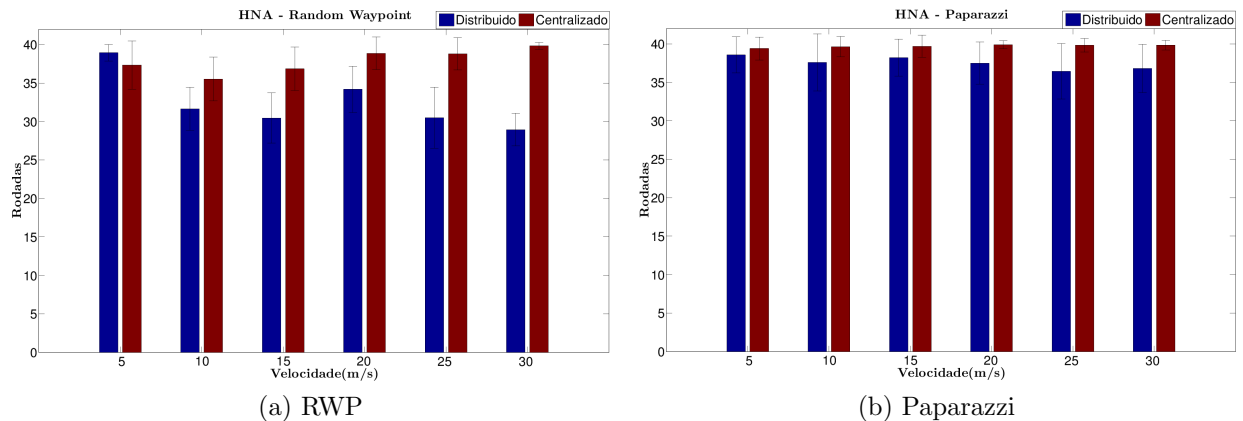


Figura 14: HNA para cada modelo de mobilidade

Analisando por meio do HNA, pode-se observar que o sistema centralizado apresenta maior longevidade do que a proposta do presente trabalho, conforme ilustrado na Figura 14. Contudo, isso se deve ao mesmo fator descrito no FND, para ambas as mobilidades. Para o RWP (Figura 14a), como a rede apresenta momentos de ociosidade,

sem nenhum nó transmitindo vídeo, tem-se ao final da simulação a maioria dos nós ainda vivos. Em contrapartida, como o Paparazzi apresenta um equilíbrio maior no gasto de energia, tem-se uma longevidade maior tanto do sistema centralizado, quanto do sistema distribuído (Figura 14b). Além disso, o sistema distribuído apresentou resultados bem próximos ao centralizado, mantendo a maior parte dos VANTs vivos durante grande parte da simulação.

Por fim, a rede se abdicar de provê conteúdo útil para as equipes de resgate, como acontece no sistema centralizado, é um comportamento proibitivo, uma vez que isso pode acarretar em perdas materiais e humanas, dada uma situação de emergência. A Figura 15 ilustra esses dados, onde se tem o número de vídeos transmitidos por cada sistema. Nota-se que, para velocidade elevadas, o sistema centralizado reduz seu número de transmissões em ambas as mobilidades, enquanto que a proposta distribuída apresenta um aumento do mesmo, devido à ocorrência de transmissões simultâneas. Logo, a proposta apresenta um melhor equilíbrio entre a capacidade de fornecer conteúdo visualmente útil e o tempo de vida da rede.

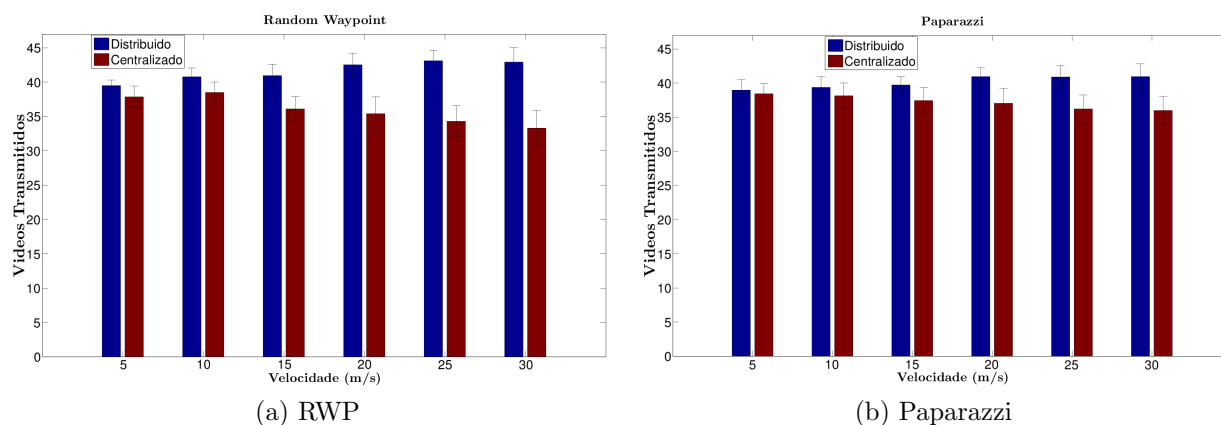


Figura 15: Quantidade de vídeos transmitidos

5.4 Análise do Overhead e Acurácia da Escolha

O sistema de decisão centralizada apresentou um alto volume de pacotes para decidir sobre o melhor nó fonte, devido os nós precisarem enviar seus FDs para o nó iniciador e aguardar que o mesmo responda sobre o melhor nó. Neste tipo de sistema, observou-se também que o nó iniciador nem sempre escolhia o melhor nó para ser o nó fonte, pois dado o volume de transmissões realizadas, ocorriam colisões que o impediam de receber o FD daquele nó (vide Figura 17). Em contrapartida, a proposta apresentou uma quantidade muito menor de pacotes necessários para decidir sobre o melhor nó fonte, quando comparada com o sistema centralizado. Observou uma média de 111 pacotes transmitidos pela proposta para cenários com o RWP e 102 pacotes com o Paparazzi,

enquanto que para o sistema centralizado, obteve-se uma média de 422 e 520 pacotes transmitidos com o RWP e o Paparazzi, respectivamente. Tais comportamentos podem ser observados na Figura 16.

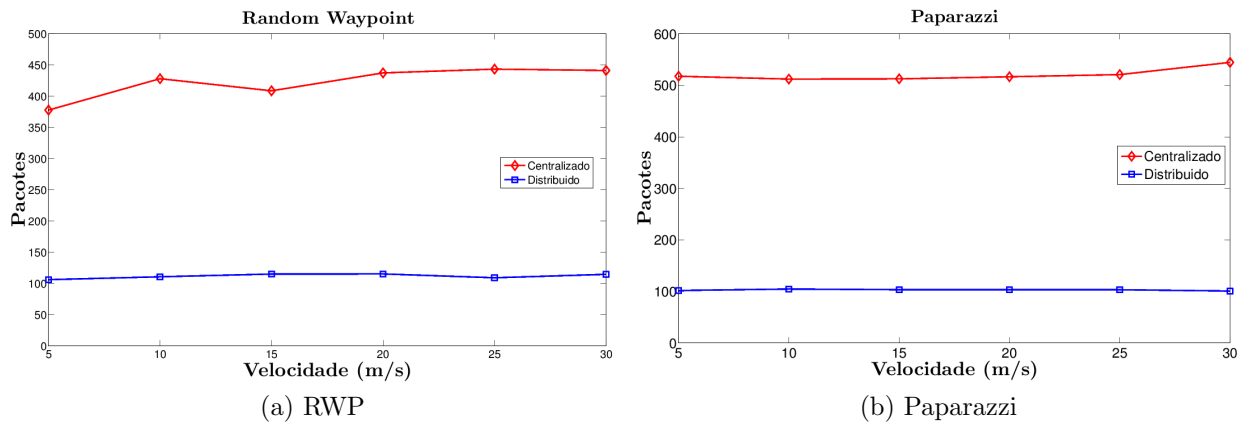


Figura 16: Quantidade de pacotes transmitidos

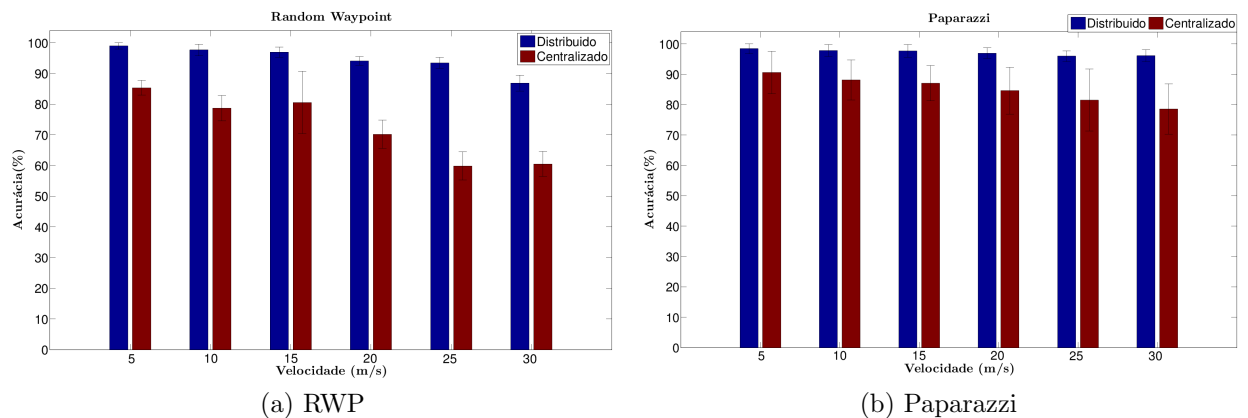


Figura 17: Porcentagem de acertos em cada modelo

A Figura 17 ilustra a acurácia dos sistemas de decisão. É possível perceber que a proposta distribuída apresentou um grau de acertos maior que a centralizada para todos os cenários adotados. Utilizando o RWP, alcançou-se uma taxa de 94,58% e 72,54% de precisão para o sistema distribuído e para o sistema centralizado, respectivamente. Enquanto que utilizando o Paparazzi, o sistema distribuído alcançou uma taxa de acertos de 97,2% contra 85,1% do sistema centralizado. Isto se justifica pela menor quantidade de pacotes necessários para escolher o melhor nó, como visto anteriormente. Logo, como o canal apresenta menor congestionamento, ocorrem menos colisões e/ou interferências nas trocas de mensagens, possibilitando que o melhor nó seja efetivamente escolhido. Ao contrário do sistema centralizado, o qual tende a piorar acentuadamente seus resultados conforme se aumenta a velocidade do cenário, tornando a escolha do nó menos confiável.

Portanto, a proposta distribuída apresenta maior acurácia, com uma menor taxa de pacotes e, por conseguinte, consumindo menos recursos da rede.

5.5 Conclusões do Capítulo

Analisando-se os resultados obtidos, é possível concluir que a proposta colaborativa distribuída apresentou ganhos maiores em relação ao *overhead* gerado, a acurácia na escolha do nó e um bom equilíbrio entre a longevidade da rede e a qualidade do conteúdo transmitido, comparados com o sistema centralizado. Embora o sistema colaborativo tenha apresentado certo ganho, para alguns cenários, na qualidade do conteúdo multimídia, é importante notar que para a maioria dos cenários, ambos os sistemas obtiveram resultados muito próximos, tanto do SSIM quanto da taxa de perda de *frames*. Isso se deve ao fato de que o principal fator impactante na qualidade de um vídeo se dá pela perda de *frames*, contudo, como ambos os sistemas foram implementados utilizando o mesmo protocolo, este assegura a entrega da maioria dos *frames* transmitidos. Assim, as perdas são dadas pelo fator: conectividade, a qual é influenciada por fatores como densidade da rede, tamanho da área e mobilidade dos nós.

Além disso, os resultados também mostraram o impacto que diferentes modelos de mobilidade causam nos sistemas de decisões adotados. Observou-se que alguns dos resultados alcançados, para ambos os sistemas de decisão, alteraram-se bastante do RWP para o Paparazzi, como foi o caso do FND, HNA e da acurácia, e outros nem tanto como o caso do SSIM e do *overhead*. Ademais, destaca-se também o fato que para o modelo de mobilidade mais realista, Paparazzi, o sistema colaborativo e distribuído apresentou resultados melhores que para o modelo sintético RWP, reforçando assim, a necessidade de cenários mais próximos da realidade para análise de resultados. Por fim, o sistema colaborativo mostrou-se mais equilibrado quanto ao consumo de recursos da rede e a capacidade de prover conteúdo relevante ao usuário, não permitindo momentos de ociosidade na mesma, assegurando metade dos VANTs ainda vivos até próximo ao final da simulação, gerando uma média de 106 pacotes, no geral, para todos os cenários testados e mantendo um alto grau de assertividade na escolha do melhor nó fonte. Mais resultados referentes a outros tipos de cenários utilizando o modelo colaborativo podem ser vistos no anexo A.

CAPÍTULO 6

Conclusões

Este trabalho apresentou um sistema de decisão distribuída e colaborativa para transmissão multimídia em FANETs. O sistema leva em consideração a relevância da informação capturada, critérios de energia, mobilidade e largura de banda. Através de um Fator de Decisão, o sistema decide de forma colaborativa sobre o melhor VANT a transmitir conteúdo multimídia. O sistema foi implementado com dois modelos de mobilidades randômicos, que são o Random Waypoint e o Paparazzi, sendo o último um modelo desenvolvido baseado em movimentos aéreos reais de um VANT.

Os resultados alcançados mostraram que o sistema de decisão colaborativa e distribuída apresentou um maior equilíbrio entre o consumo de recursos da rede e a qualidade e relevância da informação capturada pelos nós. Ao se utilizar um modelo de mobilidade mais realista, o sistema conseguiu assegurar boa qualidade aos vídeos, apresentar um *trade-off* eficiente entre a longevidade e a quantidade de conteúdo útil fornecido pela rede, não permitindo períodos de inatividade da mesma. Além disso, apresentou uma taxa de acertos maior na escolha do melhor nó fonte, devido a menor quantidade de pacotes necessários para a tomada de decisão, ocasionando menos congestionamento no canal de transmissão, menos interferências e menor consumo de recursos dos nós.

Como trabalhos futuros e de modo a dar continuidade à proposta do trabalho e melhorar os resultados alcançados atualmente, pretende-se analisar e implementar abordagens de controle topológico e controle de conectividade. Em determinados momentos, durante os testes, a rede apresentava buracos de comunicação em alguns momentos, dada a movimentação aleatória dos nós. Dessa forma, espera-se que ao se assegurar rotas estáveis e fixas durante as transmissões dos vídeos, consiga se garantir uma melhor qualidade e menor taxa de perdas de *frames* que os resultados atuais.

Ademais, métodos e/ou abordagens de gerenciamento de grupos dinâmicos baseados em funções e/ou papéis são propostas de continuidade do trabalho. Aplicar métodos

aonde cada VANT consiga se eleger a diversas funções, não apenas nó fonte e nó de encaminhamento, de forma distribuída, e ampliando a área de cobertura da rede, permitiria que fossem definidos níveis mínimos da quantidade de VANTs necessários para explorar e cobrir um evento em uma área de $A \times B$ metros, como reforça os resultados apresentados no anexo A. Todos os tópicos supracitados são propostas de continuidade do atual trabalho desenvolvido.

Referências

- [1] J. Clapper, J. Young, J. Cartwright, and J. Grimes, “Unmanned systems roadmap 2007-2032,” *Office of the Secretary of Defense*, p. 188, 2007.
- [2] I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, and Ş. Temel, “Flying ad-hoc networks (fanets): a survey,” *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 3, pp. 1254–1270, 2013.
- [3] G. D. Jaime, E. d. S. e Silva, R. M. M. Leão, and J. R. B. De Marca, “On the reduction of scalable video base-layer packet loss rate on droptail/fifo queues,” in *Proceedings of the Brazilian Symposium on Computer Networks and Distributed Systems (SBRC)*, 2010.
- [4] J. Greengrass, J. Evans, and A. C. Begen, “Not all packets are equal, part 2: The impact of network packet loss on video quality,” *Internet Computing*, vol. 13, no. 2, pp. 74–82, 2009.
- [5] A. N. Kopeikin, S. S. Ponda, L. B. Johnson, and J. P. How, “Dynamic mission planning for communication control in multiple unmanned aircraft teams,” *Unmanned Systems*, vol. 1, no. 01, pp. 41–58, 2013.
- [6] D. Ghataoura, J. Mitchell, and G. Matich, “Vigilant: situation-aware quality of information interest groups for wireless sensor network surveillance applications,” in *Security+ Defence*, 2010, pp. 783 310–783 310.
- [7] D. G. Costa and L. A. Guedes, “Exploiting the sensing relevancies of source nodes for optimizations in visual sensor networks,” *Multimedia tools and applications*, vol. 64, no. 3, pp. 549–579, 2013.
- [8] W. L. S. Farias, D. Rosário, L. Villas, G. Pessin, and E. Cerqueira, “Sistema de decisão colaborativa para transmissão multimídia em flying ad-hoc networks,” in *XX Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS)*. SBC, 2015, pp. 132–145.
- [9] K. Nonami, F. Kendoul, S. Suzuki, W. Wang, and D. Nakazawa, *Autonomous Flying Robots: Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles*. Springer Science & Business Media, 2010.

-
- [10] D. F. Pigatto, G. Freire Roberto, L. Gonçalves, J. F. Rodrigues Filho, R. Pinto, A. Sandro, C. Branco, and K. R. L. Jaquie, “Hamster-healthy, mobility and security-based data communication architecture for unmanned aircraft systems,” in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 52–63.
- [11] O. K. Sahingoz, “Networking models in flying ad-hoc networks (fanets): Concepts and challenges,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 74, no. 1-2, pp. 513–527, 2014.
- [12] J. George, P. Sujit, and J. B. Sousa, “Search strategies for multiple uav search and destroy missions,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 61, no. 1-4, pp. 355–367, 2011.
- [13] L. Merino, F. Caballero, J. R. Martínez-de Dios, I. Maza, and A. Ollero, “An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement,” *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 65, no. 1-4, pp. 533–548, 2012.
- [14] S. Siebert and J. Teizer, “Mobile 3d mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (uav) system,” *Automation in Construction*, vol. 41, pp. 1–14, 2014.
- [15] L. I. Bendell and P. C. Wan, “Application of aerial photography in combination with gis for coastal management at small spatial scales: a case study of shellfish aquaculture,” *Journal of Coastal Conservation*, vol. 15, no. 4, pp. 417–431, 2011.
- [16] C. A. F. Ezequiel, M. Cua, N. C. Libatique, G. L. Tangonan, R. Alampay, R. T. Labuguen, C. M. Favila, J. L. E. Honrado, V. Canos, C. Devaney *et al.*, “Uav aerial imaging applications for post-disaster assessment, environmental management and infrastructure development,” in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 274–283.
- [17] K. Kanistras, G. Martins, M. J. Rutherford, and K. P. Valavanis, “Survey of unmanned aerial vehicles (uavs) for traffic monitoring,” in *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Springer, 2014, pp. 2643–2666.
- [18] H. Chao, Y. Cao, and Y. Chen, “Autopilots for small fixed-wing unmanned air vehicles: A survey,” in *Mechatronics and Automation, 2007. ICMA 2007. International Conference on*. IEEE, 2007, pp. 3144–3149.
- [19] E. Yanmaz, C. Costanzo, C. Bettstetter, and W. Elmenreich, “A discrete stochastic process for coverage analysis of autonomous uav networks,” in *GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2010 IEEE*. IEEE, 2010, pp. 1777–1782.
- [20] T. Shima and S. J. Rasmussen, *UAV cooperative decision and control: challenges and practical approaches*. SIAM, 2009, vol. 18.
- [21] L. Bakule, “Decentralized control: An overview,” *Annual reviews in control*, vol. 32, no. 1, pp. 87–98, 2008.

- [22] H. J. Ortiz-Pena, M. Karwan, M. Sudit, M. Hirsch, and R. Nagi, "A multi-perspective optimization approach to uav resource management for littoral surveillance," in *Information Fusion (FUSION), 2013 16th International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 492–498.
- [23] L. Al-Kanj, Z. Dawy, and E. Yaacoub, "Energy-aware cooperative content distribution over wireless networks: Design alternatives and implementation aspects," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 15, no. 4, pp. 1736–1760, 2013.
- [24] T. Shima, S. J. Rasmussen, and P. Chandler, "Uav team decision and control using efficient collaborative estimation," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 129, no. 5, pp. 609–619, 2007.
- [25] D. Chen, Z. Liu, L. Wang, M. Dou, J. Chen, and H. Li, "Natural disaster monitoring with wireless sensor networks: A case study of data-intensive applications upon low-cost scalable systems," *Mobile Networks and Applications*, vol. 18, no. 5, pp. 651–663, 2013.
- [26] M. Sabet and H. R. Naji, "A decentralized energy efficient hierarchical cluster-based routing algorithm for wireless sensor networks," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 69, no. 5, pp. 790–799, 2015.
- [27] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless communications and mobile computing*, vol. 2, no. 5, pp. 483–502, 2002.
- [28] F. Bai, N. Sadagopan, and A. Helmy, "Important: A framework to systematically analyze the impact of mobility on performance of routing protocols for adhoc networks," in *INFOCOM 2003. Twenty-second annual joint conference of the IEEE computer and communications. IEEE societies*, vol. 2. IEEE, 2003, pp. 825–835.
- [29] J.-D. Medjo Me Biomo, T. Kunz, M. St-Hilaire, and Y. Zhou, "Unmanned aerial ad hoc networks: Simulation-based evaluation of entity mobility models impact on routing performance," *Aerospace*, vol. 2, no. 3, pp. 392–422, 2015.
- [30] J. Xie, Y. Wan, J. H. Kim, S. Fu, and K. Namuduri, "A survey and analysis of mobility models for airborne networks," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 16, no. 3, pp. 1221–1238, 2014.
- [31] O. Bouachir, A. Abrassart, F. Garcia, and N. Larrieu, "A mobility model for uav ad hoc network," in *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 383–388.
- [32] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," in *Mobile computing*. Springer, 1996, pp. 153–181.
- [33] D. Rosário, R. Costa, H. Paraense, K. Machado, E. Cerqueira, T. Braun, and Z. Zhao, "A hierarchical multi-hop multimedia routing protocol for wireless multimedia sensor networks," *Network Protocols and Algorithms*, vol. 4, no. 4, pp. 44–64, 2012.
- [34] E. W. Frew and T. X. Brown, "Networking issues for small unmanned aircraft systems," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 54, no. 1-3, pp. 21–37, 2009.

- [35] M. Lindeberg, S. Kristiansen, T. Plagemann, and V. Goebel, “Challenges and techniques for video streaming over mobile ad hoc networks,” *Multimedia Systems*, vol. 17, no. 1, pp. 51–82, 2011.
- [36] M. Y. Naderi, H. R. Rabiee, M. Khansari, and M. Salehi, “Error control for multimedia communications in wireless sensor networks: A comparative performance analysis,” *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 6, pp. 1028–1042, 2012.
- [37] E. Aguiar, A. Riker, A. Abelém, E. Cerqueira, and M. Mu, “Video quality estimator for wireless mesh networks,” in *Quality of Service (IWQoS), 2012 IEEE 20th International Workshop on*. IEEE, 2012, pp. 1–9.
- [38] Y. Park, Y. Seok, N. Choi, Y. Choi, and J.-M. Bonnin, “Rate-adaptive multimedia multicasting over IEEE 802.11 wireless lans,” in *Consumer Communications and Networking Conference, 2006. CCNC 2006. 3rd IEEE*, vol. 1. IEEE, 2006, pp. 178–182.
- [39] M. H. Pinson and S. Wolf, “A new standardized method for objectively measuring video quality,” *Broadcasting, IEEE Transactions on*, vol. 50, no. 3, pp. 312–322, 2004.
- [40] X. Gao, W. Lu, D. Tao, and X. Li, “Image quality assessment based on multiscale geometric analysis,” *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 18, no. 7, pp. 1409–1423, 2009.
- [41] M. Klíma, K. Fliegel, D. Kekrt, P. Dostal, and R. Podgorny, “Image quality and qoe in multimedia systems,” in *Radioelektronika, 2009. RADIOELEKTRONIKA '09. 19th International Conference*. IEEE, 2009, pp. 3–10.
- [42] D. Rosário, Z. Zhao, A. Santos, T. Braun, and E. Cerqueira, “A beaconless opportunistic routing based on a cross-layer approach for efficient video dissemination in mobile multimedia IoT applications,” *Computer Communications*, vol. 45, pp. 21–31, 2014.
- [43] M. Quaritsch, R. Kuschig, H. Hellwagner, B. Rinner, A. Adria, and U. Klagenfurt, “Fast aerial image acquisition and mosaicking for emergency response operations by collaborative UAVs,” in *8th International ISCRAM Conference–Lisbon*, vol. 1, 2011.
- [44] S. Medetov, M. Bakhouya, J. Gaber, K. Zinedine, M. Wack, and P. Lorenz, “A decentralized approach for information dissemination in vehicular ad hoc networks,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 46, pp. 154–165, 2014.
- [45] H. Park, J. Lee, S. Oh, Y. Yim, S.-H. Kim, and K.-D. Nam, “Quality-based event reliability protocol in wireless sensor networks,” in *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE*. IEEE, 2011, pp. 730–734.
- [46] R. Bruno and M. Nurchis, “Efficient data collection in multimedia vehicular sensing platforms,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 16, pp. 78–95, 2015.
- [47] T.-H. Chen, P.-H. Wu, and Y.-C. Chiou, “An early fire-detection method based on image processing,” in *International Conference on Image Processing, ICIP'04*, vol. 3. IEEE, 2004, pp. 1707–1710.

- [48] G. Wittenburg, N. Dziengel, C. Wartenburger, and J. Schiller, “A system for distributed event detection in wireless sensor networks,” in *9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*. ACM, 2010, pp. 94–104.
- [49] K. Kowalik, B. Keegan, and M. Davis, “Rare-resource aware routing for mesh,” in *IEEE International Conference on Communications*. IEEE, 2007, pp. 4931–4936.
- [50] R. L. Rodrigues, F. de Medeiros, and A. S. Gomes, “Modelo de regressão linear aplicado à previsão de desempenho de estudantes em ambiente de aprendizagem,” in *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, vol. 24, no. 1, 2013.
- [51] D. G. Costa, L. A. Guedes, F. Vasques, and P. Portugal, “Relevance-based balanced sink mobility in wireless visual sensor networks,” in *Industrial Informatics (INDIN), 2014 12th IEEE International Conference on*. IEEE, 2014, pp. 124–129.
- [52] —, “Multimedia transmission in wireless sensor networks,” *Emerging Research on Networked Multimedia Communication Systems*, p. 230, 2015.
- [53] D. S. Bernstein, S. Zilberstein, and N. Immerman, “The complexity of decentralized control of markov decision processes,” in *Proceedings of the Sixteenth conference on Uncertainty in artificial intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2000, pp. 32–37.
- [54] E. T. Lemos, I. L. d. Santos, L. Pirmez, S. Rossetto, F. C. Delicato, and J. N. d. Souza, “Algoritmo distribuído para detecção de dano em aerogeradores utilizando redes de atuadores e sensores sem fio,” 2011.
- [55] L. Matignon, L. Jeanpierre, and A.-I. Mouaddib, “Distributed value functions for multi-robot exploration,” in *Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 1544–1550.
- [56] A. Street, “On the conditional value-at-risk probability-dependent utility function,” *Theory and Decision*, vol. 68, no. 1-2, pp. 49–68, 2010.
- [57] D. Rosário, Z. Zhao, C. Silva, E. Cerqueira, and T. Braun, “An OMNeT++ Framework to Evaluate Video Transmission in Mobile Wireless Multimedia Sensor Networks,” in *Proceedings of the 6th International Workshop on OMNeT++ (OMNeT++’13)*. Cannes, France: ICST, Mar. 2013, pp. 277–284.
- [58] M. U. Guide, “The mathworks,” *Inc., Natick, MA*, vol. 5, p. 333, 1998.
- [59] N. Aschenbruck, R. Ernst, E. Gerhards-Padilla, and M. Schwamborn, “Bonnmotion: a mobility scenario generation and analysis tool,” in *Proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2010, p. 51.
- [60] K. Namuduri and R. Pendse, “Analytical estimation of path duration in mobile ad hoc networks,” *Sensors Journal, IEEE*, vol. 12, no. 6, pp. 1828–1835, 2012.
- [61] T. Saadawi, “A delay tolerant networking architecture for airborne networking,” DTIC Document, Tech. Rep., 2010.

-
- [62] K. Peters, E. K. Cetinkaya, and J. P. Sterbenz, “Analysis of a geolocation-assisted routing protocol for airborne telemetry networks,” in *International Telemetry Conference, (San Diego, CA)*, 2010.
- [63] J. C. Giacomini and F. H. Vasconcelos, “Qualidade da medição de intensidade de sinal nas comunicações de uma rede de sensores sem fios: uma abordagem da camada física,” in *The 25th Conference on Computer Communications Sponsored by IEEE Communications Society, Barcelona, Catalunya, Spain*, 2006.
- [64] GERCOM, “Source Videos Used for Simulations,” 2015, <https://plus.google.com/117765468529449487870/videos>. Acessado em 8 de novembro de 2015.
- [65] M. Handy, M. Haase, and D. Timmermann, “Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection,” in *4th International Workshop on Mobile and Wireless Communications Network*,. IEEE, 2002, pp. 368–372.

ANEXO A – Resultados para cenário de 150 m x 150 m

Como comentado ao final do trabalho, definir níveis mínimos da quantidade de VANTs necessários para cobrir um evento em uma determinada área, é uma boa proposta de continuidade do tema. Os resultados apresentados a baixo reforçam essa afirmação. Foram utilizados os mesmos parâmetros de simulação dos resultados apresentados no decorrer do trabalho, apenas modificando o tamanho da área de 100 m x 100 m para 150 m x 150 m, e utilizando, além dos modelos de mobilidade já apresentado, o modelo de mobilidade Gauss Markov [27].

Nota-se pelas Figuras 18 e 19 que os resultados de vídeo pioraram quando comparados com os alcançados em uma área de 100 m x 100 m. Ambos os sistemas apresentaram baixo valor no SSIM dos vídeos e alta taxa de perda de *frames* (*Loss*). Isso se deve ao fato de que com o aumento da área de simulação, a rede apresentou menor grau de conectividade persistente entre os nós, causando assim a alta taxa de perdas de pacotes durante as transmissões. Quanto à quantidade de vídeos transmitidos, nota-se que tanto para o RWP quanto para o Paparazzi, o comportamento de ambos continuou o mesmo. No primeiro o sistema colaborativo distribuído aumenta bastante a quantidade de vídeos conforme se aumenta a velocidade, enquanto que o sistema centralizado decresce com ela (Figura 20a), e para o segundo (Figura 20c), a proposta aumenta mais lentamente a quantidade de vídeos, enquanto que o sistema centralizado mantém um comportamento mais homogêneo. Contudo, para o modelo Gauss Markov (Figura 20b), ambos os sistemas tendem a diminuir a quantidade de vídeos transmitidos conforme se aumenta a velocidade, fato este explicado devido ao comportamento do próprio modelo de mobilidade, que tende a concentrar os nós no centro da área de simulação com o passar do tempo, não explorando assim as bordas da área, as quais podem ser o local de ocorrência do evento, fazendo assim que menos detecções ocorram e, por conseguinte, menos transmissões.

Por fim, tanto o resultado do *overhead* gerado (Figura 21) quanto a taxa de acertos na escolha do melhor nó (Figura 22), apresentam o mesmo comportamento dos resultados alcançados em uma área de 100 m x 100 m. A proposta colaborativa distribuída apresenta baixo *overhead* e alta taxa de acertos na escolha do melhor nó, comparada com o sistema centralizado. É importante destacar que, embora os resultados alcançados com o modelo Gauss Markov cheguem próximo a 100% de acerto, ocorreram poucas decisões sobre a escolha do nó, devido as poucas detecções realizadas, assim acaba se diminuindo

quantidade de amostras utilizadas para obtenção da média. Portanto, todos os resultados apresentados, reforçam a sugestão de aplicação de abordagens voltadas a manutenção da conectividade da rede, assegurando rotas estáveis e caminhos persistentes durante as transmissões de conteúdo, além de promover um equilíbrio entre a cobertura da área como um todo e a conectividade entre os nós e o destino final.

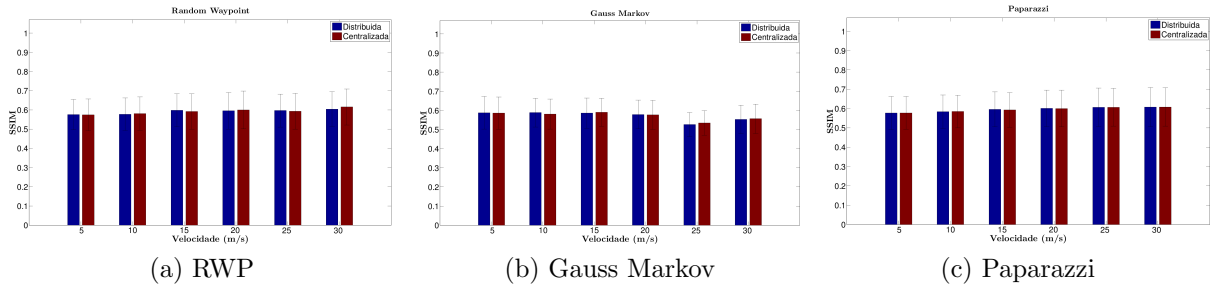


Figura 18: SSIM para cenário de 150 m x 150 m

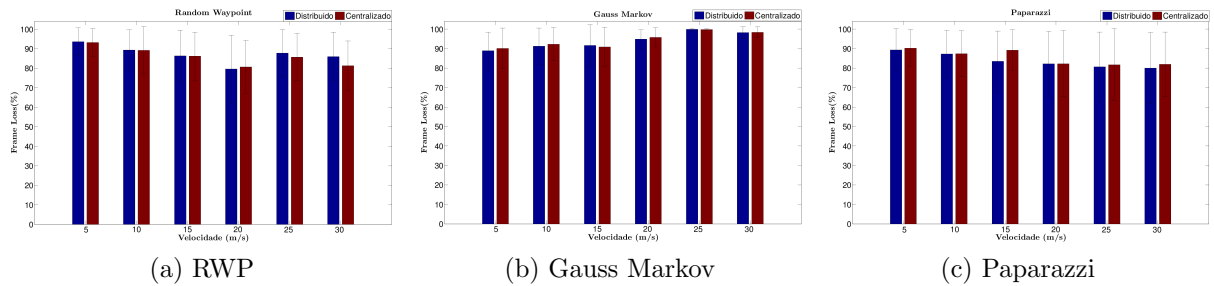


Figura 19: Taxa de perda de *frames* para cenário de 150 m x 150 m

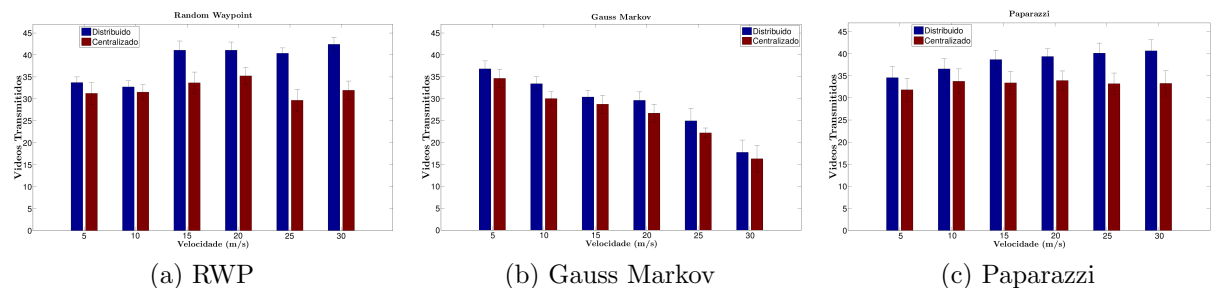


Figura 20: Quantidade de vídeos transmitidos para cenário de 150 m x 150 m

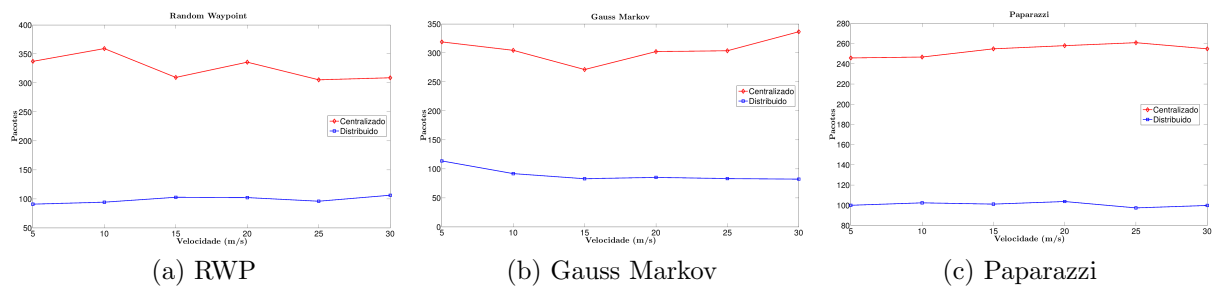


Figura 21: Overhead para cenário de 150 m x 150 m

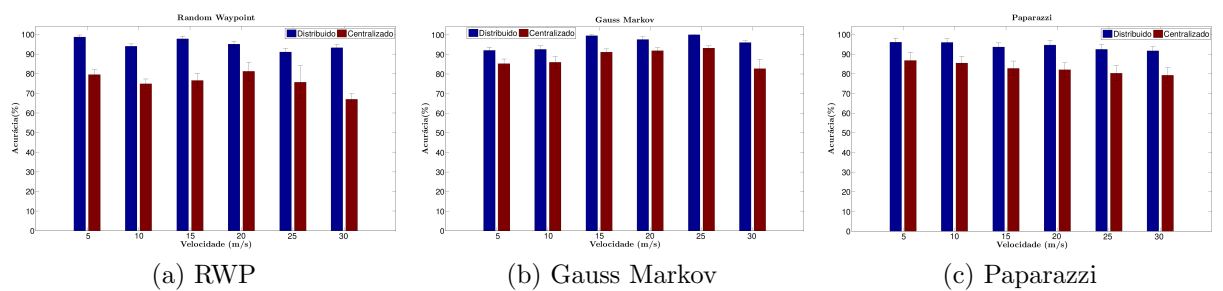


Figura 22: Porcentagem de acertos para cenário de 150 m x 150 m