

**CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA
FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**REDES DE COMUNICAÇÃO DE DADOS ENTRE VANTS DE
BAIXO CUSTO**

JORDAN FERREIRA SARAN

Marília, 2014

CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA
FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

REDES DE COMUNICAÇÃO DE DADOS ENTRE VANTS DE
BAIXO CUSTO

Monografia apresentada ao Centro Universitário Eurípides de Marília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.
Orientador: Prof. Emerson Marconato.

Marília, 2014

A minha família, que me apoiou em todos os momentos, me auxiliou nos momentos para finalmente chegar neste grande dia. Ao meu orientador que me ajudou, me ensinou a ser alguém que busca conhecimento para resolver os momentos difíceis deste trabalho e que também levo a vida.

Saran, Jordan Ferreira Saran
Redes de Comunicação de Dados entre VANTs de Baixo Custo /
Jordan Ferreira Saran;
Orientador: Prof. Emerson Alberto Marconato. Marília,SP:[s.n.],2014.
50 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Ciência da Computação) - Curso
de Ciência da Computação, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da
Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília -
UNIVEM, Marília, 2009.

1. Corrente de Retransmissão 2. Desempenho 3. VANT 4. Rádio
Modem 5. Simulação
CDD: 004.6



CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – AVALIAÇÃO FINAL

Jordan Ferreira Saran

REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS ENTRE VANTS DE
BAIXO CUSTO

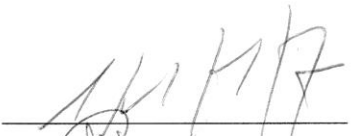
Banca examinadora da monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação do UNIVEM/F.E.E.S.R., para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

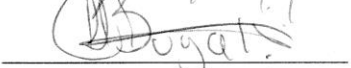
Nota: 7,9 (Sete)


Orientador: Emerson Alberto Marconato

1º. Examinador: Ildeberto de Gênova Bugatti

2º. Examinador: Bruno Marques dos Santos







Marília, 01 de dezembro de 2014.

Agradecimentos

Com grande gratidão, agradeço a Deus, por ter me guiado com amor e misericórdia até onde estou me mostrado a todo o momento que confiava em mim e que a realização do meu trabalho.

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família por ter me apoiado e me sustentado para conclusão do meu trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Emerson Marconato, por ter me orientado de uma forma exemplar, suas palavras me ajudaram muito, me passando seu conhecimento e me ensinando para a conclusão deste trabalho, levo suas considerações como aprendizado para minha vida e todo sempre.

E de uma forma especial, agradeço a Larissa Emi Takata Yugi, por ficar ao meu lado e me apoiar para conclusão do meu trabalho.

Resumo

Com o grande avanço da tecnologia, a aérea da aviação cresce rapidamente. Os VANT (Veículo Aéreo Não Tripulados) vêm se tornando populares na sociedade, devido à aeronave não ter a necessidade de possuir um piloto a bordo. O VANT é usado para realizar missões, com o objetivo de minimizar os riscos que o ser humano teria durante a realização da missão, no entanto, seu custo é muito alto e difícil acesso a sociedade civil. O presente trabalho visa realizar a simulação de uma corrente de retransmissão de dados utilizando um grupo de plataforma VANT e a estação de controle, onde o objetivo é transmitir as informações da estação de controle para os VANTs, utilizando as especificações de um componente de rádio modem de baixo custo, sendo assim, possível analisar o desempenho da comunicação do grupo.

Palavra-chave: Corrente de Retransmissão, Desempenho, VANT, Rádio Modem, Simulação.

Abstract

With breakthrough technology, aviation air grows quickly. The UAV (Unmanned Air Vehicle) see becoming popular in society, due to the aircraft does not have the need to have a pilot on board. The UAV is used to perform tasks in order to minimize the risks that human beings would have during the course of the mission, however, its cost is very high and difficult access to civil society. This study aims at simulating a data relay current using a group of UAV platform and the control station, where the object is to transmit the information from the control station to the UAS, using the specifications of a radio modem component low cost, therefore, possible to analyze the performance of group communication.

Key Words: *Chain Relay, Performance, UAV, Radio Modem, Simulation.*

Lista de Figuras

Figura 1. Modelo de VANT Reaper, equipado com armas.	12
Figura 2. Sistema SANT – Estrutura Funcional.	15
Figura 3. Representação de uma rede de retransmissão de comunicação utilizando um grupo de VANTs.	21
Figura 4. Exemplo de um UAV VTOL.	25
Figura 5. O espectro eletromagnético e a maneira como é usado na comunicação.	26
Figura 6. Simulação no ambiente Network Simulator.	32
Figura 7. Ilustração da formação de voo em forma de hexágono, sentido horário.	35
Figura 8. Ilustração da formação de voo em forma de hexágono, sentido anti-horário.	35
Figura 9. Throughput dos dois cenários com o tamanho do pacote de 256 bytes.	40
Figura 10. Throughput dos dois cenários com o tamanho do pacote de 512 bytes. ..	41
Figura 11. Throughput dos dois cenários com o tamanho do pacote de 1024 bytes.	42
Figura 12. Media de Throughput dos cenários.	43
Figura 13. Quantidade de perda de pacotes.	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Faixas de radiofrequência disponíveis para comunicação digital por rádio sem autorização da ANATEL.	27
Tabela 2. Definição dos pontos iniciais da posição das aeronaves e estação de controle no ambiente Network Simulator.....	36
Tabela 3. Parâmetros de comunicação do nó sem fio, no qual representa a plataforma VANT no ambiente de simulação Network Simulator.	37
Tabela 4. Especificações do 3DR Rádio Modem 915 Mhz.....	38
Tabela 5. Resultados da taxa de entrega de pacotes por tamanhos de pacotes no cenário sentido anti-horário.....	42
Tabela 6. Resultados da taxa de entrega de pacotes por tamanhos de pacotes no cenário sentido horário.	43

Lista de Siglas

AFCS – Automatic Flight Control System

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

APF – Artificial Potential Fields

CS – Control Station

DDD – Dull, Dirty, Dangerous

FAA - Federal Aviation Administration

FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum

GPS – Global System Position

LOS – Line Of Sight

MDE - Model Driven Engineering

NAM – Animator Network

NS – Network Simulator

OFMD - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

RF – Radiofrequência

SANT – Sistema Aéreo Não Tripulado

UAS – Unmanned Aircraft System

UIT - União Internacional de Telecomunicações

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

Sumário

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE SIGLAS	11
INTRODUÇÃO	12
MOTIVAÇÃO	13
OBJETIVO	13
ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
1. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO	15
1.1. DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS	16
1.2. ESTAÇÃO DE CONTROLE	17
1.3. PAYLOAD	18
1.4. SISTEMA DE NAVEGAÇÃO	18
1.5. SISTEMA DE SUPORTE	19
1.6. LINKS DE COMUNICAÇÃO	19
1.7. REDE DE RETRANSMISSÃO DE COMUNICAÇÃO RELACIONADA AO VANT	20
2. COMUNICAÇÃO RELACIONADA AO VANT	24
2.1. TIPOS DE COMUNICAÇÃO	24
2.1.1. Comunicação por feixe a laser	24
2.1.2. Comunicação por fibra óptica	25
2.1.3. Comunicação por rádio	26
3. METODOLOGIA	29
4. SIMULAÇÃO	31

4.1.	NETWORK SIMULATOR (NS2)	31
4.1.1.	NS2 Visual Trace Analyzer	32
4.2.	CENÁRIO DA SIMULAÇÃO	33
4.3.	PROCEDIMENTO DA SIMULAÇÃO.....	38
5.	RESULTADOS	40
6.	CONCLUSÃO.....	45
7.	REFERÊNCIAS.....	46

Introdução

Atualmente com os avanços tecnológicos, o VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), foi desenvolvido para suprimir a necessidade de um piloto a bordo em missões militares como ilustrado na Figura 1, no entanto, estes tipos de aeronaves estão se tornando populares entre a sociedade civil. Segundo (DOD, 2002) o VANT pode se tornar comum na sociedade nas próximas décadas, assim, conquistando uma grande parte do espaço aéreo para a realização de diferentes missões militares e civis. O termo *drone* amplamente utilizado pela mídia para se referir aos VANTs. A variedade de VANTs é tamanha que alguns modelos mais simples são utilizados como hobby, com a finalidade de realizar filmagens ou fotografias aéreas.



Figura 1. Modelo de VANT Reaper, equipado com armas.
Fonte: (AUSTIN, 2010)

Os países pioneiros na área de veículo aéreos não tripulados são os Estados Unidos, Austrália e Israel (ROGERS, 2012). No Brasil, a cada ano, cresce lentamente a área dedicada aos VANT. A área promissora de VANT no Brasil é a agricultura, onde as aeronaves costumam ser utilizadas para realizar buscas de falhas em plantações, áreas com excesso ou falta de água. Entretanto as aeronaves também estão sendo utilizadas para monitoramento de divisas de fronteiras entre países e utilizados para monitorar a sociedade nas cidades grandes pela policia local (CABETTE, 2013).

“Todas as aplicações supracitadas necessitam de armazenamento e transmissão de informações coletadas (FUNÇÃO, 2012)”. Segundo (FUNÇÃO, 2012) armazenar as informações e transmiti-las só quando a aeronave estiver é algo comum, sendo assim, transmitir as mesmas informações continuamente da aeronave, sem a necessidade de estiver em solo é crucial para a um VANT.

Motivação

O trabalho de Cetin e Zagali (2012) tem como critério realizar simulação de uma corrente de retransmissão de dados, utilizando um grupo de VANT. O objetivo do trabalho tem como ênfase analisar a estabilidade e desempenho da comunicação, mantendo as posições dos veículos e a estação de controle em pontos específicos e fixos para efetuar a retransmissão.

Para que a corrente de retransmissão não se perca durante a análise da comunicação, os autores afirmam ser necessário estabelecer uma formação de voo autônoma, sendo assim, criado campos de potencial artificial do inglês *Artificial Potential Fields* (APF) para que haja um controle sobre o voo das aeronaves. O trabalho (CETIN; ZAGLI, 2012) não menciona qual o meio de comunicação utilizado para que as aeronaves e a estação de controle se comuniquem, com isso, sendo a motivação deste trabalho, onde é analisar a comunicação entre um grupo de VANT utilizando um meio de comunicação específico em um cenário sem obstáculos.

Objetivo

O projeto tem como objetivo analisar a estabilidade e desempenho de uma corrente de retransmissão de dados, utilizando como base da comunicação um grupo de plataformas VANT, junto à estação de controle, onde, o meio de comunicação abordado para a análise é um componente de rádio modem de baixo custo.

O trabalho se concentra em um grupo de plataformas VANT encarregados de fazer missões de reconhecimento, vigilância e monitoramento de áreas, sendo assim, necessário estender a comunicação do grupo com a estação de controle. Para analisar a corrente de retransmissão, como foi supracitada, a análise utiliza como principal fator, as especificações do rádio modem, o qual será abordado em um cenário aberto, sem obstáculos, com objetivo de presenciar o desempenho da comunicação com exatidão.

Organização do trabalho

O capítulo um contém uma breve introdução, juntamente, com o objetivo e motivação do trabalho. O capítulo dois descreve as definições e características do VANT e sua relação com rede de retransmissão de comunicação e trabalhos relacionados. O capítulo três menciona os meios de comunicação que o VANT utiliza, com ênfase na comunicação via rádio que é importante para o presente trabalho. O

capítulo quatro descreve como foram realizados os procedimentos para realizar as simulações para obtenção dos devidos resultados. O capítulo cinco descreve como foram elaborados os cenários de uma forma detalhada, para a realização das simulações chegando ao capítulo seis, o qual mostra os resultados das simulações realizadas, finalizando no capítulo sete que é formado uma conclusão deste trabalho.

1. Veículo Aéreo Não Tripulado

O VANT está se tornando valorizada no mercado de aviões. Esse tipo de aeronave é procurado por possuir várias vantagens comparadas à aeronave tripulada. Este tipo de aeronave foi desenvolvido com o propósito de fornecer serviços, no intuito de minimizar o trabalho de ser um humano. Existem vários tipos de VANT, de diversos tamanhos, pesos e com divergentes configurações para atuar dependente de sua atuação (AUSTIN, 2010). Para utilizar as aeronaves é necessário ter aprovação por órgãos regulamentares que autorizem a utilização destas aeronaves, no Brasil a responsável pela regulamentação é a ANAC (Agencia Nacional de Aviação Civil), no entanto, atualmente não possui uma regulamentação oficializada (ANAC, 2012).

O VANT consiste de vários subsistemas, onde, o termo foi adotado pela FAA (*Federal Aviation Administration*) em português se denomina Administração Federal de Aviação e pela comunidade acadêmica internacional, designando sistemas que não inclui apenas uma aeronave, mas todo o conjunto, na qual a aeronave pertence (GAO, 2008). Segundo (AUSTIN, 2010) a aeronave faz parte de um SANT (Sistema Aéreo Não Tripulado) do inglês UAS (*Unmanned Aircraft System*), o qual contém vários subsistemas interligados, como o dispositivo de carga (*payload*), a estação de controle, links de comunicação e sistema de suporte a aeronave e muitos outros, como ilustrado na Figura 2, podendo variar de acordo com a arquitetura da aeronave.

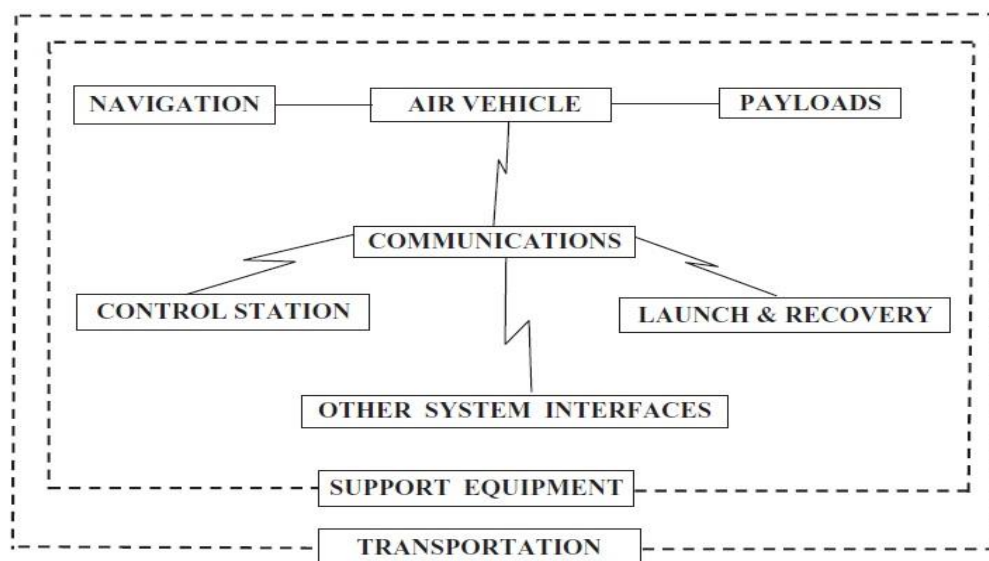


Figura 2. Sistema SANT – Estrutura Funcional.
Fonte: (AUSTIN, 2010)

Cada componente do SANT possui uma função específica. Segue uma breve explicação de cada componente supracitado. Esclarecemos que serão enfatizados a estação de controle e o link de comunicação, devido sua importância no contexto deste trabalho.

1.1. Definições e Características

Como já foi mencionado no capítulo um e de acordo com (ZAGALI; CETIN; YILMAZ, 2012) o VANT - do inglês UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) é uma Aeronave que não possui um piloto a bordo, onde, minimiza o risco de vidas humanas, quando utilizado em missões perigosas.

A aeronave não tripulada pode ser confundida com um “*drone*”. O *drone* é utilizado como um hobby, onde, é crucial permanecer a uma distância razoável de seu operador, costumando ser reconhecido só quando estiver em solo. Nos céus do Estado Unidos os *drones* já são comuns no uso civil, no Brasil o uso de *drone* esta crescendo lentamente, mas a cada ano esta sendo mais comum vê-los nos céus brasileiros (JUNQUEIRA, 2013).

Segundo (AUSTIN, 2010) e (PASTOR; LOPEZ; ROYO, 2007) o VANT impõe certo grau de “inteligência”, o que o diferencia do *drone*, o VANT pode ser programado para realizar missões de longa distância e se comunicar com uma estação de controle, ou seja, troca informações em tempo real com seu operador, podendo retornar informações, como, sua localização, velocidade, altitude, quantidade de combustível, informações do *payload* e temperaturas de seus componentes. “O VANT só irá existir se o mesmo oferecer vantagens em comparação com a Aeronave Tripulada” (AUSTIN, 2010).

O VANT é utilizado constantemente em missões militares. As missões variam de acordo com o tipo de aeronave e seu objetivo. Os tipos de missões que a aeronave é submetida são conhecidos pela sigla DDD (*Dull, Dirty, Dangerous*). Segundo (AUSTIN, 2010) e (PASTOR; LOPEZ; ROYO, 2007) estas missões são divididas da seguinte forma:

- *Dull* (Maçantes): Refere-se a missões de vigilância de prazos estendidos, que para um ser humano representaria extrema exaustão, podendo leva-lo a uma perda significativa em seu desempenho durante a missão. Ao utilizar um VANT nessa situação, esse efeito não ocorreria, uma vez que

a aeronave possua piloto automático. A importância deste tipo de missão nesse trabalho dá-se pelo fato de servir como referência para realizar uma simulação utilizando como base este tipo missão.

- *Dirty* (Sujas): Esse tipo de missão pode ser aplicado em nível militar e nível civil. O objetivo é monitorar ambientes com risco de contaminação, como nuclear e químico, o que para uma tripulação poderia ocasionar riscos extremamente perigosos. Um VANT por sua vez, pode ser utilizado facilmente neste tipo de missão, sendo de fácil desintoxicação, no qual para um ser humano o efeito é totalmente diferente.
- *Dangerous* (Perigosa): Para uso militar, onde, o reconhecimento de áreas inimigas, na qual está fortemente defendida, sua grande perda nesta missão, utilizando uma aeronave tripulada é a perda da própria tripulação, agregando-se um tempo maior de preparação para realizar novamente tal missão. No entanto, o VANT seria a melhor escolha para este tipo de missão, sendo que o piloto estaria sobre nenhuma ameaça constante, podendo assim se concentrar especificamente em seu objetivo, por tanto, trazendo mais eficiência a missão. Por isso o VANT traz uma probabilidade de sucesso maior e riscos menores de perda durante a missão.

Como já foi dito no capítulo anterior o VANT pertence ao sistema SANT, onde, de modo geral cada componente é responsável por outro componente, ou seja, cada componente depende de seu vizinho para que todo sistema funcione perfeitamente.

1.2. Estação de Controle

Segundo (PASTOR; LOPEZ; ROYO, 2007) e (AUSTIN, 2010) a Estação de Controle ou do inglês CS (*Control Station*) é um sistema de computador que pode ser utilizado tanto no solo quanto no ar. A estação de controle pode variar a partir de um notebook até mesmo um avião, carregado com vários sistemas de computadores, controle de voo, *payload* e links de comunicação. A função da CS é monitorar os passos da missão (PASTOR; LOPEZ; ROYO, 2007), recebendo constantemente informações telemétricas da aeronave, tais como altitude, velocidade, nível de combustível entre outros dados e recebe informações em tempo real do *payload*, podendo variar em

diferentes aeronaves com informações, como, transmissão de vídeo de alta qualidade e imagens térmicas.

De acordo com (AUSTIN, 2010) a CS gerencia as operações que irá traçar para a aeronave, se comunicando com tal, por meios de links de comunicação, onde, a estação de controle traça todo o perfil de voo, os tipos de missões que serão realizados e realiza o controle do *payload* ou monitora as informações que o *payload* irá transmitir para a estação de controle.

1.3.Payload

De acordo com (AUSTIN, 2010) o *payload* é considerado apenas como uma parte da aeronave, no qual sua única função é realizar as missões, no entanto, segundo (PASTOR; LOPEZ; ROYO, 2007) o *payload* é um conjunto de sensores, como sensores infravermelhos, sensores térmicos entre outros com o objetivo de processar e receber informações. O *payload* para uso civil pode ser utilizado para pulverização de plantações agrícolas ou para medir a quantidade de água necessária em cada alqueire, no Brasil esse tipo de aplicação é muito comum.

O *payload* tem como propósito geral, coletar informações para que possam ser utilizadas para detectar, reconhecer e identificar, medir e qualificar objetos e ações e colher informações proveitosas sobre o local ao seu em torno (AUSTIN, 2010).

1.4.Sistema de Navegação

O Sistema de navegação pertence a um aglomerado de equipamentos projetados para transmitir informações aerodinâmicas, tais como, o GPS (*Global Position System*), onde, repassa em tempo real a localização da aeronave. O sistema de navegação impõe o papel de passar todos os dados necessários aos outros subsistemas da aeronave, realizando assim, o plano de voo entre outras funções que o VANT necessita para realizar a missão que foi designada.

De acordo com (AUSTIN, 2010) para a aeronave realizar algumas missões, o operador deve manter uma comunicação estável e permanente entre ele e a aeronave, onde, caso a aeronave perca comunicação o operador deve dispor de outros meios de link de comunicação. Segundo (AUSTIN, 2010) alguns destes tipos de link de comunicação são:

- Equipamento de Radar: A aeronave é equipada com transponder que emitem sua localização para a estação de controle.
- Equipamento de Rádio: É transmitido um sinal de rádio, contendo informações da aeronave para a estação de controle.

No entanto, é crucial que a aeronave seja totalmente automática, mas o preço para obter esse tipo de equipamento é muito alto. O equipamento de Rádio é muito utilizado em aeronaves de pequeno porte, pois seu custo é menor comparado ao um sistema de radar sofisticado. É um dos objetivos, do presente projeto analisar a comunicação da aeronave com a estação de controle.

1.5.Sistema de Suporte

O sistema de suporte segundo (AUSTIN, 2010) é um agregado de fatores, como, sistema de substituição de peças, ferramentas para manutenção, manuais de operação entre outros, variando de acordo com a aeronave. O VANT necessita desse suporte, como as aeronaves convencionais, isto é, necessita de um sistema de suporte funcional que proveem de uma infraestrutura eficiente (PASTOR; LOPEZ; ROYO, 2007).

1.6.Links de Comunicação

O sistema de link de comunicação é o principal equipamento de um VANT, no entanto pode variar de acordo com a aeronave. Sua função é transmitir e receber dados, assim, realizando a comunicação da aeronave com a estação de controle (AUSTIN, 2010). Para efetuar uma comunicação estável e segura entre um ponto e outro, os links de comunicação exercem uma combinação de diferentes tipos de mecanismos de comunicação, como, micro-ondas, rádio modems e comunicação via satélite.

Para determinar qual o tipo de link de comunicação, que deverá ser acoplado à aeronave, de acordo com (AUSTIN, 2010), isso pode depender da complexidade de processamento da aeronave, a concepção das antenas e, por conseguinte a complexidade, peso e custo da comunicação de rádio. Esses fatores podem ser determinados, levando-se em conta a distancia da operação, onde o veiculo terá que permanecer a uma distancia adequada para se comunicar com a estação de controle.

Independente do tipo de link de comunicação empregado em sua arquitetura, o link tem como obrigação transmitir de forma segura e confiável, toda informação requisitada, tanto da aeronave, quanto da estação de controle. De acordo com (AUSTIN,

2010) o link de comunicação de dados, contém algumas tarefas básicas, que devem ser seguidas da seguinte forma:

A. *Uplink* (Comunicação a partir da Estação de Controle para o VANT):

- Transmitir trajetórias de voo que são armazenadas no sistema de controle de voo da aeronave, do inglês *Automatic Flight Control System* (AFCS);
- Transmitir os comandos de controle de voo em tempo real para o AFCS;
- Transmitir os comandos de controle para o *payload* e auxiliares acoplados a aeronave;
- Transmitir informações da posição atual da estação de controle, quando necessário.

B. *Downlink* (Comunicação do VANT para a Estação de Controle):

- Transmitir os dados da posição da aeronave para a estação de controle;
- Transmitir imagens e/ou dados do *payload* para a estação de controle;
- Transmitir os dados da aeronave, como nível de combustível, temperatura do motor entre outros componentes para a estação de controle.

1.7. Rede de Retransmissão de Comunicação Relacionada ao VANT

Uma rede de retransmissão de comunicação pode ser definida como uma estação que retransmite mensagens de uma estação para a estação seguinte ou entre várias estações, de modo a facilitar a comunicação entre as unidades (NGUYEN, *et al.*, 2004). Segundo (CETIN; ZAGLI, 2012) existe varias maneiras de estabelecer uma rede de retransmissão de comunicação, e uma dessas técnicas é uma retransmissão no ar usando veículos aéreos tripulados, satélites ou veículos aéreos não tripulados (VANT).

Os VANTs utilizados em nível militares denominados *Predator*, *Fire Scout* e *Hunter* oferecem recursos de retransmissão de comunicação, sendo, umas das áreas de uso mais popular para estender o alcance da comunicação entre a estação de controle e os VANTs (PINKNEY; HAMPEL; DIPIERRO, 1996). De acordo com (CETIN; ZAGLI, 2012) e (BURDAKOV, *et al.*, 2009) outra função de uma rede de retransmissão de VANT é onde, o VANT que não possui alcance suficiente para se comunicar com a estação de controle, pode então, ser controlado por meio de outro

VANT no qual ele servirá como um ponto de referência para comunicação entre ambos, ou seja, estende a comunicação para que o outro VANT se comunique com a estação de controle, como é ilustrado na Figura 3. Para (ZAGALI; CETIN; YILMAZ, 2012) as principais razões para utilizar um grupo de VANTs, são as seguintes:

- Maximizar o alcance da transmissão usando várias aeronaves entre a estação de controle e o VANT líder, encarregado de realizar o objetivo principal da missão;
- Estabelecer um canal rápido e dinâmico entre a estação de controle e o VANT líder;
- Comunicar-se a um VANT que poderá estar atrás de algum obstáculo físico, onde, a comunicação será feita através da criação de uma linha de visada (*Line-Of-Sight – LOS*).

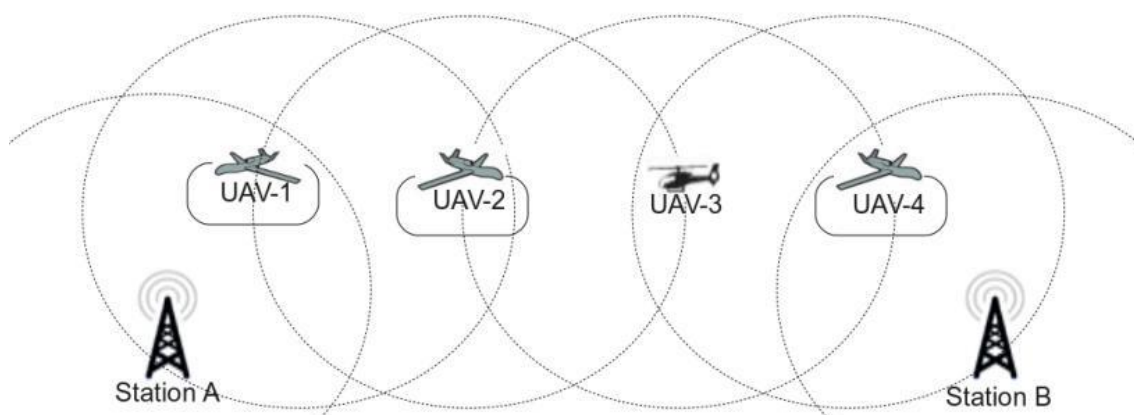


Figura 3. Representação de uma rede de retransmissão de comunicação utilizando um grupo de VANTs.
Fonte: (CETIN; ZAGLI, 2012)

Vários estudos já foram realizados na área de retransmissão de comunicação utilizando um grupo de VANTs, como o trabalho de (ZHAN; YU; SWINDLEHURST) o qual aborda o problema de redes compostas por VANTs, onde, os veículos aéreos não tripulados variam de posições, assim sendo necessário alterar respectivamente as configurações de roteamento entre ambos. Este tipo de abordagem pode ser representado como uma computação ciente de contexto recorrente no trabalho de (KHEDR; KARMOUCH, 2002), e sendo assim, com cada VANT roteando seus sinais entre si, pode se caracterizar uma rede do tipo *Mesh*, como vista no trabalho de (AKYILDIZ; WANG; WANG, 2005).

Como grande parte de projetos não possuem recursos financeiros, para realizar as devidas análises e simulações, trabalhos como o de (CETIN; ZAGLI, 2012) realiza as simulações por software, onde o objetivo de seu projeto é demonstrar planejamentos de trajetórias de voo autônomas para cada membro de um grupo de VANTs, utilizando a abordagem APF (*Artificial Potential Fields*), ou seja, campo potencial artificial, onde são utilizados em trajetórias de voo em VANTs de acordo com (BARNES, *et al.*, 2014), assim, fornecendo uma corrente de retransmissão no ar contínua estável. Os softwares utilizados no trabalho de (CETIN; ZAGLI, 2012) é o *Mat lab*, o qual ira calcular a trajetória dos VANTs e o software *Network Simulator* (NS2), o qual terá a função de analisar a comunicação entre o grupo de VANTs.

O trabalho supracitado desconsidera fatores como, tipo de dispositivo utilizado para realizar a comunicação, tipo de topologia de rede e alteração de quantidade de VANTs para analisar a sustentação da comunicação.

O trabalho de Função (2012) concentrou-se em investigar problemas que degradam a qualidade da camada enlace da comunicação à rádio, abordando este problema em seu trabalho por meio da técnica *Model Driven Engineering* (MDE), assim, determinando seu comportamento em vários cenários, assim, se baseando em seus respectivos resultados, o qual irá elaborar as devidas especificações necessárias para construção de um link de comunicação pertinente para a comunicação entre VANTs e estações terrestres.

Para (FREITAS, *et al.*, 2010) o objetivo de seu trabalho é averiguar a manutenção de uma rede composta por nós móveis e nós estáticos, onde os nós móveis serão os VANTs e os nós estáticos serão pontos fixos no solo. O contexto do trabalho visa utilizar um grupo de VANTs (nós móveis) para servir de apoio aos nós estáticos, para que eles se comuniquem com a estação de controle, assim o nó estático poderá entregar as informações à estação de controle.

O presente trabalho não explorará os tipos de análises citadas, no entanto, se concentrará apenas na análise da rede de retransmissão, ocasionada pelo grupo de plataformas VANTs utilizando um dispositivo de rádio modem, como base dos parâmetros para toda a rede, sendo que cada aeronave incluindo a base terrestre irá utilizar o mesmo dispositivo de rádio modem facilitando o processo de análise de desempenho da rede de retransmissão de comunicação. Problemas de perda de comunicação devido à distância, alteração na quantidade de veículos para a rede,

posicionamento dos veículos durante a simulação, serão fatores que serão considerados durante o processo de análise.

O capítulo seguinte descreve os meios de comunicação que o VANT utiliza para realizar a comunicação da aeronave com a estação de controle, no entanto, descrevendo com mais detalhes o meio de comunicação por rádio.

2. Comunicação relacionada ao VANT

Como foi mencionado no capítulo anterior, o VANT pertence ao sistema SANT, onde, um dos subsistemas do mesmo é o link de comunicação, assim, sua função é realizar a comunicação do VANT com outros VANTs e a estação de controle.

Os links de comunicação segundo (AUSTIN, 2010), possuem duas funções básicas para o subsistema de comunicação, sendo, o “*up link*” e “*down link*”, como foi descrito no item 2.6.

A sustentação da comunicação é de extrema importância. Se ocorrer a perda da capacidade de se comunicar, a aeronave se torna meramente um *drone*, assim, perdendo a versatilidade e ampla vantagem da aeronave, no entanto, algumas aeronaves podem realizar as missões mesmo com a perda da comunicação eminente (PASTOR; LOPEZ; ROYO, 2007)

Alguns dos fatores que acarreta a perda da comunicação da aeronave, pode se resultar da seguinte forma:

- Falha de todo ou parte do sistema, por falta de confiabilidade do sistema;
- Ocorrência da perda de linha de visada (LOS), devido às características geográficas que bloqueiam os sinais;
- Enfraquecimento da potência do sinal recebido, dado a distancia a partir da aeronave para a estação de controle;
- Interferência intencional ou inadvertida dos sinais.

2.1. Tipos de Comunicação

Existem vários meios de comunicação que a aeronave pode possuir variando da arquitetura utilizada. Os meios de comunicação pode variar, como um feixe a laser, utilização de fibra óptica, radio modem, comunicação via satélite e micro ondas.

Entretanto o presente trabalho enfatiza os tipos de comunicação por feixe a laser, fibra óptica e comunicação por rádio modem.

2.1.1. Comunicação por feixe a laser

Segundo (AUSTIN, 2010) o método de comunicação por feixe a laser se tornou algo esquecido para o VANT, um dos motivos de seu esquecimento se deve ao fato de

possuir uma alta taxa de absorção atmosférica, assim, limitando o alcance da comunicação e reduzindo a confiabilidade da comunicação.

2.1.2. Comunicação por fibra óptica

A utilização da comunicação por fibra óptica em VANTs pode ser usual em situações especiais. Para (AUSTIN, 2010) uma única situação que implicaria o uso da fibra óptica como meio de comunicação entre a estação de controle e o VANT, seria quando a aeronave teria a necessidade de realizar um voo em baixa altitude, por exemplo, sobrevoar terrenos que possui plantações planas de fácil sobrevoos, podendo então, analisar as condições do plantio e lavoura do respectivo hectare por meio de câmeras de vídeo de alta definição (*payload*) acoplado a aeronave, assim, transmitindo todas as informações em tempo real para a estação de controle.

Os principais motivos ao utilizar a fibra óptica são por ela proporcionar uma alta taxa de transmissão de dados e alta capacidade de segurança em detecção e interceptação de dados e não perder a comunicação por fatores climáticos. No entanto, uma grande desvantagem ao utilizar a fibra óptica está relacionada a distancia que a comunicação poderia fornecer, que esta na casa de alguns quilômetros. Essa desvantagem ocorre por a comunicação utilizar cabos para a comunicação.

Como (AUSTIN, 2010) menciona este tipo de comunicação se caracteriza em aeronaves de decolagem e aterrissagem vertical, sendo conhecidas pela sigla UAV VTOL (*Vertical take-off and landing*), como ilustrado na Figura 4.



Figura 4. Exemplo de um UAV VTOL.
Fonte: (STATIONAIR, 2014)

2.1.3. Comunicação por rádio

A comunicação à rádio é utilizada para propiciar a comunicação por intermédio da transcepção de informações previamente codificadas em sinal eletromagnético que se propaga através do espaço livre (AVAZANI, 2014). Uma das vantagens da comunicação à rádio é por ser capaz de transmitir informações entre dois pontos em uma distancia longa, ou seja, irá transmitir a informação por intermédio de um transmissor e recebe as informações por meio de um receptor.

A comunicação à rádio transmite as informações por ondas eletromagnéticas propagadas pelo espaço e, por serem de comprimentos diferentes são classificadas em ondas curtas de alta frequência ou ondas longas de baixa frequência, assim, utilizado em diversas finalidades como sistema comunicação área civil e militar, comunicação digital, entre outros.

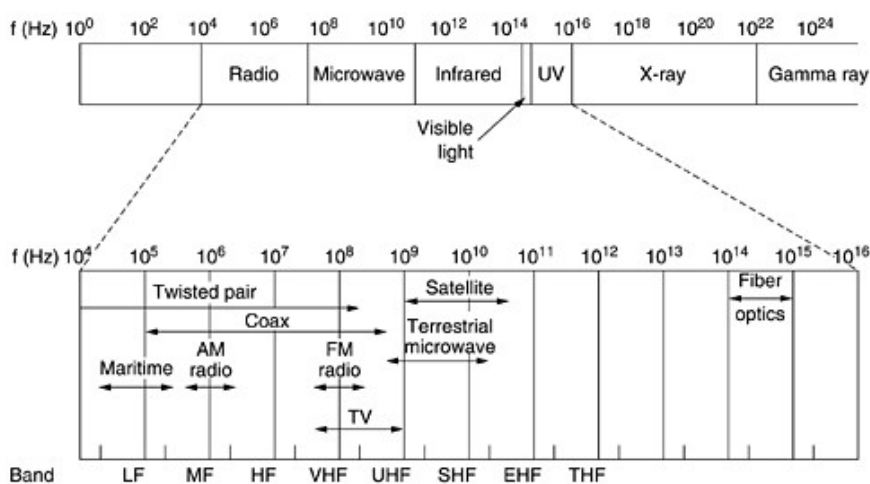


Figura 5. O espectro de ondas eletromagnéticas e a maneira como é usado na comunicação.
Fonte: (TANENBAUM, 2003)

A Figura 5 apresenta o espectro de ondas eletromagnética, utilizada na comunicação. A comunicação à rádio é o meio de comunicação mais utilizado atualmente, ou seja, todo o tipo de sistema que pode ser operado é conhecido como rádio, no entanto, isso inclui a comunicação entre a estação de controle e o VANT (AUSTIN, 2010). Cada país possui um órgão regulamentador que diferencia cada frequência de rádio para uma finalidade em específico, tornando algo restrito e limitado só para aquela respectiva função. O órgão responsável por essa regulamentação nos EUA é a FAA e no Brasil é a ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicações).

De acordo com (FUNÇÃO, 2012) a ANATEL é a responsável em administrar o espectro da radiofrequência e impulsionar o desenvolvimento no Brasil na área de

Telecomunicações. Para a ANATEL as faixas de frequência do espectro que são autorizadas no país são de 9 khz a 300 ghz na utilização da radiocomunicação.

Segundo (FUNÇÃO, 2012) as vantagens como mobilidade e facilidade de instalação que o sistema de comunicação sem fio impõe, ainda há varias problemas ocorrentes em relação ao desempenho de um sistema de comunicação à rádio. Os problemas que ocorrem em decorrência de limitações, como por exemplo, a utilização limitada do espectro eletromagnético, fenômenos climáticos (temperatura, pressão atmosférica, poluição, etc.) ou a impossibilidade de manter uma linha de visada entre o transmissor e o receptor.

Uma parte do espectro eletromagnético é caracterizada como espectro de radiofrequências e é controlada pela UIT (União Internacional de Telecomunicações). Segundo (TELECO, 2014) a ANATEL define o espectro de radiofrequência como um bem público, cuja administração é gerenciada pela própria agência, no entanto, corresponde a só uma parte do espectro eletromagnético. Devido a ANATEL ter a responsabilidade de gerenciar o espectro, assim, a própria agência que define quais radiofrequências serão adequadas e utilizadas em diversos serviços, por exemplo, a comunicação digital que é utilizada em vários equipamentos de RF (radiofrequência).

A ANATEL disponibiliza algumas faixas de radiofrequência, para a comunicação digital por rádio sem a necessidade da autorização da agência, desde que essas rádios frequências utilizem a técnica de espelhamento espectral e outras técnicas de modulação digital em sistemas de acesso sem fio em redes locais. Segundo a resolução N° 506, 1 de Julho de 2008, a Tabela 1 descreve as frequências disponíveis em a autorização da ANATEL (ANATEL, 2008).

Tabela 1 - Faixas de radiofrequência disponíveis para comunicação digital por rádio sem autorização da ANATEL.

Frequência Inicial	Frequência Final
902 MHz	907,5 MHz
915 MHz	928 MHz
2400 MHz	2483,5 MHz
5725 MHz	5850 MHz

Fonte: (ANATEL, 2008)

Segundo (FUNÇÃO, 2012) as faixas de frequência de 2400 Mhz, são utilizadas através das técnicas de espelhamento espectral (*Spread Spectrum*) e OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Estes tipos de modulação digital são apropriados para os padrões IEEE 802.11b e 802.11g, onde, costumam ser utilizados em redes

domesticas e pequenos escritórios e utilizado no padrão 802.15 (Bluetooth). Para (FUNÇÃO, 2012) a primeira e segunda faixas de radiofrequência mostradas na Tabela 1 são comumente utilizadas em aparelhos telefônicos sem fio, enquanto a ultima faixa de frequência 5,8 Ghz é utilizado no padrão IEEE 802.11a.

Para se utilizar uma frequência de rádio, portanto, é necessário verificar se aquela faixa de transmissão digital terá disponibilidade para comunicação, verificando no órgão regulamentador responsável.

Este capítulo descreveu o meio de comunicação relacionado ao VANT mostrando um pouco da tecnologia que poderia ser utilizada nas aeronaves, dessa forma, foi possível identificar os possíveis problemas que podem ocorrer na utilização desses meios de comunicação em algumas situações.

O próximo capítulo mostrará como a metodologia é utilizada propondo o cenário que será usado para realizar a corrente de retransmissão, utilizando um componente de rádio modem de baixo custo.

3. Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho, foi:

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as características e definições do VANT, descrita no capítulo dois deste trabalho. De acordo com a revisão bibliográfica realizada sobre o tema, o VANT pode realizar vários tipos de missões conhecidas pela sigla DDD. Segundo (CETIN; ZAGLI, 2012) os VANTs podem ser utilizados para realizar uma corrente de retransmissão de dados, sendo assim, possível estender o alcance da comunicação entre dois pontos, ou seja, neste caso iria estender a comunicação do VANT com a estação de controle, assim, chegando ao uma das motivações desse trabalho.

A revisão bibliográfica do capítulo três deste trabalho descreve os meios de comunicação mais utilizados em um VANT, relacionados ao link de comunicação. Os meios de comunicação descritos são a comunicação por feixe a laser, fibra óptica e comunicação via rádio. Cada meio de comunicação foi descrito com detalhes sobre suas vantagens e utilidades para aeronave não tripulada, no entanto, o objetivo deste trabalho é a comunicação entre um grupo de plataformas de VANTs utilizando a comunicação via rádio, onde, para (AUSTIN, 2010) é o meio de comunicação sem fio mais utilizado nos VANTs atualmente.

Para analisar a comunicação entre o grupo de plataformas de VANTs utilizando a comunicação via rádio, foi realizado simulações com o ambiente de simulação *Network Simulator* (NS), para validar o desempenho da comunicação. O cenário proposto para realizar a corrente de retransmissão visa conseguir realizar a comunicação da estação de controle com o VANT Principal enviando constantemente pacotes de dados na rede.

O ambiente de simulação *Network Simulator* foi instalado no sistema Linux Ubuntu 14.10, onde será realizada a simulação entre o grupo de plataforma VANT e a estação de controle.

Para realizar a simulação, foram utilizadas as especificações de um dispositivo de comunicação via rádio modem de baixo custo, assim, importando suas especificações para o ambiente de simulação *Network Simulator*, onde, a estação de controle e o grupo de plataformas VANT irão conter as especificações deste dispositivo de baixo custo, que no capítulo cinco será descrito com mais detalhes.

Os critérios adotados para analisar o desempenho da comunicação, foram:

- Taxa de transferência da rede (*Throughput*);
- Quantidade de perdas de pacote;
- Quantidade de pacotes recebidos;
- Fatores de perda de comunicação.

O capítulo quatro descreve o ambiente de simulação utilizado para realizar os testes da comunicação via rádio.

4. Simulação

Para analisar uma corrente de retransmissão de dados utilizando os VANTs como ponto de acesso de um ponto a outro é necessário que as aeronaves possam realizar essa corrente em um ambiente real, considerando fatores climáticos, altura de cada aeronave, o tipo de aeronave que irá realizar a corrente de retransmissão e entre outros fatores.

Entretanto, isso requer um custo muito alto para realizar esse tipo de análise, sendo assim, é possível realizar uma corrente de retransmissão utilizando um simulador.

4.1. Network Simulator (NS2)

O ambiente de simulação *Network Simulator* (NS2) é um simulador de eventos discretos, decorrente de um projeto denominado VINT (*Virtual InterNetwork Testbed*) (GREIS, 2014). De acordo com (SOUZA, *et al.*, 2014) o *Network Simulator* compõem projetos como DARPA, USC/ISI, Xerox PARC, LBNL e a universidade de *Berkey*.

O ambiente de simulação *Network Simulator* possui grandes variedades de tecnologias de rede (com e sem fio), proporcionando diferentes cenários utilizando os protocolos TCP e UDP, diversos tipos de escalonadores, políticas de fila, caracterização de tráfegos de rede com grande diversidade de distribuições de estatísticas e muitos outros recursos (COUTINHO, 2003) (GREIS, 2014).

Uma grande vantagem do ambiente de simulação é por ser gratuito, ou seja, possui seu código fonte aberto permitindo ao usuário proceder com ajustes que julgue necessário para o cenário que esta planejando impor no ambiente de simulação. Com o código fonte aberto o ambiente de simulação, pode renovar os tipos de tecnologia, dessa forma estendendo os campos de estudos na área de redes.

A Figura 6 ilustra o ambiente de simulação gerado pelo *Network Simulator*, onde, a situação ilustrada é a formação de voo de um grupo de plataforma VANT se comunicando com a estação de controle, assim, realizando a corrente de retransmissão. Para o ambiente de simulação *Network Simulator* cada VANT é considerado um nó móvel de uma rede sem fio, isso vale também para a estação de controle, no entanto, o nó móvel da estação de controle fica estático durante o período de simulação.

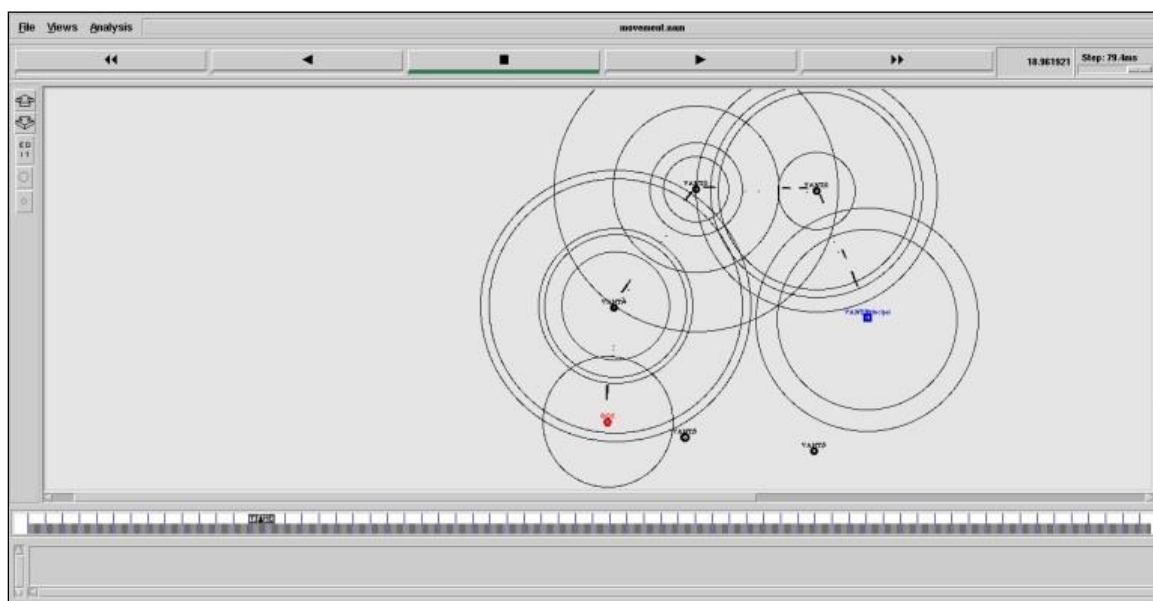


Figura 6. Simulação no ambiente Network Simulator.

Como foi supracitada a Figura 6 ilustra a formação de voo do grupo de VANT, sendo que o VANT Principal é reconhecido pela cor azul e está recebendo as informações da estação de controle representada pela cor vermelha. Os outros VANTs são representados pela cor preta, onde, sua função e retransmissão a informação recebida da estação de controle ou do VANT Principal.

4.1.1. NS2 Visual Trace Analyzer

Segundo (ROCHA, 2010) embora o *Network Simulator* seja um ambiente de simulação com amplos recursos tecnológicos na área de redes e ser utilizado mundialmente, no entanto, ele possui uma desvantagem que implica em sua utilização. A desvantagem em sua utilização é analisar todos os dados gerados pelo ambiente de simulação, sendo assim, não sendo uma tarefa fácil para os usuários.

O ambiente de simulação *Network Simulator* possui ferramentas de simulação, conhecida pela sigla NAM (*Animator Network*), mas não fornece nenhum recurso para geração de dados estatísticos ou gráficos, para futuras análises de desempenho geradas pela simulação.

De acordo com (ROCHA, 2010) o *NS2 Visual Trace Analyzer*, traz vários recursos para análise pós-simulação do ambiente de simulação *Network Simulator*, sendo, a criação de gráficos, cálculos de dados estatísticos se baseando no

funcionamento da rede, na geração de gráficos para cada nó da rede em específico, assim, facilitando uma análise mais profunda da rede. Alguns dos recursos que a ferramenta de análise traz, são os seguintes:

- *Send* (Enviado): Exibe todos os dados dos pacotes enviados na rede a partir do nó utilizado;
- *Received* (Recebido): Exibe todos os dados dos pacotes recebidos na rede a partir do nó utilizado;
- *Forwarded* (Transmitido): Exibe o total de dados que foi desviado para outros nós durante outra comunicação da rede;
- *Dropped* (Perda de Pacotes): Exibe os dados que foram perdidos e colocados na fila da rede para recuperação desses pacotes.
- *Lost* (Pacotes perdidos): Exibe o total de dados enviado pelo respectivo nó, mas que não foi recebido (*Received*) e nem ocorreu à perda de pacotes (*Dropped*).

A ferramenta de análise não possui necessidade de instalação, podendo ser utilizadas em plataformas Linux e Windows.

4.2.Cenário da Simulação

Para a elaboração do cenário da simulação, usando o grupo de plataformas VANT e a estação de controle é necessária decretar regras que serão realizadas pela estação de controle e as aeronaves. De acordo com (CETIN; ZAGLI, 2012) pela natureza de uma missão de retransmissão de comunicação, existe três tarefas básicas, que para ele devem ser cumpridas.

O objetivo do cenário escolhido para a simulação é transmitir a localização da estação de controle para o VANT Principal. A estação de controle estará posicionada em um ponto estático para a simulação, sendo que as aeronaves irão realizar o voo próximo da estação de controle, sendo assim, em alguns pontos durante a simulação o VANT Principal irá passar perto da estação de controle, onde irá receber as informações que necessita da estação de controle, no entanto, em outros pontos da simulação o VANT Principal estará a um distancia que não será capaz de se comunicar com a estação de controle, dessa forma sendo necessário realizar uma corrente de retransmissão no ar.

Segundo (CETIN; ZAGLI, 2012) as tarefas são, recolher as informações das missões e iniciar primeiro a transmissão da mesma, a segunda tarefa é o fornecimento dessas informações coletadas e que serão transmitidas para a base da missão, que no caso é a aeronave que irá realizar a esta missão e por ultima tarefa é definida como a manutenção da continuidade da comunicação, ou seja, utilizar outras aeronaves para manter a comunicação estável, no entanto, levando em consideração vários fatores, por exemplo, condições climáticas.

No cenário proposto serão atribuídas duas tarefas básicas que serão descritas a seguir.

A primeira tarefa é definida como recolher as informações da missão e realizar a transmissão dessas informações. O responsável por esta tarefa é a “estação de controle”. A missão da estação de controle é transmitir as informações de sua localização, e aeronaves vizinhas e atualizar a informação da aeronave principal (VANT Principal) sobre sua missão.

A segunda e ultima tarefa é realizar o fornecimento das informações coletadas e que serão transmitidas para o VANT Principal, encarregado de realizar a missão. O tipo de VANT designado para esta missão é o “VANT Corrente”, sendo o responsável por realizar a retransmissão da comunicação entre a estação de controle e o VANT Principal. A missão do VANT Corrente é se posicionar entre a estação de controle e o VANT Principal, dessa forma, mantendo a linha de visada da comunicação entre a estação de controle e o VANT Principal. O VANT Corrente, como o termo sugere irá servir como ponto de acesso para a comunicação durante a simulação.

A missão de retransmissão de comunicação é proporcionada por um grupo de plataforma VANT Corrente, posicionados entre a estação de controle e o VANT Principal.

O grupo de plataforma VANT estará posicionado no cenário da simulação em forma de hexágono, exercendo uma formação de voo no sentido horário em uma simulação e outra em sentido anti-horário. A formação de voo é ilustrada na Figura 7, no sentido horário e na Figura 8 no sentido anti-horário. A estação de controle estará em forma estática na simulação. As aeronaves irão voar na velocidade de 10 m/s, sendo fornecido pelo ambiente de simulação *Network Simulator*. Levando em conta uma formação de voo real, todas as aeronaves irão realizar o voo possuindo a mesma altura.

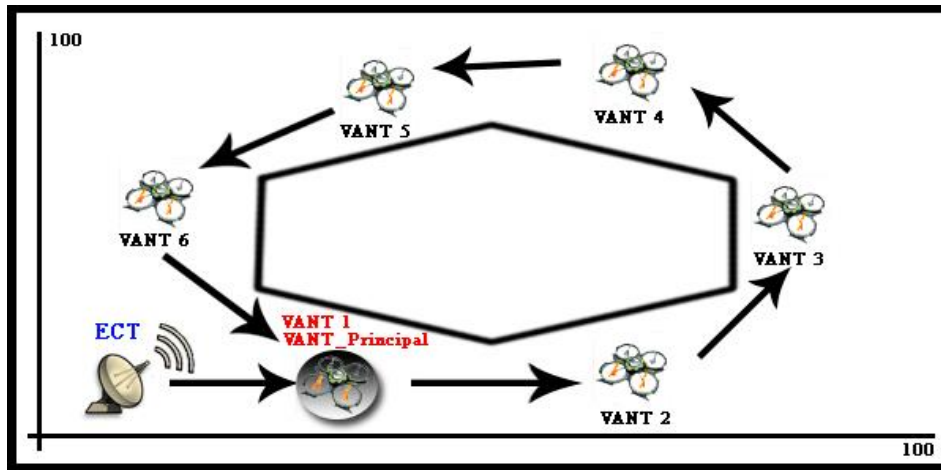


Figura 7. Ilustração da formação de voo em forma de hexágono, sentido horário.

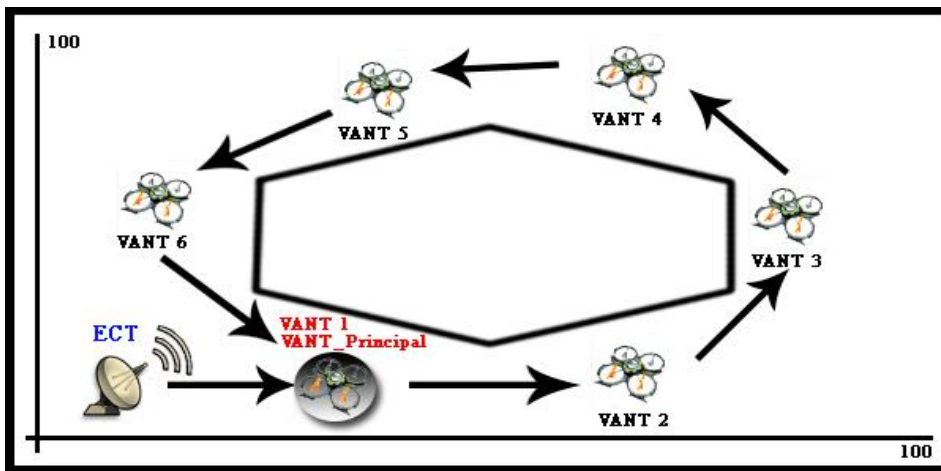


Figura 8. Ilustração da formação de voo em forma de hexágono, sentido anti-horário.

Os pontos de posição das aeronaves na área de simulação, para a geração da formação de voo em formato de hexágono e a posição da estação de controle, pode ser visto na Tabela 2.

No ambiente de simulação serão usadas seis plataformas VANT que irão possuir o mesmo alcance de comunicação, que será proporcionado pelo componente de rádio modem. Todas as aeronaves serão capazes de se comunicar com a estação de controle.

Conforme foi definido anteriormente neste trabalho, um grupo de aeronaves é selecionado como VANT Corrente, que possibilita a comunicação entre a estação de controle e o VANT Principal, onde, o VANT Principal irá receber as informações da estação de controle e irá repassar a informação, confirmando seu recebimento.

A distância física entre os veículos e a estação de controle é definido em unidades, porém é aceito como valores de proporção métrica. As dimensões do cenário

são de 1000x1000 metros, gerando dimensões de 100 hectares em proporções reais. As medidas são fornecidas pelo ambiente de simulação *Network Simulator*.

Tabela 2. Definição dos pontos iniciais da posição das aeronaves e estação de controle no ambiente Network Simulator.

Objetos	Posição inicial no sistema de coordenadas 2D.	
	Eixo X	Eixo Y
Vant/Principal	150	250
Vant/ Corrente 2	360	250
Vant/ Corrente 3	450	480
Vant/ Corrente 4	360	700
Vant/ Corrente 5	150	700
Vant/Corrente 6	1	480
Central de Controle	1	350

No ambiente de simulação *Network Simulator*, um nó sem fio padrão é criado, sendo assim, cada nó sem fio corresponde às aeronaves e a estação de controle, na área de comunicação.

O posicionamento e navegação das aeronaves no ambiente de simulação *Network Simulator* é definido pelo cenário do trabalho. O tempo de simulação é de 1 minuto e 30 segundos, sendo suficiente para que o VANT Principal realizar duas voltas e chegar novamente perto da estação de controle. Os parâmetros de comunicação definidos para os nós sem fio (VANT) é demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de comunicação do nó sem fio, no qual representa a plataforma VANT no ambiente de simulação Network Simulator.

Componentes	Configuração	Observações
Canal de Comunicação	Channel/Wireless Channel	Rede de comunicação sem fio
Propagação	Propagation/TwoRayGround	Rádio modem proposto neste trabalho
Interface da Rede (<i>Network Interface</i>)	Phy/WirelessPhy	
MAC	MAC/802_11	Padrão IEEE 802.11
Link Layer	LL	Canal de enlace
Tipo de Fila da camada enlace	Queue/DropTail/PriQueue	Providade da fila - FIFO
Antena	Antenna/OmniAntenna	Antena Ominidirecional
Agente de Roteamento	AODV	Ad hoc On Demand Distance Vector (TANENBAUM, 2003)

Fonte: (ISSARIYAKUL; HOSSAIN, 2009).

Em termos de concepção de um sistema real, cada aeronave possui condições de diferentes fatores e características de alcance de transmissão à rádio. A fim de simplificar a aplicação da simulação, o alcance da transmissão de rádio, utilizado para todo o grupo de plataforma VANT e a estação de controle para o cenário é definido como sendo o mesmo tipo de comunicação à rádio proporcionado neste cenário.

No entanto, o dispositivo de rádio modem proposto para este cenário é o modem 3DR Radio 915 Mhz da empresa 3DR. A empresa 3DR disponibiliza componentes de comunicação para VANT em toda a América do Norte.

O dispositivo de rádio modem 3DR Radio 915 Mhz utiliza o modelo de propagação FHSS(*Frequency Hopping Spread Spectrum*). O dispositivo de rádio modem proposto para simulação, não foi utilizado em simulações reais. Segundo (TANENBAUM, 2003) o modelo de propagação FHSS é compatível com o padrão IEEE 802.11. Os motivos da escolha do modelo de rádio modem se deveram ao seu baixo custo e fácil instalação. Como foi mencionado no capítulo três deste trabalho, o meio de comunicação por rádio modem, necessita de autorização da ANATEL, no entanto, este modelo não necessita de autorização. Segundo a Resolução N° 506/2008 a

frequência 915 Mhz disponibilizada pela ANATEL permiti a utilização no modelo no Brasil (ANATEL, 2008).

Para realizar a simulação da transmissão entre o grupo de plataforma VANT e estação de controle, as especificações do modelo 3DR 915 Mhz disponibilizadas pela fabricante 3DR serão implementadas no ambiente de simulação *Network Simulator*. As especificações serão agregadas ao simulador pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4. Especificações do 3DR Rádio Modem 915 Mhz.

Especificações	Valores	Unidade
Frequência	915	Mhz
Sensibilidade do Receptor	-117	dBm
Potencia de Transmissão	20	dBm
Taxa de Dados	256	Kbps

Fonte: (3DRROBITCS, 2012).

4.3.Procedimento da Simulação

A estação de controle irá transmitir periodicamente um pequeno pacote de dados, contendo as informações da localização da estação base para o VANT Principal, sendo assim, quando o VANT Principal receber o pacote da estação de controle ele irá retransmitir um pacote de confirmação do recebimento do pacote da estação de controle.

As aeronaves denominadas VANT Corrente, que possuem a função de retransmitir a informação passada tanto da estação de controle, quanto do VANT Principal irão retransmitir o pacote enviado da estação de controle só caso o VANT Principal não esteja no raio de alcance da transmissão, sendo que caso a situação seja o inverso ela irá ocorrer da mesma forma.

No presente cenário será utilizado o protocolo TCP, disponível pelo pacote de ferramentas do ambiente de simulação *Network Simulator*. Foram realizadas duas simulações, sendo que uma delas é no cenário aonde as aeronaves ira realizar o voo no sentido horário como foi ilustrado anteriormente e a simulação seguinte será quando as aeronaves ira realizar o voo no sentido anti-horário, como foi ilustrado anteriormente. Em ambas a simulações o tamanho do pacote de envio da estação de controle para o

VANT Principal, irá ter tamanhos diferentes para analisar a eficiência da comunicação utilizando componente de rádio.

Após obter os resultados da simulação, irá ser utilizada a ferramenta de análise NS2 *Visual Trace Analyzer* para criação dos gráficos e dados estatísticos sobre a comunicação entre o VANT Principal e a estação de controle nos cenários propostos.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados dos cenários incorporado no ambiente de simulação *Network Simulator*.

5. Resultados

Todos os resultados da taxa de transferência da rede são obtidos com as aeronaves em movimento, em uma velocidade de 10 m/s. As simulações realizadas foram feitas durante 6 minutos (tempo de simulação) e foram realizadas dez vezes.

A Figura 9 ilustra a comparação de desempenho da taxa de transferência da rede nos cenários no sentido horário e anti-horário com o tamanho do pacote de 256 bytes, entre a estação de controle e o VANT Principal. O resultado mostra que no início da simulação ambos conseguem transmitir os dados em uma velocidade alta, no entanto, ao passar o tempo da simulação o VANT Principal no sentido horário mantém o desempenho por um tempo maior ao contrário do VANT Principal no sentido anti-horário. E Nota-se que o VANT Principal do sentido anti-horário em alguns momentos da simulação perder a comunicação com a estação de controle. A diferença de desempenho entre os cenários ocorre devido às posições que o VANT Principal estará durante a simulação, ou seja, o VANT Principal do sentido anti-horário aos 20 segundos de simulação está mais distante da estação de controle, ao contrário do VANT Principal no sentido horário, que está próximo da estação de controle no mesmo que tempo que o VANT Principal no sentido anti-horário.

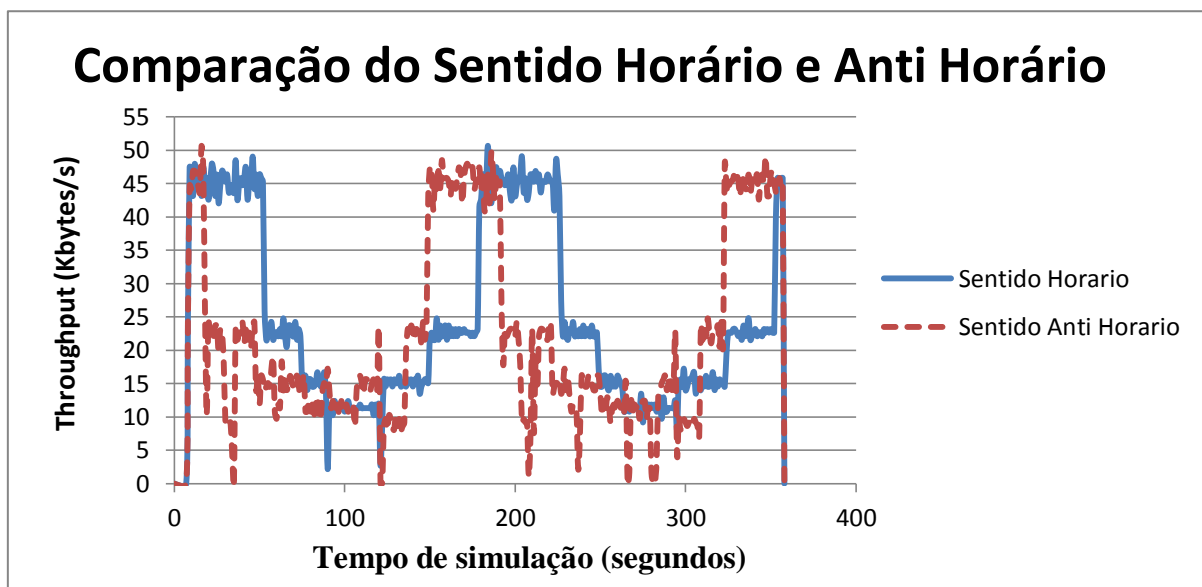


Figura 9. Throughput dos dois cenários com o tamanho do pacote de 256 bytes.

A Figura 10 mostra a comparação de desempenho da taxa de transferência da rede nos cenários no sentido horário e anti-horário, sendo o tamanho do pacote é de 512

bytes. O resultado demonstra que o cenário no sentido anti-horário continua perdendo em alguns momentos da simulação a comunicação com a estação de controle. A diferença de desempenho entre os cenários ocorre pelo fato do VANT Principal estar mais distante da estação de controle logo no início da simulação, sendo assim, possuindo uma taxa de transferência menor.

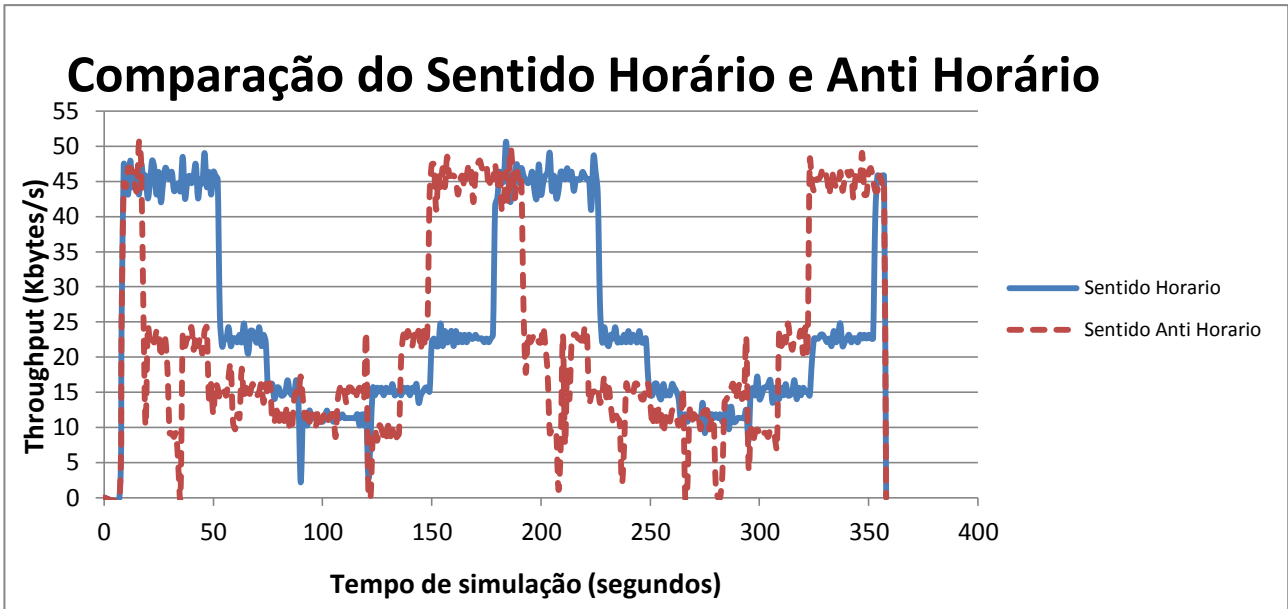


Figura 10. Throughput dos dois cenários com o tamanho do pacote de 512 bytes.

A Figura 11 mostra a comparação de desempenho da taxa de transferência da rede nos cenários no sentido horário e anti-horário, sendo que o pacote terá o tamanho de 1024 bytes. O resultado demonstra que o cenário no sentido anti-horário possui quedas bruscas na comunicação durante a simulação, entre 121 e 132 segundos da simulação ele perde a comunicação total com a estação de controle, recuperando então só aos 133 segundos da simulação. No entanto o cenário sentido anti-horário consegue uma maior taxa de dados comparada ao sentido horário. A ocorrência da perda de comunicação durante a simulação do cenário no sentido anti-horário se deve ao fato da distancia do VANT Principal e a estação de controle e a dificuldade de descoberta de uma melhor rota escolhida pelo protocolo de roteamento durante a simulação.

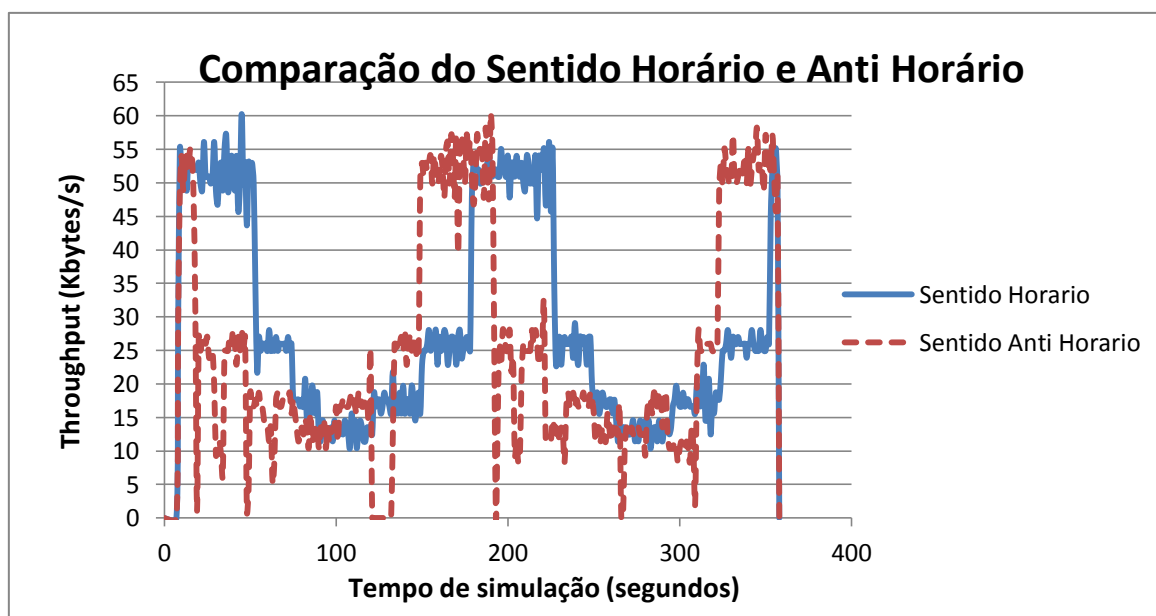


Figura 11. Throughput dos dois cenários com o tamanho do pacote de 1024 bytes.

Tabela 5. Resultados da taxa de entrega de pacotes por tamanhos de pacotes no cenário sentido anti-horário.

Tamanho dos pacotes (bytes)	Quantidade de pacotes enviados	Quantidade de pacotes transferidos	Quantidade de pacotes perdidos	Taxa de entrega de pacotes (%)
256	22882	22479	403	98,24
512	14833	14538	295	98,11
1024	8858	88577	281	96,83

A Tabela 5 sintetiza os resultados da taxa de entrega de pacotes no cenário sentido anti-horário. O resultado demonstra que quanto maior o pacote enviado menor a taxa de entrega desse respectivo pacote, no entanto, a taxa de entrega de pacotes na rede é satisfatória em todos os tamanhos de pacotes analisados.

Tabela 6. Resultados da taxa de entrega de pacotes por tamanhos de pacotes no cenário sentido horário.

Tamanho dos pacotes (bytes)	Quantidade de pacotes enviados	Quantidade de pacotes transferidos	Quantidade de pacotes perdidos	Taxa de entrega de pacotes (%)
256	24923	24806	117	99,53
512	16325	16211	114	99,32
1024	9750	9612	138	98,58

A Tabela 6 sintetiza os resultados da taxa de entrega de pacotes no cenário sentido horário. O resultado demonstra que a quantidade de pacotes enviados no cenário sentido horário é maior do que o sentido anti-horário, sendo assim contendo uma taxa maior de entrega de pacotes. No entanto, a quantidade de pacotes perdido no tamanho do pacote 512 bytes é praticamente igual ao do tamanho de pacotes 256 bytes. O motivo do cenário no sentido horário enviar mais pacotes ocorre devido à trajetória que o VANT realiza durante a simulação.

A Figura 12 mostra a velocidade média do *throughput* entre o cenário sentido horário e anti-horário. O resultado demonstra que o cenário no sentido horário possui uma taxa maior Kbytes/s em todos os níveis de pacotes comparado ao cenário anti-horário, devido a sua trajetória durante a simulação.

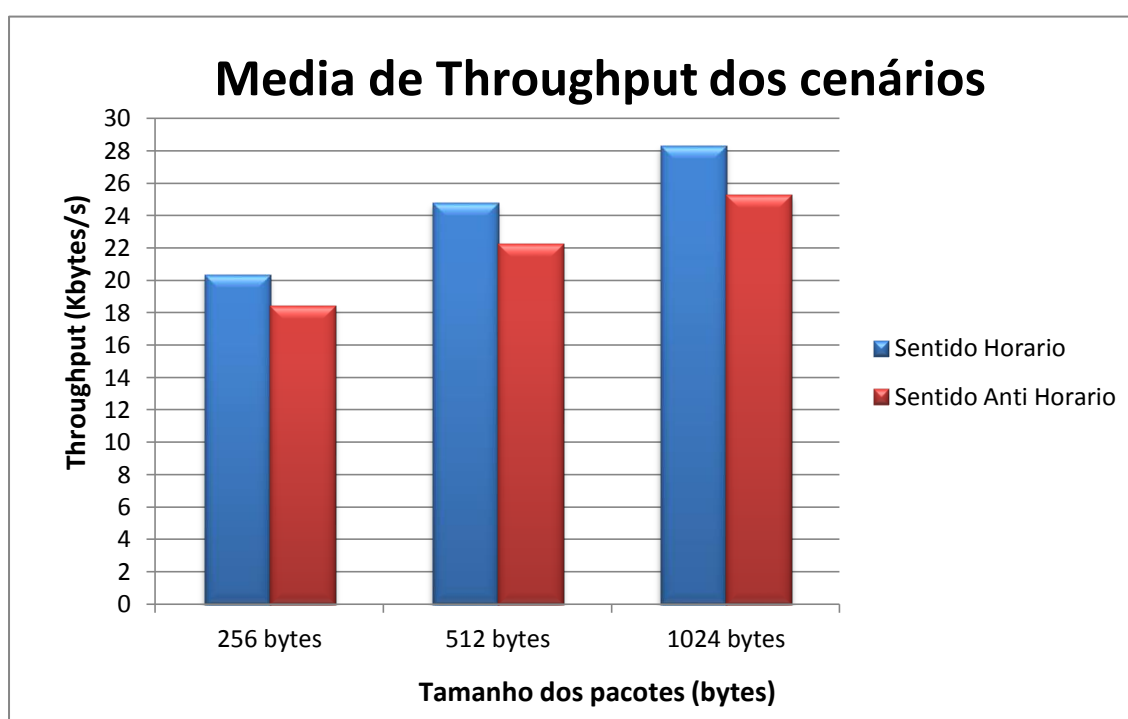


Figura 12. Media de Throughput dos cenários.

A Figura 14 mostra a quantidade de perda de pacotes entre o cenário no sentido horário e anti-horário. O resultado demonstra a comparação entre ambos os cenários, sendo que o cenário no sentido anti-horário perde muitos pacotes, assim concluindo que a taxa de entrega será menor comparado ao cenário no sentido horário.

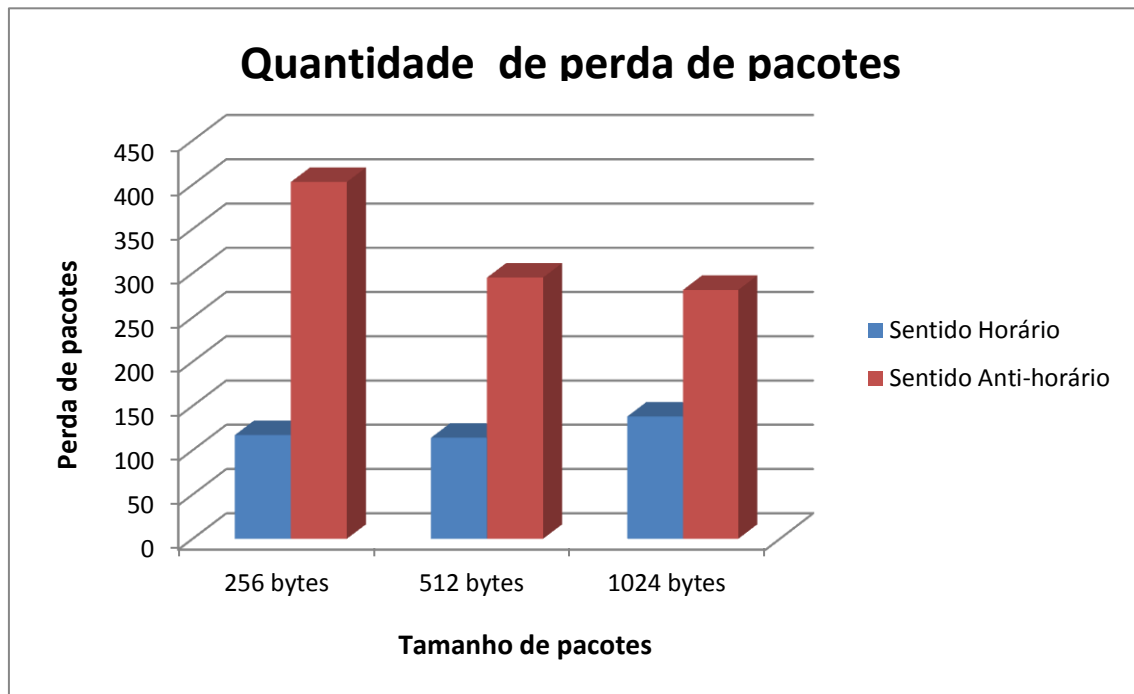


Figura 13. Quantidade de perda de pacotes.

6. Conclusão

Com as pesquisas realizadas e a análise das informações obtidas através do ambiente de simulação *Network Simulator* e da ferramenta *NS2 Visual Trace Analyzer* foi possível chegar a algumas conclusões:

Com os resultados é possível concluir que a corrente de retransmissão de comunicação realizada entre um grupo de VANTs e a estação de controle é realizada com sucesso. Os resultados obtidos na simulação possibilita chegar à conclusão que o cenário no sentido horário é mais eficaz comparado ao sentido anti-horário devido à trajetória que o VANT Principal exerce durante a simulação no sentido anti-horário, sendo assim, o cenário que iria obter uma corrente de retransmissão mais segura e estável é o cenário no sentido horário.

Entretanto, a análise sobre o desempenho da corrente de retransmissão utilizando o dispositivo de rádio modem proposta neste trabalho não foi possível concluir com exatidão seu desempenho, com os parâmetros propostos na simulação.

Durante a realização deste trabalho foram encontradas algumas dificuldades, sendo:

- Dificuldade na instalação do ambiente de simulação *Network Simulator*;
- Dificuldade no entendimento do funcionamento de um dispositivo de rádio modem;
- Dificuldade na análise dos dados gerados pelo *Network Simulator*.

Entretanto pelas dificuldades encontradas durante o trabalho, é possível que o trabalho sirva como referencia para trabalhos futuros, incentivando a pesquisa na área de VANT.

7. Referências

3DRROBITCS. **Using the 3DR Radio for telemetry with APM 2.x and PX4**. [S.l.]: APM Copter, 2012. Disponível em: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/common-using-the-3dr-radio-for-telemetry-with-apm-and-px4/>>. Acesso em: 10 Maio 2014.

AKYILDIZ, I. F.; WANG, X.; WANG, W. Wireless Mesh networks: A Survey. **Computer Networks and ISDN Systems**, v. 47, n. 4°, March 2005.

ANAC. **Agência Nacional de Aviação Civil - Biblioteca Digital**. [S.l.]: ANAC, 2012. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/IS/2012/IS%2021-002A.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2014.

ANATEL. **Resolução N ° 506 1 de Julho de 2008**. [S.l.]: ANATEL, 2008. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/2008/104-resolucao-506>>. Acesso em: 2014 Maio 10.

AUSTIN, R. UNMANNED AIRCRAFT. 1. ed. Austin: A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, v. 1, 2010. p. 3 -145.

AVAZANI, D. **Afinal, o que é Rádiocomunicação?** [S.l.]: Grupo Avanzi, 2014. Disponível em: <<http://grupoavanzi.com/afinal-o-que-e-radiocomunicacao/>>. Acesso em: 10 Novembro 2014.

BARNES, L. et al. **Swarm Formation Control with Potential Fields Formed by Bivariate Normal Functions**. Virginia: University of Virginia, 2014. Disponível em: <<http://people.virginia.edu/~lb3dp/resources/pubs/med-swarm-06.pdf>>. Acesso em: 15 Setembro 2014.

BURDAKOV, O. et al. Positioning Unmanned Aerial Vehicles as Communication Relays for Surveillance Tasks. In: **ROBOTICS: SCIENCE AND SYSTEMS 5TH CONFERENCE**, 2009, [S.l.].

CABETTE, A. F. **Drones são usados no Brasil para buscar falhas nas plantações.** São Paulo: UOL, 2013. Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/agronegocio/noticias/redacao/2013/08/28/drones-chegam-a-agricultura-brasileira.htm>>. Acesso em: 20 Maio 2014.

CETIN, O.; ZAGLI, I. Continuous Airborne Communication Relay Approach Using Unmanned Aerial Vehicles. **Journal of Intelligent and Robotic Systems**, v. 65, p. 1-4, January 2012. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/220061351_Continuous_Airborne_Communication_Relay_Approach_Using_Unmanned_Aerial_Vehicles/links/0fcfd50e5f5b23dc7d000000>. Acesso em: 10 Maio 2014.

COUTINHO, M. M. **NETWORK SIMULATOR - Guia Básico para Iniciantes**, 2003. Disponível em: <<http://www.di.ufpe.br/~sfd/universo/sim/nsr1.pdf>>. Acesso em: 20 Maio 2014.

DOD. **OSD UAV Roadmap 2002-2027**. Washington: Office of the Secretary of Defense, 2002. 205 p.

FREITAS, E. P. D. et al. UAV Relay Network to Support WSN Connectivity. In: 2010 INTERNATIONAL CONGRESS ON, 2010, [S.l.]. p. 18-20.

FUNÇÃO, D. L. **Projeto de sistema crítico para transmissão de vídeo em um link de comunicação para vants**. 2012. USP - São Carlos, São Carlos, 2012.

GAO. **Unmanned aircraft systems - federal actions needed to ensure safety and expand their potential uses within the national airspace system**. [S.l.]: GAO-08-511, 2008.

GREIS, M. **Tutorial for the Network Simulator "ns"**. [S.l.]: ISI, 2014. Disponível em: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/index.html>>. Acesso em: 25 Maio 2014.

ISSARIYAKUL, T.; HOSSAIN, E. **Introduction to Network Simulator NS2**. [S.l.]: Springer, v. I, 2009.

JUNQUEIRA, D. **A revolução será sobrevoada: o mundo dos drones “civis” que começam a conquistar o céu brasileiro.** [S.l.]: Gizmodo Brasil, 2013. Disponível em: <<http://gizmodo.uol.com.br/mundo-dos-drones-gocam/>>. Acesso em: 30 Setembro 30.

KHEDR, M.; KARMOUCH, A. ACAN - Ad hoc Context Aware Network. In: ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING, 2002. IEEE CCECE 2002. CANADIAN CONFERENCE ON , 2002, [S.l.]. p. 1342-1346.

NGUYEN, G. et al. Maintaining Communication Link for a Robot Operating in a Hazardous Environment. In: CONF. ON ROBOTICS AND REMOTE SYSTEMS FOR HAZARDOUS ENVIRONMENTS, 2004, Gainesville. **FL.** Gainesville: ANS 10th Int, 2004. p. 28-31.

OLIVEIRA, C. P. D. **Análise dos modelos para cálculo de níveis de segurança.** 2009. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), São Paulo, 2009.

PASTOR, E.; LOPEZ, J.; ROYO, P. UAV Payload and Mission Control Hardware / Software Architecture. **IEEE A&E Systems Magazine**, Barcelona, v. 22, p. 2-3, Junho de 2007.

PINKNEY, J. M. F.; HAMPEL, D.; DIPIERRO, S. Unmanned aerial vehicle (UAV) communications relay. In: MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 1996, McLean, VA. McLean, VA: IEEE, 1996. p. 47-51.

ROCHA, F. **Manual of NS-2 Visual Trace Analyzer 0.2.72.** [S.l.]: NS Visual Trace Analyzer, 2010. Disponível em: <<http://nsvisualtraceanalyzer.files.wordpress.com/2012/07/ns2-visual-trace-analyzer-manual.pdf>>. Acesso em: 20 Agosto 2014.

ROGERS, S. **Drones by country: who has all the UAVs?** [S.l.]: The Guardian, 2012. Disponível em: <<http://www.theguardian.com/news/datablog/2012/aug/03/drone-stocks-by-country>>. Acesso em: 12 set. 2014.

SOUZA, A. et al. **Simulações de Redes Wireless**. [S.l.]: IESAM, 2014. Disponível em: <<http://www3.iesam-pa.edu.br/ojs/index.php/TELECOM/article/viewFile/404/351>>.

Acesso em: 20 Abril 2014.

STATIONAIR. **Stationair**, 2014. Disponível em: <<http://www.stationair.fr/vtol-uav/>>.

Acesso em: 5 nov. 2014.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. 4ª edição. ed. [S.l.]: Editora Elsevier, v. VII, 2003. p. 107.

TELECO. **Uso de Frequências: O espectro de Radiofrequências**. [S.l.]: Teleco, 2014.

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfreq/pagina_1.asp>. Acesso em: 11 Outubro 2014.

TRINDADE, O. et al. A layered approach to design autopilots. In: **INDUSTRIAL TECHNOLOGY (ICIT), 2010 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON**, 2010, Vina del Mar. Vina del Mar: [s.n.], 2010. p. 1415-1420.

ZAGALI, I.; CETIN, O.; YILMAZ, G. **Obstacle Free Airborne Communication Relay Approach by Using Autonomous Unmanned Aerial Vehicles**. [S.l.]: Researchgate.

Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/234025058_Establishing_Obstacle_and_Collision_Free_Communication_Relay_for_UAVs_with_Artificial_Potential_Fields/file/9fcfd511538f1092bb.pdf>. Acesso em: 15 Maio 2014.

ZHAN, P.; YU, K.; SWINDLEHURST, A. L. **Wireless Relay Communications with Unmanned Aerial Vehicle: Performance and Optimization**. Disponível em:

<<http://newport.eecs.uci.edu/~swindle/pubs/WirelessRelayCommunications.pdf>>.

Acesso em: 20 Setembro 2014.