

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**UMA ARQUITETURA PARA PLANEJAMENTO
E ACOMPANHAMENTO DE VOO DE VANTS
EM AMBIENTES DE MULTIPROJEÇÃO**

GLESIO GARCIA DE PAIVA

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIS CARLOS TREVELIN

São Carlos – SP

Fevereiro/2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**UMA ARQUITETURA PARA PLANEJAMENTO
E ACOMPANHAMENTO DE VOO DE VANTS
EM AMBIENTES DE MULTIPROJEÇÃO**

GLESIO GARCIA DE PAIVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, área de concentração: Sistemas Distribuídos e Redes

Orientador: Prof. Dr. Luis Carlos Trevelin

São Carlos – SP

Fevereiro/2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

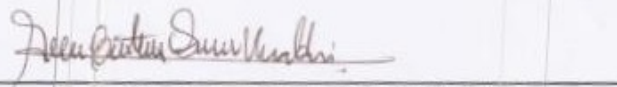
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Glesio Garcia de Paiva, realizada em 06/03/2018:



Prof. Dr. Luis Carlos Trevelin
UFSCar



Profa. Dra. Kelen Cristiane Teixeira Vivaldini
UFSCar



Prof. Dr. José Remo Ferreira Brega
UNESP

A minha esposa Sofia,
Aos meus pais Paiva e Simari e irmãos Gledson e Gledsen

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por ter me conservado com vida e por me dar forças para concluir essa etapa.

Agradeço ao meu orientador, Prof Luis Carlos Trevelin, pela orientação e confiança para realização deste trabalho.

Agradeço a minha esposa Sofia pela compreensão e amor, e especialmente por me incentivar e apoiar durante essa jornada. Seu apoio foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

A toda minha família, em especial meus pais, Paiva e Simari, sou grato pelo apoio, atenção e presença, mesmo distantes.

Aos meus irmãos Gledson e Gledsen.

Agradeço aos colegas de LaVIIC, pela troca de conhecimento e momentos de descontração.

Aos professores do DC-UFSCar pelo conhecimento compartilhado. Aos funcionários do DC-UFSCar pelo auxílio constante.

À Capes, pelo apoio financeiro durante o mestrado.

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4:13.

RESUMO

Nos dias atuais, a utilização de Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs), também conhecidos como Drones, tem crescido em diversas áreas, como militares, civis e entretenimento. Esses veículos podem capturar grandes volumes de dados, como imagens e dados de telemetria. Um desafio é tratar esses dados e tomar decisões de controle de voo com base neles. A Realidade Virtual proporciona a capacidade de imersão e interação dos usuários em ambientes simulados. Deste modo, enriquecer a experiência dos usuários de VANTs com a Realidade Virtual é uma possibilidade promissora por proporcionar um ambiente que explora a apresentação de muitas informações em ambiente único, imersivo e on-line. Este trabalho apresenta como os recursos providos pela Realidade Virtual podem ser utilizados no planejamento e acompanhamento de voo de VANTs. Foi proposta uma arquitetura para estação de controle imersiva que utiliza um sistema de multiprojeção, denominado miniCAVE, para exibir o vídeo e outras informações capturados pelo VANT e transmitidos por um rede 4G. A arquitetura proposta possibilita a criação de um plano de voo contendo vários *waypoints* (pontos georreferenciados), bem como acompanhar todo o trajeto e dados on-line de uma missão. Resultados experimentais foram obtidos para avaliar a resolução de vídeo e os dados de telemetria enviados para a miniCAVE. Estes resultados mostraram que é possível ter resolução de vídeo que possibilita uma boa experiência para o usuário com um consumo de banda dentro dos limites encontrados nas redes 4G.

Palavras-chave: VANTs, Realidade Virtual, Estação de Controle em Solo

ABSTRACT

Nowadays, the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), also known as Drones, has grown in several areas, such as military, civilian and entertainment. These vehicles can capture large volumes of data, such as images and telemetry data. One challenge is to address these data and make flight control decisions based on them. Virtual Reality provides the ability to the users to immerse and interact in simulated environments. In this way, enriching the UAVs' user experience with Virtual Reality is a promising possibility for providing an environment that exploits the presentation of a lot of information in a single, immersive and online environment. This work presents how the resources provided by the Virtual Reality can be used in the planning and flight monitoring of UAVs. An architecture for an immersive control station that uses a multiprojection system, called miniCAVE, was proposed to display the video and other information captured by the UAV and transmitted over a 4G network. The proposed architecture enables the flight plan creation containing several waypoints (georeferenced points) as well as tracking the entire route and data of a mission online. Experimental results were obtained to evaluate the video resolution and the telemetry data sent to miniCAVE. These results showed that it is possible to have video resolution that enables a good user experience with bandwidth consumption within the limits found in 4G networks.

Keywords: UAVs, Virtual Reality, Ground Control Station

LISTA DE FIGURAS

2.1	Diagrama de realidade/virtualidade contínua	19
2.2	Requerendo o tempo corrente de um servidor de sincronismo	21
2.3	Caverna TM Digital.	22
2.4	miniCAVE do LAVIIC/UFSCAR	23
2.5	Oculus Rift - Dispositivo HMD	24
2.6	Google Card Board segunda geração.	24
2.7	VR Box - Dispositivo compatível com aplicações Google Cardboard.	25
2.8	Phantom 3 – DJI / Solo – 3D Robotics.	26
2.9	eBee - senseFly e Nauro 500b Xmobots.	26
2.10	Quatro tipos básicos para comunicação com VANTs (FREW; BROWN, 2009). . .	28
2.11	QGroundControl - <i>software open source</i> para planejamento e acompanhamento de missão.	29
3.1	Visão Geral do KinecDrone	35
3.2	Dispositivos utilizados por Pittman e LaViola Jr. (2014).	35
3.3	Captura da tela do usuário (aplicação cliente).	36
3.4	Battlespace Environment	37
3.5	Dois voluntários jogando o StarTrooper Multijogador em uma miniCAVE . . .	37
3.6	Unity Cluster Package	38
4.1	Estação de Controle Imersiva.	41
4.2	Diagrama de Sequência para Arquitetura Proposta	43
4.3	JSON com a lista de missões disponíveis.	44

4.4	JSON com a lista de <i>waypoints</i> da missão selecionada.	45
4.5	JSON com dados de telemetria que são enviados para o serviço web.	45
4.6	Entidades utilizadas pelo Webservice	46
4.7	Estação de Controle no ambiente de desenvolvimento Unity	47
4.8	IGCS miniCAVE - LaVIIC - UFSCar	47
4.9	Operação e monitoramento.	48
4.10	Missões disponíveis para serem executadas.	49
4.11	<i>Waypoints</i> da missão selecionada.	49
4.12	<i>Waypoints</i> e simulação da captura de imagem para transmissão.	49
5.1	<i>Waypoints</i> da missão utilizada nos experimentos	52
5.2	Dados da missão	52
5.3	Resultados para as execuções de qualidade 720x480	55
5.4	Resultados para as execuções de qualidade 1280x720	55
5.5	Resultados para as execuções de qualidade 1920x1080	56
5.6	Resultados para as execuções de telemetria 100ms	57
5.7	Resultados para as execuções de telemetria 200ms	58
5.8	Resultados para as execuções de telemetria-fluxo	58
5.9	Resultados para as execuções de resolução 720x480 com telemetria	60
5.10	Resultados para os envios de telemetria com resolução 720x480	61
5.11	Resultados para as execuções de resolução 1280x720 com telemetria	61
5.12	Resultados para os envios de telemetria com resolução 1280x720	62
5.13	Resultados para as execuções de resolução 1920x1080 com telemetria	62
5.14	Resultados para os envios de telemetria com resolução 1920x1080	63
5.15	Resultados para os envios de video com a resolução de 1280x720	64
5.16	Resultados para os envios de telemetria com o intervalo de 0.1s	64
5.17	Resultados obtidos do consumo de banda em KB/s	65

A.1	Resultados da execução de resolução de vídeo 720x480	79
A.2	Resultados da execução de resolução de vídeo 1280x720	80
A.3	Resultados da execução de resolução de vídeo 1920x1080	81
B.1	Resultados da execução de taxa de telemetria 0,1s	82
B.2	Resultados da execução de taxa de telemetria 0,2s	83
B.3	Resultados da execução de taxa de telemetria com fluxo contínuo	84
C.1	Resultados da execução de taxa de telemetria a 0,1s e resolução de vídeo 720x480	86
C.2	Resultados da execução de taxa de telemetria a 0,1s e resolução de vídeo 1280x720	87
C.3	Resultados da execução de taxa de telemetria a 0,1s e resolução de vídeo 1920x1080	88
D.1	Resultados da execução da avaliação de consumo de banda	89

LISTA DE TABELAS

2.1	Proposta de regulamentação da ANAC.	31
5.1	Resultados obtidos durante a avaliação da resolução e delay de vídeo	54
5.2	Resultados obtidos durante a avaliação da taxa de transferência da telemetria.	57
5.3	Resultados obtidos durante o experimento.	59
5.4	Média dos resultados obtidos durante o experimento.	64

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
1.1 Contexto	15
1.2 Motivação e Objetivos	16
1.3 Organização do Documento	17
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Realidade Virtual e Aumentada	18
2.2 Aglomerados de Computadores	20
2.3 Sistemas de Multiprojeção	21
2.4 Unity 3D	22
2.5 Dispositivos <i>Head Mounted Display</i>	23
2.5.1 Google Card Board	24
2.6 Veículo Aéreo não Tripulado	25
2.6.1 Categorias de VANTs	26
2.6.2 Navegação por <i>Waypoints</i>	27
2.6.3 Comunicação	27
2.6.4 Estação de Controle em Solo	28
2.6.5 Legislação Brasileira	29
2.7 Serviços Web	30
2.8 <i>Streaming</i> de Vídeo	32

2.9	Considerações Finais	32
CAPÍTULO 3 – UTILIZAÇÃO DE VANTS COM RV		34
3.1	VANTs e dispositivos HMD	34
3.2	Sistema de multiprojeção	36
3.3	Considerações Finais	38
CAPÍTULO 4 – UMA ARQUITETURA PARA ESTAÇÃO DE CONTROLE IMERSIVA		39
4.1	Estação de Controle Imersiva	39
4.2	Aspectos de Implementação	42
4.3	Utilizadores da ferramenta	47
4.4	Considerações Finais	49
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO		51
5.1	Metodologia	51
5.2	Resolução e <i>delay</i> de vídeo	53
5.3	Taxa de transferência da telemetria	56
5.4	Resolução de vídeo e taxa de transferência da telemetria	59
5.5	Avaliação do envio de dados e consumo de banda	63
5.6	Considerações Finais	65
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES		67
6.1	Contribuições	67
6.2	Limitações e Trabalhos Futuros	69
6.3	Publicações	69
REFERÊNCIAS		71
GLOSSÁRIO		76

APÊNDICE A – DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE RESOLUÇÃO DE VÍDEO	78
APÊNDICE B – DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE TAXA DE TELEMETRIA	82
APÊNDICE C – DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE RESOLUÇÃO DE VÍDEO E TAXA DE TELEMETRIA	85
APÊNDICE D – DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE ENVIO DE DADOS E CON- SUMO DE BANDA	89

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A Realidade Virtual (RV) é uma área de pesquisa que oferece inúmeras oportunidades de investigação científica e inovação tecnológica (NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002). Ela possibilita a interação e envolvimento imersivo de usuários com ambientes, por exemplo, por intermédio de dispositivos de visualização tridimensional (3D) estereoscópicos, tais como os ambientes de multiprojeção, ou por meio de dispositivos sensíveis ao toque (dispositivos *haptic*) e dispositivos que capturam os movimentos dos usuários (GUIMARAES, 2004).

Os Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs), popularmente chamados de Drones, têm tido larga utilização em aplicações militares, civis e entretenimento (COSTA, 2013). As informações coletadas pelos VANTs são diversas, mas a forma de apresentação delas ainda é um desafio. Informações, tais como a captura de imagens 3D (tridimensionais), dados de telemetria e definição de rotas, podem ser beneficiadas por aplicações de RV, visto que, as metáforas de visualização utilizadas permitem explorar um grande número de informações em um único ambiente imersivo, enriquecendo a experiência do usuário. As rotas de voo, por exemplo, são determinadas pelos *waypoints* (pontos georreferenciados), que contêm altitude, latitude e longitude (TRINDADE, 2010). Para acompanhar e definir a rota de voo são utilizados *softwares* responsáveis por gerar o plano de voo e acompanhar todas as imagens do trajeto da missão bem como dados de telemetria relacionados ao VANT.

Da combinação de VANTs com RV surge a possibilidade de visualizar as informações referentes a um voo em uma das formas mais avançadas de interação com o usuário (KIRNER; SIS-COUTTO, 2007). Essa integração possibilita o planejamento de voo por meio de ambientes imersivos, isto é, ambientes que ultrapassam o monitor de vídeo e proporcionam uma experiência

diferente de interação para o usuário. Nesse sentido, emergiu o termo Estação de Controle Imersiva (do inglês, *Immersive Ground Control Station*, IGCS) (WALTER, 2004), uma plataforma imersiva de controle e acompanhamento de missão de voo para VANTs. Deste modo, tal tipo de ambiente pode proporcionar que o operador do VANT possa criar todo o plano de voo utilizando um ambiente altamente imersivo. Um exemplo de ambiente de multiprojeção altamente imersivo e de baixo custo é o miniCAVE (DIAS, 2011), mas que ainda não foi aplicado ao contexto de planejamento e acompanhamento de voos.

1.2 Motivação e Objetivos

Os ambientes virtuais imersivos, interativos e cooperativos colaborativos têm sido cada vez mais utilizados pela indústria, pois permitem a utilização de *software* baseado em RV para treinamento de funcionários, prototipagem de produtos e visualização de plantas de fábricas (NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002). Na área de RV, vários investimentos tem sido feitos pela indústria na produção de *hardware* e *software*, o que tem gerado e motivado seu crescimento acelerado. Na Agricultura de Precisão, por exemplo, pesquisadores e empresas estão a procura de novos recursos tecnológicos para o aprimoramento da análise e interpretação de imagens e tomadas de decisão utilizando VANTs (CASSEMIRO; PINTO, 2014; AMORIM, 2013). O uso de Realidade Aumentada (RA) torna possível a combinação de objetos virtuais em imagens reais capturadas pelo VANT, proporcionando a visualização de uma combinação de objetos virtuais em um ambiente real.

Segundo Neto (2015b), as aplicações atuais fazem o uso da integração de dispositivos *Head Mounted Display* (HMD),¹ que podem causar *cybersickness* (tonturas e náuseas) aos usuários. Além disso, possuem uma área limitada para visualização e apresentação dos dados e limitam a opção de interação com outros usuários pelo fato de estarem imersivos em um ambiente que não permite uma interação direta com outros usuários (IKEUCHI, 2014; PITTMAN; LAVIOLA JR., 2014; MIRK; HLAVACS, 2015). Quando são utilizados sistemas de multiprojeção para integração com VANTs, é feito o uso de simulações para o ambiente onde o veículo aéreo efetua o voo (WALTER, 2004). Estes trabalhos não permitem que o planejamento de voo através de *waypoints* possam ser feitos e acompanhados em um ambiente imersivo de multiprojeção ou HMD.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo investigar o desenvolvimento de uma estação de controle imersiva para planejar e acompanhar voos de VANTs. Para isto, foram abordados os seguintes objetivos específicos:

¹Um dispositivo acoplado a cabeça do usuário, criando uma imagem para cada olho e alterando o ponto de vista do ambiente conforme a posição do dispositivo.

- Investigação da utilização de VANTs: compreensão do estado da arte referente a ambientes de multiprojeção e estação de controle para VANTs;
- Projeto e implementação de uma arquitetura para uma estação de controle imersiva utilizando o ambiente de multiprojeção denominado miniCAVE (DIAS, 2010) do Laboratório de Visualização, Imersiva, Interativa e Colaborativa (LaVIIC); e
- Validação da arquitetura desenvolvida por meio de resultados experimentais que avaliaram a resolução de vídeo, envio dos dados de telemetria e consumo de banda.

1.3 Organização do Documento

Este documento está estruturado da forma a seguir. Este capítulo apresentou o contexto e a motivação da combinação de RV com VANTs junto aos objetivos deste projeto de mestrado.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, destacando o que é RV, sistemas de multiprojeção e dispositivos HMD. No mesmo capítulo são apresentados os fundamentos sobre VANTs, categorias de VANTs, formas de comunicação, estação de controle em solo e alguns pontos da legislação proposta pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) para utilização de VANTs no Brasil. São também conceituados os termos serviço web e *streaming* de vídeo, por serem importantes no contexto deste trabalho.

No Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados a utilização de VANTs com RV, demonstrando trabalhos que utilizam dispositivos HMD e sistema de multiprojeção.

O Capítulo 4 apresenta a arquitetura proposta para uma estação de controle imersiva utilizando o ambiente de multiprojeção denominado miniCAVE. A forma na qual foi implementada a ferramenta que utiliza esta arquitetura também é detalhada neste capítulo.

O Capítulo 5 apresenta os experimentos realizados mensurando parâmetros, tais como resolução e *delay* de vídeo, e a taxa de transferência de telemetria para acompanhamento de voos on-line em ambientes de multiprojeção.

Por fim, o Capítulo 6 discute as contribuições, limitações e possíveis extensões desta pesquisa, além de apresentar as publicações geradas até o momento relacionadas a este projeto de mestrado.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais utilizados ao longo deste trabalho. A Seção 2.1 destaca o que é RV e RA. As Seções 2.2 e 2.3 apresentam os aglomerados de computadores e sistemas de multiprojeção. Nas Seções 2.4 e 2.5 são apresentados o motor de jogo Unity 3D e os dispositivos HMD. A Seção 2.6 apresenta os principais conceitos relacionados a VANTs, categorias de VANTs, formas de comunicação, estação de controle em solo e alguns pontos da Legislação proposta pela ANAC para utilização de VANTs no Brasil. Por fim, as Seções 2.7 e 2.8 descrevem os conceitos básicos de serviço web e de *streaming* de vídeo.

2.1 Realidade Virtual e Aumentada

A RV envolve o uso da alta tecnologia para convencer o usuário de que ele está em outra realidade, que pode não existir fisicamente, sendo um novo meio de “estar” e “tocar” em informações (PIMENTEL; TEIXEIRA, 1994). A RV permite visualizar e observar informações sem estar fisicamente presente ou com o dispositivo real para utilização, permitindo que o usuário interaja com um objeto simulado (CURZEL; HOUNSELL; LEAL, 2007).

Na literatura existem algumas definições para RV que são citadas a seguir. Hand (1996) define a RV como um paradigma de interação com computador em um ambiente virtual que pode ser considerado real no momento da interação com o usuário. Para Hancock (1995) e Kirner e Siscoutto (2007), RV é a forma mais avançada da interface tridimensional com o usuário gerada por computador.

Porém, para obter essas vantagens algumas características devem estar presentes, entre elas: imersão, interação e navegação em elementos do ambiente virtual. Para Leston (1996), RV é um conjunto de ferramentas gráficas 3D e técnicas que permitem interação dos usuários com

ambientes gerados em tempo real por computador, tendo alguma consciência ou não que a interface é um ambiente virtual. Guimaraes (2004) explica que a RV tem demonstrado novos meios para uma melhora da interface e interação com os usuários de sistemas computacionais, permitindo imersão, interação com ambientes sintéticos gerados por computador, explorando os sentidos da visão, audição, tato e olfato do usuário.

A RA tem origem em um conceito mais amplo: Realidade Misturada (RM). RM é a sobreposição em tempo real de ambientes reais e virtuais por meio de um dispositivo tecnológico. Quando o ambiente real recebe objetos virtuais denomina-se RA e deve-se predominar o ambiente real. Quando o ambiente virtual recebe objetos reais tem-se Virtualidade Aumentada (VA) (KIRNER; ZORZAL, 2005; AZUMA, 2001). A Figura 2.1 apresenta um diagrama que se inicia no mundo real e vai até um ambiente totalmente virtual, passando por RA, VA e RV.



Figura 2.1: Diagrama de realidade/virtualidade contínua
Fonte: (MILGRAM, 1995).

Para Kirner e Tori (2004) e Santin (2004), a RA é uma técnica avançada de interface computacional, que permite a sobreposição de objetos virtuais no mundo real. A RA consiste em uma variação de RV, já que RA evidencia a interação com a visualização de objetos virtuais sobrepostos em imagens reais.

A RA traz para o ambiente do usuário o cenário virtual, possibilitando a manipulação deste ambiente com as mãos ou algum dispositivo simples, sem a necessidade do usuário passar por um treinamento ou adaptação (BUCCIOLI; ZORZAL; KIRNER, 2006).

2.2 Aglomerados de Computadores

Aglomerados de computadores são um grupo de computadores com a capacidade de compartilhar recursos entre si para atingir um objetivo comum. Estes devem possuir meios para gerenciamento de aplicações, tendo um desempenho proporcional a quantidade de nós utilizados, podendo, assim, efetuar cálculos com grandes complexidades numéricas, transacionais e gráficas (SOARES, 2005).

A arquitetura centralizada de distribuição é baseada no modelo lógico de cliente–servidor. Assim, todo o processamento existente é realizado no nó servidor. Os nós clientes são responsáveis apenas pela apresentação das primitivas gráficas aos usuários. Este tipo de arquitetura, apesar de ser um modelo simples, possui alguns problemas, tais como:

- **Escalabilidade:** o fato de o servidor ser o ponto central de sincronismo e distribuição de dados. Podem ocorrer problemas com relação à quantidade de nós clientes suportados pelo ambiente. À medida que a quantidade de usuários aumenta, o servidor pode não conseguir suprir a necessidade de processamento; e
- **Baixa tolerância a falhas:** devido o servidor ser considerado um ponto único de falha, todo o sistema é interrompido no caso de uma falha. Este tipo de falha pode ser contornado com o uso de técnicas de replicação, porém, prejudicando a simplicidade inicial provida pela arquitetura.

A utilização de técnicas de sincronismo em aplicações distribuídas não é uma tarefa trivial como em sistemas locais. Em sistemas centralizados, o tempo não possui ambiguidade, de modo que, quando um processo necessita saber o tempo corrente, basta enviar uma solicitação por meio de uma chamada de sistema ao *kernel* do sistema operacional. Já em sistemas distribuídos, a tarefa de prover o sincronismo entre processos independentes é uma tarefa delicada, onde cada computador possui um relógio local (TANENBAUM; STEEN, 2006).

Um dos principais algoritmos capazes de realizar sincronismo de processos distribuídos é o *Network Time Protocol* (NTP), que tem como característica a sincronização estatística de relógios. Os Relógios locais são sincronizados, utilizando valores de relógios remotos em servidores de tempo. Informações de tempo incluídas nas mensagens de troca entre um nó e o servidor de tempo são utilizadas para calcular as defasagens entre os relógios. O nó tem a capacidade de estimar os atrasos das mensagens trocadas e o desvio do seu relógio local em relação ao relógio remoto (FRAGA; FARINES; MONTEZ, 1998).

Uma solicitação de sincronismo do nó A para o B pode ser observada na Figura 2.2. O nó A faz uma solicitação ao nó B, mas até que a mensagem de A chegue, é necessário um tempo para a entrega de B (T_2). Após o recebimento da mensagem, o nó B retorna as informações requisitadas do relógio para o nó A (T_3), tendo a mensagem entregue no destino A (T_4) (DIAS, 2016).

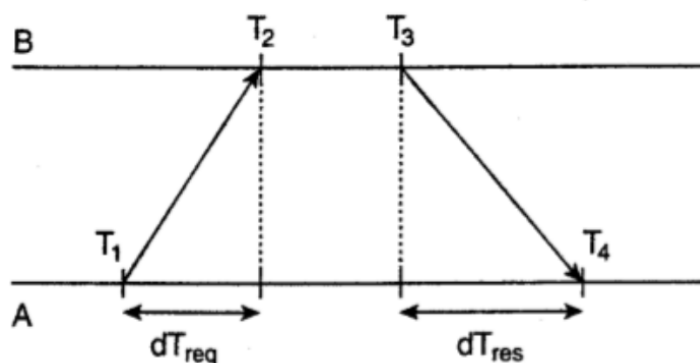


Figura 2.2: Requerendo o tempo corrente de um servidor de sincronismo
Fonte: (DIAS, 2016).

2.3 Sistemas de Multiprojeção

Os sistemas de multiprojeção, geralmente compostos por múltiplas telas, proporcionam ao usuário diferentes pontos de vista de um mesmo ambiente, possibilitando uma experiência altamente imersiva (DIAS, 2010). Os sistemas de multiprojeção têm sido pesquisados a mais de uma década como solução de renderização para ambientes virtuais complexos (CRUZ-NEIRA, 1992; GNECCO; PAIVA GUIMARAES; ZUFFO, 2003; DEFANTI, 2009; DROLET, 2009).

Entre os diversos sistemas de multiprojeção existentes, tem-se o CAVE (*CAVE Automatic Virtual Environment*), que pode ser implantado com baixo custo, dependendo dos dispositivos empregados (DIAS, 2016). Esta implementação pode utilizar aglomerados gráficos, que são caracterizados por um conjunto de nós interligados por uma rede de dados, trazendo ao usuário a impressão de que o processamento é efetuado por um único sistema (GNECCO; PAIVA GUIMARAES; ZUFFO, 2003). O objetivo é oferecer uma visão múltipla de um mesmo conjunto de dados, sendo que cada nó processa somente as tarefas associadas a ele, como a geração da imagem de um determinado ponto de vista e/ou recebimento das interações dos usuários.

O primeiro sistema de multiprojeção totalmente imersivo e interativo criado na América Latina foi denominado *CavernaTM Digital*, construído pelos pesquisadores do Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Na Figura 2.3 está

apresentado a disposição dos elementos principais de uma CavernaTM que é composto por um aglomerado gráfico responsável por gerenciar e processar os dados que são visualizados no sistema de multiprojeção. Atrás de cada parede do ambiente é disposto um espelho e projetor para que a projeção possa ser efetuada. O usuário, ao entrar no ambiente de multiprojeção, necessita de óculos obturadores para que possa visualizar as projeções estereoscópicas (GUIMARAES, 2004).

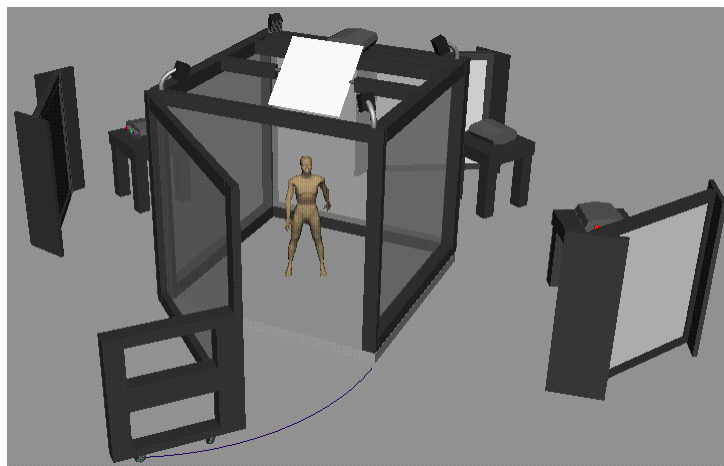


Figura 2.3: CavernaTM Digital.

Fonte: (SISTEMAS INTEGRÁVEIS LSI, 2000).

Com o intuito de prover um ambiente de multiprojeção de baixo custo, Dias (2011) propuseram um ambiente inspirado no CAVE (CRUZ-NEIRA, 1992), contudo, possuindo uma angulação diferente, tendo como objetivo a imersão de um número maior de usuários, diferente do CAVE original, onde poucos usuários podem utilizá-lo ao mesmo tempo. Este ambiente foi denominado miniCAVE (DIAS, 2011).

A miniCAVE é um ambiente composto por um conjunto de 3 telas em angulação de 120° com projeção frontal. Para a geração de imagens foram utilizados projetores convencionais. A polarização das imagens é feita por meio da utilização de lentes polarizadoras, do aglomerado de computadores e por 4 máquinas sendo 1 servidor e 3 clientes. A Figura 2.4 apresenta o miniCAVE implantado no LaVIIC.

2.4 Unity 3D

O Unity3D é um motor de jogos que possui uma interface simples e amigável que permite o desenvolvimento de jogos e sistemas de visualização (PASSOS, 2009). A primeira versão foi lançada em 2005, contendo um poderoso motor de renderização e uma intuitiva ferramenta de *workflows*, tendo sua origem como um motor de jogo e sistemas de visualização proprietário

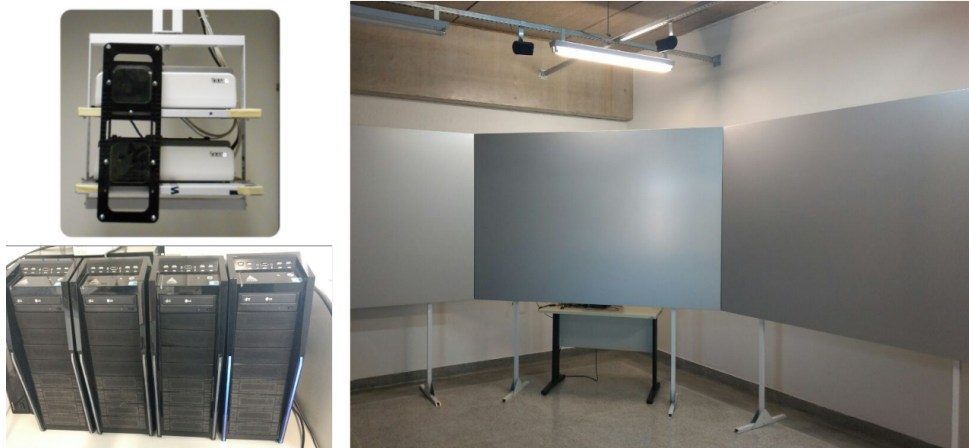


Figura 2.4: miniCAVE do LAVIIC/UFSCAR

pertencente a Unity Technologies¹. Em outubro de 2009 foi lançada uma versão *free* para desenvolver jogos e aplicações (NETO, 2015b). A utilização do Unity 3D permite a integração com o sistema de multiprojeção miniCAVE (DIAS, 2016).

O Unity3D possibilita o desenvolvimento para várias plataformas sendo elas: Linux, Windows, Mac OS, Android, iOS e *browser*. O Unity3D possui módulos para renderização gráfica, física e detecção de colisão, dispositivos de entrada e saída, som, inteligência artificial e rede (NETO, 2015c).

2.5 Dispositivos *Head Mounted Display*

Em RV, um HMD é um dispositivo acoplado a cabeça do usuário criando uma imagem para cada olho e alterando o ponto de vista do ambiente conforme a posição do dispositivo. Desta forma, o usuário pode ver objetos simulados de diferentes pontos de vista conforme o movimento da cabeça (ROBINETT; ROLLAND, 1992). Dispositivos HMD possuem uma maior imersão ao ambiente virtual quando comparados a sistemas de multiprojeção, mas estes dispositivos são propensos a causar *cybersickness* (tonturas e náuseas) aos usuários (NETO, 2015c). Um exemplo de dispositivo HMD é *Oculus Rift*, que pode ser observado na Figura 2.5.

O *Oculus Rift* (OCULUS, 2016) é um dispositivo de RV voltado a jogos eletrônicos, desenvolvido e fabricado pela empresa Oculus. O projeto inicial foi proposto por meio de investidores que acreditaram na ideia da *Oculus VR*, que conseguiu captar 91 milhões de dólares. Atualmente, a empresa pertence ao Facebook, que anunciou que o foco da empresa será mantido.

¹<https://unity3d.com>



Figura 2.5: Oculus Rift - Dispositivo HMD

Fonte: (OCULUS, 2016).

2.5.1 Google Card Board

O Google Cardboard (GOOGLE, 2016) é uma plataforma de RV desenvolvida por David Coz e Damien Henry, ambos engenheiros da Google, no Instituto Cultural Google em Paris. A plataforma é um tipo de HMD baseado em *smartphones*. Seu nome foi dado devido ao dispositivo utilizado para visualização, um sistema de baixo custo, ser construído em papelão com duas lentes (vidro óptico). A geração de imagens é feita por um *smartphone*. A Figura 2.6 apresenta o modelo de segunda geração do Google Cardboard.



Figura 2.6: Google Card Board segunda geração.

O dispositivo para utilizar aplicações desenvolvidas para o Google Cardboard pode ser simples, como o apresentado na Figura 2.6, ou mais elaborado, como o VR Box apresentado na Figura 2.7. As especificações foram propostas pela Google, que disponibiliza a lista de partes, esquema e instruções de montagem no seu próprio *website*. Os dispositivos foram disponibilizados para venda somente em fevereiro de 2016, podendo ser encontrados na própria Google Store.

A primeira versão do Google Cardboard permitia que dispositivos de até 5.7 polegadas fossem utilizados e possuía ímãs como estímulo de entrada nas aplicações. Contudo era necessário que o *smartphone* possuísse um sensor de bússola. A nova versão permite o uso de dispositivos



Figura 2.7: VR Box - Dispositivo compatível com aplicações Google Cardboard.

de até 6 polegadas e não utiliza mais o botão baseado em ímãs, que foi substituído por uma haste condutiva que permite que toques sejam efetuados diretamente na tela do *smartphone*.

A própria Google disponibiliza soluções de software voltadas ao desenvolvimento de aplicações para o Google Cardboard, chamados de *Software Development Kit* (SDK). Os SDKs disponibilizados pelo Google são: SDK para ambientes Android, que utiliza a linguagem Java para o desenvolvimento das aplicações; outro para o Unity3D utilizando a linguagem C#; e um SDK para dispositivos com a plataforma iOS utilizando a linguagem Objective-C.

2.6 Veículo Aéreo não Tripulado

Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) é o termo utilizado para se referir a qualquer aeronave que não necessite de um piloto para completar uma missão, podendo ser operada de forma remota por meios computacionais e/ou eletrônicos. Com a popularização dos VANTs para uso civil, muitos meios de comunicação e o mercado de forma geral estão fazendo uso do termo Drone para se referir a aeronaves remotamente pilotadas. Os estudos para utilização de VANTs foram, inicialmente, propostos para aplicações militares, mas com o passar dos anos e o avanço da tecnologia, a utilização dos VANTs está presente em atividades como: patrulhamento urbano, costeiro, ambiental, fronteiras, atividades de busca e resgate, agricultura e pecuária, entre outras (DALBOSCO, 2013).

VANTs são compostos por controladora de voo, *Global Position System* (GPS), câmeras e uma estação de controle. Controladora de voo é o dispositivo embarcado na aeronave responsável por controlar todos os seus sensores e componentes. Os VANTs possuem a capacidade de voo autônomo, de modo que todo o planejamento de voo é definido por um operador em uma estação de controle em Solo (do inglês, *Ground Control Station* - GCS). VANTs podem ser pilotados por um ou mais operadores, dependendo do tamanho da aeronave (WATTS; AMBROSIA; HINKLEY, 2012).

2.6.1 Categorias de VANTs

Os VANTs podem ser classificados como sendo de asas rotativas ou fixas. Os de asas rotativas são comumente conhecidos como quadricópteros para quatro rotores, ou multirotores quando não se especifica a quantidade. Já os de asas fixas assemelham-se aos aviões. As Figuras 2.8 e 2.9 apresentam os VANTs de asas rotativas e fixas, respectivamente.



(a) Phantom 3.



(b) Solo.

Figura 2.8: Phantom 3 – DJI / Solo – 3D Robotics.



(a) eBee.



(b) Nauru 500b.

Figura 2.9: eBee - senseFly e Nauru 500b Xrobots.

As aeronaves ainda podem ser classificadas de acordo com a sua aplicação. As principais classes para VANTs de uso civil são (WATTS; AMBROSIA; HINKLEY, 2012):

- *Micro Air Vehicles (MAV)*: aeronaves nesta classificação são usadas em aplicações militares e civis. Sua principal característica é o pequeno tamanho, que permite o transporte de forma ágil em pequenos *cases* e mochilas. Porém, o seu tempo de voo e altitude são limitados variando de 5 a 20 minutos e não passando de aproximadamente 300 metros de altitude; e
- *Vertical Take-Off & Landing (VTOL)*: realiza decolagem e aterrissagem na vertical. A capacidade de voar na vertical permite que a aeronave possa ficar parada no ar da mesma forma que VANTs de asas rotativas e helicópteros. Útil para locais de voo onde não existe uma pista para pouso ou decolagem. Tempo de voo, altitude e capacidade de carga dependem do projeto e tamanho da aeronave.

2.6.2 Navegação por *Waypoints*

Os VANTs possuem a capacidade de efetuar voos autônomos, também chamados de missões. A missão é composta por planos de voo que são criados pelo operador ou piloto. O planejamento de voo é feito pela definição dos *waypoints* - pontos de passagem que contém latitude, longitude e altitude. Estes pontos determinam o caminho que a aeronave deve percorrer.

A navegação por *waypoints* está implementada na maioria das estações de controle para VANTs. O *waypoint* mais próximo da aeronave define a direção de voo que ela deve seguir. Os *waypoints* podem conter tipos como: decolagem, pouso, espera, retorno para o ponto de origem e ação para a controladora de voo (AVELLAR, 2014).

Conforme Trindade (2010), *waypoints* definem a rota de voo da aeronave. O caminho entre dois *waypoints* é efetuado por meio de manobras básicas, que são enviadas para a estação de controle. O controle das manobras e verificação do curso do trajeto de voo são monitorados e controlados pelo sistema de navegação, que fica embarcado no VANT. Caso o VANT se desvie do curso desejado, o sistema de navegação calcula as manobras necessárias para corrigir o seu curso. Os algoritmos que executam o planejamento de voo são desenvolvidos pelos fabricantes e embarcados nos controladores de voos dos VANTs.

2.6.3 Comunicação

Segundo Frew e Brown (2009), existem quatro arquiteturas de comunicação que podem ser utilizadas para comunicação com VANTs: link direto, comunicação via satélite, celular ou rede *mesh*. A Figura 2.10 demonstra as quatro formas de comunicação com VANTs, que serão brevemente descritas a seguir:

- Link direto entre GCS é mantido por um link dedicado em cada VANT, tendo uma entrega confiável de baixa latência, como mostrado na Figura 2.10(a). Em situações onde não é possível manter uma comunicação em linha de visada do VANT com a GCS, é necessário utilizar transmissores de alta potência com antenas direcionais a fim de minimizar a interferência de obstáculos que possam obstruir o sinal de comunicação.
- Comunicação por Satélite, como visto na Figura 2.10(b), o VANT e GCS fazem toda a troca de informação através de um link que passa por Satélites. Comunicação por Satélite possui maior cobertura que o link direto para uma GCS. No entanto, o tráfego de dados utilizando satélite é relativamente pobre devido a falta de largura de banda e maior latência.

- Rede de celular, o VANT e GCS se comunicam por protocolos de dados fornecido pela rede que estão inseridos, conforme a Figura 2.10(c). Essa comunicação tem como vantagens bons níveis de conectividade e entrega de dados. A cobertura pode ser estendida por grandes áreas através de múltiplas estações. Por outro lado, a falta de disponibilidade de redes de celulares em regiões afastadas dos centros urbanos torna a sua adoção inviável em casos que o VANT precise operar nestas regiões.
- Rede *Mesh*, mostrada na Figura 2.10(d), é uma arquitetura de rede onde cada nó com rádio (VANT ou estação de controle) pode agir como um transmissor de dados. Entretanto, os nós (VANTs) podem estar em movimento requerendo nós intermediários para efetuar a comunicação. Esta forma de comunicação se torna viável quando se possui um conjunto de VANTs operando para os mesmos fins.

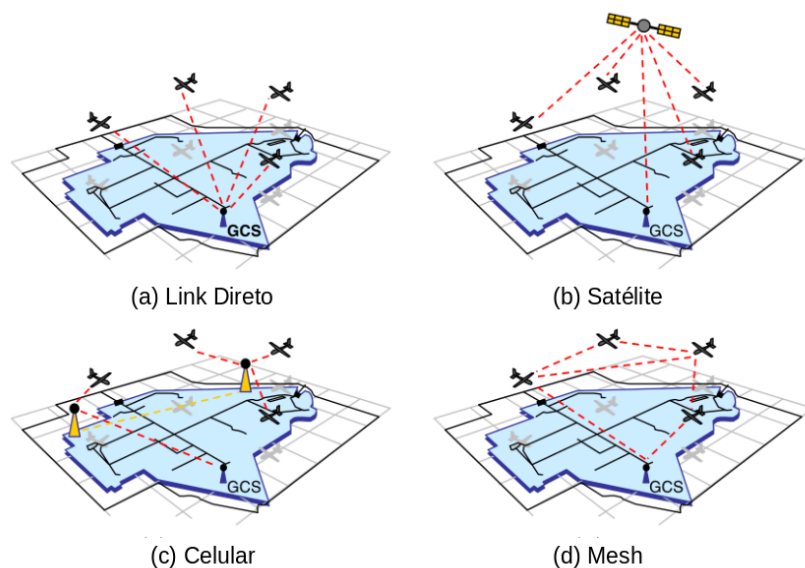


Figura 2.10: Quatro tipos básicos para comunicação com VANTs (FREW; BROWN, 2009).

O link de transmissão de dados é utilizado para comunicação da aeronave com a estação de controle e vice-versa. Caso a aeronave esteja na linha de visada (*line-of-sight* - LOS), os links diretos podem ser utilizados, caso contrário outra forma de comunicação é necessária (SAHINGOZ, 2014). Podem ser utilizadas comunicação por redes de celular, *mesh* composta por outras aeronaves ou satélite.

2.6.4 Estação de Controle em Solo

Uma estação de controle em solo, é um componente fundamental em qualquer plataforma voltada a sistemas pilotados remotamente. O GCS permite enviar e receber comandos e informações

da aeronave. Por meio do GCS são definidas as missões de voo e apresentados os dados de telemetria, tais como: horizontes artificiais, nível de bateria e/ou combustível e informações da *Inertial Measurement Unit* (IMU) (PEREZ, 2013).

O *QgroundControl*, como visto na Figura 2.11, é uma GCS de código aberto que permite facilmente monitorar trajetórias dos VANTs no sistema em mapas 2D e enviar comandos para estes, realizar pré-procedimentos de calibração antes de iniciar a missão e suporte a *Return to Home* para situações de emergência durante a missão (ARCO, 2015).

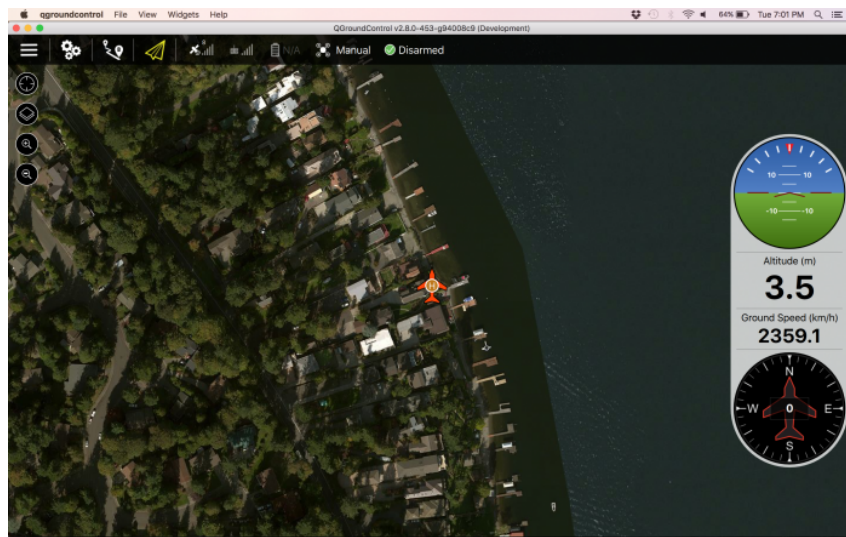


Figura 2.11: QGroundControl - *software open source* para planejamento e acompanhamento de missão.

Fonte: (QGROUNDCONTROL, 2016).

2.6.5 Legislação Brasileira

Em 03/05/2017, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), órgão regulador, publicou os *Requisitos Gerais para Aeronaves não Tripuladas de uso Civil* (RBAC-E 94²), um documento contendo a legislação para o uso de VANT. Alguns itens da proposta de regulamentação que são pertinentes ao uso de VANTs são apresentadas a seguir.

A regulamentação aplica-se a VANTs e aeromodelos capazes de sustentar-se e circular no espaço aéreo mediante reações aerodinâmicas. As definições para estas aeronaves são:

- Aeronave Remotamente Pilotada, em inglês *Remotely-Piloted Aircraft* (RPA);
- Área distante de terceiros significa uma área que não submete pessoas no solo não envolvidas e não anuentes a riscos. A distância do VANT não deve ser inferior a 30 metros

²http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf

horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes. A única exceção é caso exista uma barreira mecânica que possa proteger e isolar pessoas não envolvidas e não anuentes na eventualidade de um acidente;

- Estação de Controle Remota, em inglês *Remote Pilot Station (RPS)*, está onde o piloto executa suas funções e onde estão instalados equipamentos e instrumentos de indicação de voo;
- Operação autônoma é a operação normal de um VANT a qual não é possível a intervenção do piloto remoto no voo ou parte dele;
- Operação remotamente pilotada é a operação normal de um VANT no qual é possível a intervenção do piloto remoto em qualquer fase do voo, sendo permitida a possibilidade de voo autônomo nos casos de falha do enlace de comando e controle. É obrigatória a presença do piloto remoto, caso haja falha no enlace de comunicação com o VANT;
- Piloto Remoto é a pessoa que controla o voo de um VANT; e
- Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada, em inglês *Remotely-Piloted Aircraft System (RPAS)*, é todo o conjunto de elementos de um RPA, a RPS correspondente, os enlaces de comando e controle e quaisquer outros elementos que podem ser necessários durante a operação.

As RPAS e a RPA possuem uma classificação conforme o Peso Máximo de Decolagem (PMD) da RPA dividida em três classes:

- **Classe 1:** PMD maior que 150 kg;
- **Classe 2:** PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg; e
- **Classe 3:** PMD menor ou igual a 25 kg.

Na Tabela 2.1 são apresentados os requisitos necessários para operar VANTs das classes 1, 2 e 3 de acordo com a proposta de regulamentação da ANAC.

2.7 Serviços Web

Serviços Web, do inglês *Web Services*, é uma tecnologia que permite a comunicação de diversas plataformas desenvolvidas em várias linguagens por meio de protocolos Web padro-

Tabela 2.1: Proposta de regulamentação da ANAC.

Itens	RPA Classe 1	RPA Classe 2	RPA Classe 3	Aeromodelo
Será requerido cadastro?	Não	Não	Sim	Não
Será requerido registro?	Sim	Sim	Não	Não
Será requerido aprovação de projeto?	Não	Sim	Simplificado	Não
Será requerido processo de certificação?	Sim	Não	Não	Não
Será requerida idade mínima de 18 anos?	Sim	Sim	Sim	Não
Será requerido Certificado Médico?	Sim	Sim	Não	Não
Serão requeridas licença e habilitação?	Sim	Sim	Apenas acima de 120 metros	Não, até 120 metros
Será requerido registro dos voos?	Sim	Sim	Não	Não

nizados. Além desta característica, esta tecnologia permite o desenvolvimento de serviços que podem ser integrados com outras aplicações por meio da Internet (ENDO, 2013).

Um serviço web é uma tecnologia independente de plataforma que fornece interfaces bem definidas para funcionalidades distribuídas, que são independentes de *hardware*, sistema operacional e linguagem de programação. Desta forma, serviço web tornou-se uma tecnologia padrão para integração de sistemas (HAMAD; SAAD; ABED, 2010).

O REST (*Representational State Transfer*), é uma forma de desenvolvimento de serviços web proposto por Fielding (2000). O REST é fundamentado em recursos do protocolo *HyperText Transfer Protocol* (HTTP), que é o protocolo padrão de comunicação utilizado para implementação deste tipo de serviço web. Os dados trafegados são comumente em formatos *eXtensible Markup Language* (XML) ou *JavaScript Object Notation* (JSON) com recursos representados por *Uniform Resource Identifier* (URI) (SAUDATE, 2014).

A integração de REST com o protocolo HTTP é feita por meio das URIs e dos métodos do protocolo HTTP. Como convenção para implementação do REST, os recursos são identificados pela URI e os métodos são:

- **GET**: retorna dados solicitadas;
- **POST**: cria dados enviados;
- **PUT**: modifica dados enviados; e
- **DELETE**: remove dados.

O formato dos dados trafegados são definidos pelo *media types*, onde são informados no cabeçalho HTTP no momento da requisição do serviço web. Os *media types* mais comuns são *application/xml* e *application/json* para XML e JSON, respectivamente (ENGELKE; FITZGERALD, 2010; SAUDATE, 2014).

A construção de serviço web REST proporciona aplicações de diferentes linguagens e tipos possam efetuar troca de informações de forma simples e prática sobre o protocolo HTTP, que está presente na maioria dos dispositivos (HAMAD; SAAD; ABED, 2010; SAUDATE, 2014; FIELDING, 2000).

2.8 Streaming de Vídeo

Para assistir um vídeo no início da Internet era necessário um tempo elevado para *download*, na qual era necessário ter o arquivo completo do vídeo para poder reproduzi-lo. Tendo em vista essa limitação, surgiu uma tecnologia que permite reproduzir um conteúdo multimídia sob demanda. Esta tecnologia, conhecida como *Streaming*, é composta por compressão de informação e *buffer* de armazenamento em memória temporária (CARDOSO, 2010).

O *Streaming* de vídeo possibilita a transmissão de conteúdo multimídia através de pacotes de rede, com o consumo reduzido de largura de banda, possibilitando a transmissão e reprodução em tempo real. Também permite estabelecer a entrega de conteúdo a medida que os pacotes são recebidos sem a necessidade de receber todo o conteúdo para uma posterior reprodução (CANAN; RAABE, 2004).

O *Real Time Messaging Protocol* (RTMP) é um protocolo desenvolvido pela *Adobe Systems*³ para *streaming* em tempo real de objetos, vídeos e áudios entre aplicações. O protocolo foi desenvolvido para atuar sobre qualquer protocolo de transporte que envie fluxos de mensagens (MOREIRA; AZEVEDO; GARCIA, 2008; CECAGNO, 2010). RTMP faz uso do protocolo TCP/IP para a transmissão de pacotes, mantendo uma conexão persistente com o servidor e permitindo a comunicação em tempo real de dados como áudio, vídeo e objetos (NEVES et al., 2010).

2.9 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os principais conceitos relacionados à RV, RA, VANTs, serviços web e streaming de vídeo. A compreensão destes conceitos é importante para identificar os

³<http://www.adobe.com/>

problemas e lacunas das aplicações existentes. Nesse sentido, o capítulo a seguir apresenta os trabalhos existentes no contexto de RV e VANTs.

O miniCAVE foi evidenciado por ser um ambiente de multiprojeção de baixo custo, permitindo que diversas aplicações sejam desenvolvidas e experimentadas sem maiores dificuldades. Do mesmo modo, os dispositivos baseados em HMD, altamente imersivos, tendem a possibilitar a expansão no surgimento de aplicações de RV nos anos futuros. Para que os dispositivos se comuniquem, o uso de serviços web demonstra ser uma tecnologia madura e de fácil implantação.

Capítulo 3

UTILIZAÇÃO DE VANTs COM RV

Este capítulo apresenta alguns trabalhos relacionados a utilização de VANTs com RV. A Seção 3.1 apresenta alguns trabalhos utilizando dispositivos HMD com VANTs para acompanhamento das missões de voo. A Seção 3.2 demonstra a integração com um sistema de multiprojeção e VANTs fazendo uso de um ambiente virtual para os voos bem como o trabalho de integração do Unity3D com o sistema de multiprojeção miniCAVE.

3.1 VANTs e dispositivos HMD

Ikeuchi (2014) propuseram e desenvolveram o *KinecDrone*, uma aplicação com o intuito de proporcionar a sensação de voo ao usuário. Um vídeo capturado em um Ar.Drone fabricado pela empresa Parrot¹ é transmitido ao usuário por meio de um *Oculus Rift*. Assim, mesmo estando em uma sala, o usuário tem a sensação de estar realmente voando livremente pelos céus, podendo controlar o AR.Drone com gestos naturais que são captados pelo Kinect. O principal objetivo dessa aplicação é aumentar a experiência imersiva do usuário.

Pittman e LaViola Jr. (2014) exploraram as capacidades do rastreamento de cabeça combinado com um *Oculus Rift* como uma modalidade de geração de estímulos de entrada a um robô. Os autores utilizaram um Parrot *AR.Drone* a fim de testar técnicas baseadas em metáforas gestuais como: *Head Translation*, *Head Rotation* e *Modified Flying Head*. Um estudo de caso foi conduzido com o intuito de observar a efetividade de cada uma das técnicas empregadas, e *Head Rotation* foi a técnica mais agradável aos usuários, apesar de uma interface de controle de jogos tradicional ter melhor performance. A Figura 3.2 apresenta os dispositivos utilizados no estudo de caso.

¹<http://www.parrot.com>



Figura 3.1: Visão Geral do KinecDrone

Fonte: (IKEUCHI, 2014).



Figura 3.2: Dispositivos utilizados por Pittman e LaViola Jr. (2014).

Fonte: (PITTMAN; LAVIOLA JR., 2014).

Mirk e Hlavacs (2015) utilizaram o turismo virtual como abordagem ao uso de VANTs. O vídeo obtido da câmera de um VANT é apresentado ao usuário por meio de um *Oculus Rift*. O movimento de cabeça do usuário controla a orientação do VANT. Desta forma, os autores visaram proporcionar ao usuário uma experiência imersiva e sem limitações. Os resultados experimentais mostraram que a compensação de atrasos gerados pela rede de dados utilizada (Internet) é viável, tornando viável o uso de VANTs para turismo. A Figura 3.3 apresenta a aplicação.

Os trabalhos apresentados até o momento fazem uso do *Oculus Rift*, um dispositivo HMD que permite a imersão do usuário em ambientes externos dando a sensação de estarem em outro local, como é descrito pelos pesquisadores Ikeuchi (2014), Pittman e LaViola Jr. (2014) e Mirk e Hlavacs (2015). Porém, a imersão por estes dispositivos limita a capacidade de informações que podem ser apresentadas no display para o usuário e o planejamento da missão é efetuado em um ambiente não imersivo.

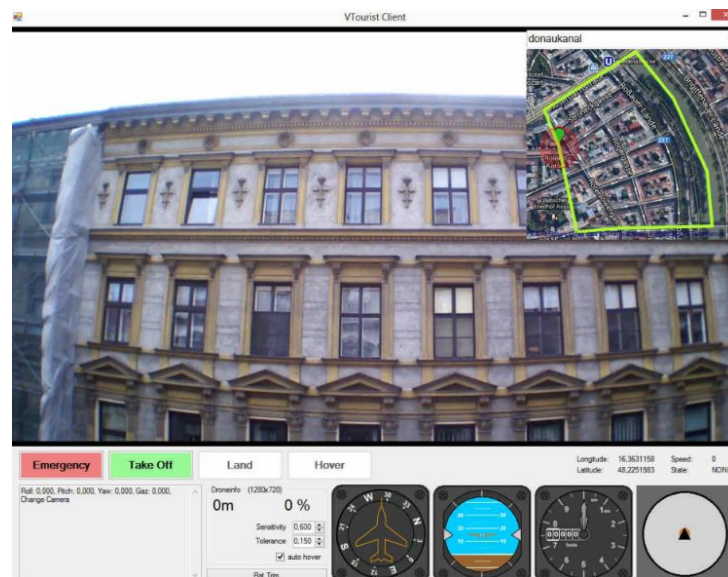


Figura 3.3: Captura da tela do usuário (aplicação cliente).

Fonte: (MIRK; HLAVACS, 2015).

3.2 Sistema de multiprojeção

O trabalho de Ceruti (2004) apresenta o projeto de integração de uma Estação de Controle com uma CAVE, provendo uma interface 3D para explorar as informações enviadas por VANTs. Porém, este trabalho preocupa-se apenas com a parte de visualização e não há preocupação em como serão providos esses dados e como deve ser a arquitetura e troca de informações entre os dispositivos envolvidos.

Walter (2004) e Knutzon (2006) propõem um novo projeto para Estação de Controle Imer-siva (do inglês, IGCS) utilizando RV para simular o ambiente onde os veículos autônomos de categoria militar são controlados de forma semi-autônomas. Para gerar o ambiente em RV, são necessárias informações já processadas do local, como informações da superfície do terreno. Por meio de informações capturadas por sensores do veículo autônomo é possível adicionar características do ambiente. Os veículos autônomos utilizados neste trabalho são de classe mi-litar, possuindo uma avançada tecnologia embarcada. Mas este projeto teve maior preocupação com a interface 3D e com a experiência do usuário do que com a forma de envio das imagens e informações. O resultado deste trabalho pode ser observado na Figura 3.4.

Neto (2015a) implementou o *Unity Cluster Package*, design de uma solução genérica que permite a criação de extensões para motores de jogo de forma padronizada, fazendo o uso de técnicas de multiprojeção. Utiliza aglomerados gráficos para processamento e renderização das imagens que devem ser projetadas. *Unity Cluster Package* permite o desenvolvimento de sis-



Figura 3.4: Battlespace Environment

Fonte: (WALTER, 2004).

tema RV imersivos para miniCAVE. A Figura 3.5 demonstra o funcionamento do *StarTrooper*² que compõe uma arena circular onde uma aeronave e o lançamento de mísseis são controlados por um Wii RemoteTM.



Figura 3.5: Dois voluntários jogando o StarTrooper Multijogador em uma miniCAVE

Fonte: (NETO, 2015a).

A Figura 3.6 apresenta os componentes da *Unity Cluster Package* que permite que aplicativos *Unity* sejam executados em aglomerados gráficos com suporte a projeção estereoscópica, correção da perspectiva conforme o ponto de vista e gerenciamento de dispositivos de entrada para interação.

Existem soluções comerciais para estação de controle. O UgCS³ é um exemplo, sendo uma ferramenta para planejamento de missão, que otimiza as rotas em função de obstáculos, possui mapa 3D e processamento de dados. Pode ser usada em centros de comando gerenciando mais do que um VANT. Porém, o ambiente para planejamento de missão é apenas uma representação

²Jogo demo *Unity StarTrooper* dispõe de duas pirâmides, três anéis em constante rotação e três obeliscos dispostos como obstáculos em uma arena circular

³<https://www.ugcs.com>

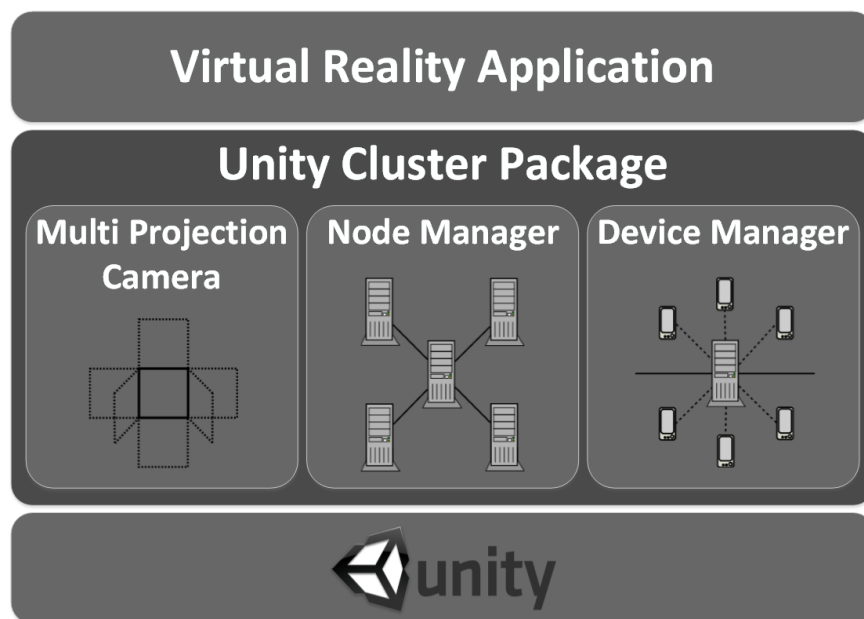


Figura 3.6: Unity Cluster Package

Fonte: (NETO, 2015a).

3D e não um ambiente imersivo como um ambiente de multiprojeção.

3.3 Considerações Finais

Este capítulo apresentou algumas soluções de RV combinadas com VANTs em diversas áreas de pesquisa. Alguns dispositivos foram apresentados como tendência no desenvolvimento de aplicações de RV voltada a VANTs.

Os trabalhos apresentados tem o objetivo de trazer maior imersão do ambiente proporcionando a visualização do ambiente em sua forma real ou sintética. Porém, não apresentam uma solução genérica para uma estação de controle imersiva. O próximo capítulo apresenta uma proposta de arquitetura para estação de controle em sistemas de multiprojeção utilizando a miniCAVE.

Capítulo 4

UMA ARQUITETURA PARA ESTAÇÃO DE CONTROLE IMERSIVA

Este capítulo apresenta uma proposta de arquitetura para estação de controle imersiva utilizando ambientes de multiprojeção e VANTs, publicada por Paiva (2017). A Seção 4.1 descreve a arquitetura para estação de controle bem como os seus componentes: VANT, dispositivo móvel, aglomerado gráfico, miniCAVE, serviço web, servidor de *streaming* e estação de controle. A Seção 4.2 apresenta as tecnologias utilizadas na implementação da prova de conceito da arquitetura proposta neste trabalho. A Seção 4.3 apresenta a forma de uso da implementação.

4.1 Estação de Controle Imersiva

A interação entre VANTs e um aglomerado de computadores pode ser complexa por causa dos vários componentes necessários para integração, entre eles dispositivo móvel, serviços web e servidor de *streaming*. Deste modo, a especificação de uma arquitetura conceitual auxilia na compreensão de como ocorre a integração dos componentes.

Esta seção apresenta uma solução de integração de aglomerados gráficos e VANTs, resultando na estação de controle imersiva que obtém vídeos providos por um VANT de forma on-line (PAIVA, 2017). Esta proposta traz as vantagens de uma interface de usuário imersiva e interativa, facilitando o uso de uma estação de controle.

Neste trabalho, a imersão ocorre por meio das informações que o VANT captura e são apresentadas em um ambiente de multiprojeção que permite ao usuário acompanhar toda a missão de forma remota.

A Figura 4.1 ilustra a arquitetura geral proposta, que contém os seguintes componentes:

VANT, dispositivo móvel, servidor de *streaming*, aglomerado gráfico (local e distribuído) e a miniCAVE. O fluxo de execução é descrito do seguinte modo: o VANT envia vídeos ao dispositivo móvel por meio do *switch* acoplado ao rádio controle; o dispositivo móvel, além de permitir que o usuário visualize o vídeo gerado pela câmera do VANT, ainda realiza o envio do vídeo para o servidor de *streaming* e dos dados de telemetria para o serviço web. O aglomerado gráfico lê os dados do serviço web e captura o *streaming* de vídeo; o aglomerado gráfico é responsável por dividir o vídeo em diversos quadrantes, e logo após a divisão de quadrantes estes são enviados, seletivamente, aos nós do aglomerado. Assim, cada nó processa apenas o que for do seu interesse, visando otimizar o processamento dos vídeos. Barreiras de sincronismo são utilizadas a fim de manter consistência na geração de imagem ao miniCAVE. O processamento massivo dos dados também pode ser efetuado em uma solução em nuvem, por exemplo, a Amazon EC2 (*Elastic Compute Cloud*). Abaixo, cada componente é descrito de forma detalhada.

- **VANT:** este componente é responsável pela captação de imagens. Neste projeto, um Phantom 2 Vision foi utilizado como base para o desenvolvimento do projeto. As simulações tem como parâmetros as informações que podem ser obtidas por meio de seu SDK;
- **Dispositivo móvel:** permite que o usuário visualize diversas informações referentes ao VANT. No entanto, é possível desenvolver aplicações que se adequem aos requisitos da proposta utilizando o SDK próprio do VANT, como, por exemplo, fazer o envio de imagens e dados de telemetria a locais distintos, neste caso por meio do uso de uma rede 4G. Algoritmos de compactação de imagem também foram utilizados, visando diminuir a quantidade de dados trafegados pela rede;
- **Servidor de streaming:** responsável por receber as imagens capturadas pelo VANT que foram enviadas por intermédio do dispositivo móvel através de uma rede 4G. Após o servidor de *streaming* receber os pacotes que contém os vídeos, este já disponibiliza para serem reproduzidos por um ou mais usuários em tempo real;
- **Aglomerado gráfico:** este componente é responsável pelo processamento massivo dos dados, bem como sa apresentação das informações aos usuários. Os nós do aglomerado possuem placas gráficas providas de uma arquitetura *many-core* (arquitetura baseada em placas gráficas), que permite que os dados sejam processados de modo paralelo, visando obter a geração de imagens on-line. Portanto, as soluções desenvolvidas e propostas por Neto (2015a) foram utilizadas nas Estação de Controle Imersiva. Visando maior escalabilidade e poder de processamento, outros aglomerados gráficos distribuídos e soluções em nuvem foram utilizados;

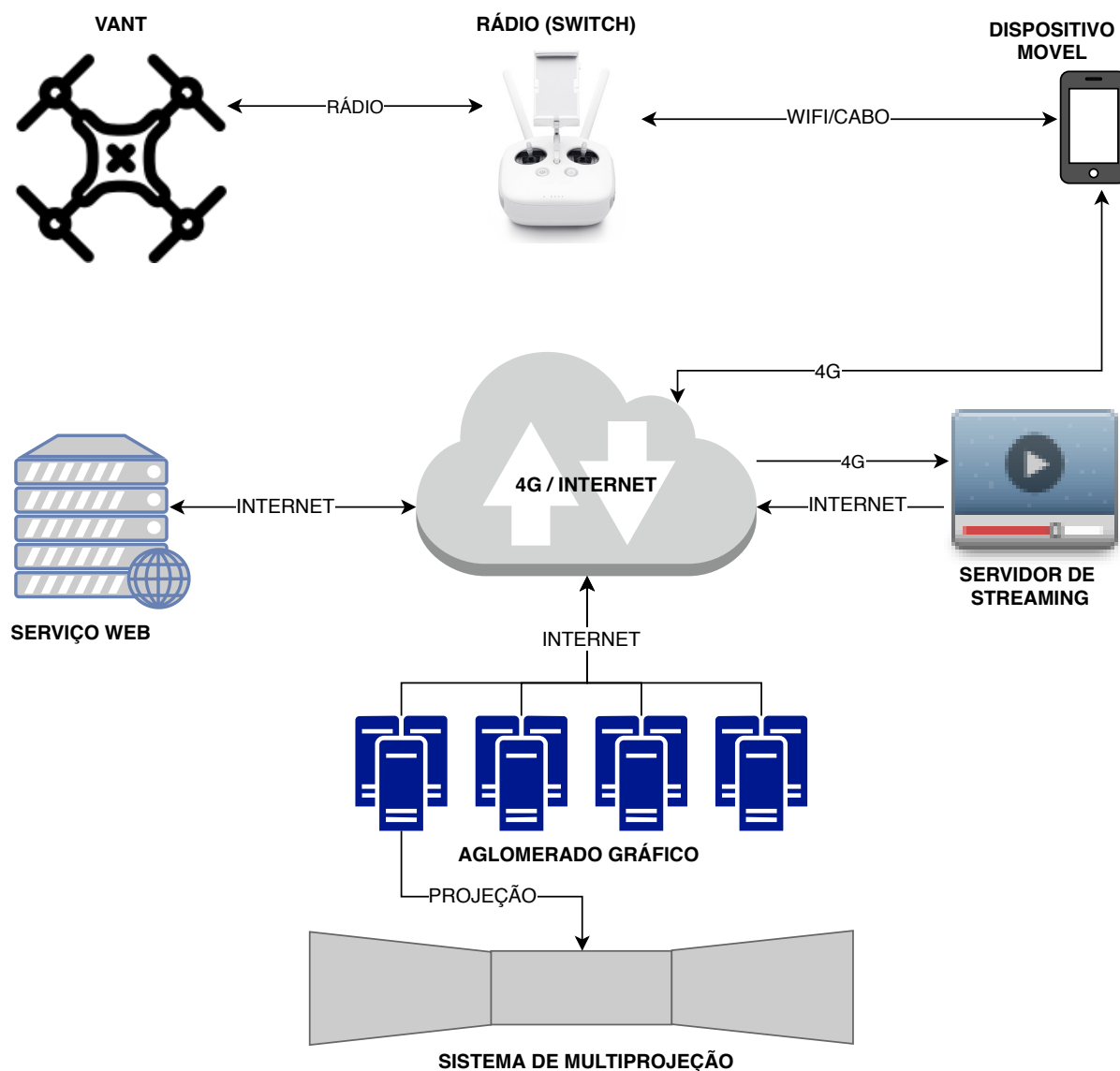


Figura 4.1: Estação de Controle Imersiva.

- **MiniCAVE:** a visualização imersiva é realizada por meio de um ambiente composto por três telas, que possibilita aos usuários uma experiência imersiva. As imagens geradas pelo aglomerado gráfico são apresentadas no miniCAVE. A interação com o ambiente pode ocorrer por meio de dispositivos convencionais, como *mouse* e teclado, ou não-convencionais, como o *Kinect* e o *WiiRemote*, por exemplo;
- **Serviço web:** componente responsável por receber e transmitir dados do aglomerado gráfico e dispositivo móvel. REST é o padrão para a construção do serviço web por meio do protocolo HTTP, trafegando informações em JSON; e
- **Estação de Controle:** componente responsável por possibilitar o planejamento do voo por meio da definição de *waypoints* que formam a rota de voo do VANT. Este compo-

nente também proporciona o acompanhamento e execução de voo por meio de dados de telemetria e imagens capturadas em um ambiente imersivo tal qual a miniCAVE presente no LAVIIC. Para a implantação deste componente foram utilizadas tecnologias web e o motor de Jogo Unity 3D¹ para unir e apresentar os componentes que compõe a estação de controle.

A Figura 4.2 demonstra o fluxo de execução e interação entre cada componente na arquitetura proposta na Figura 4.1. A interação entre o operador do VANT e os componentes dispositivo móvel, VANT e rádio/switch pode ser executada de forma paralela à execução dos componentes serviço web, servidor de *streaming*, aglomerado gráfico e miniCAVE. O operador de VANT interage com o dispositivo móvel para a execução do aplicativo de acompanhamento de missão e comunicação com a estação de controle imersiva por meio do serviço web e servidor de *streaming* através de uma rede de dados 4G. O aglomerado gráfico se comunica com o dispositivo móvel por intermédio do serviço web. O operador da estação de controle (GCS) planeja a missão interagindo com a projeção na miniCAVE. Os visualizadores de missão acompanham a missão, os dados de telemetria e vídeos pelo ambiente de multiprojeção miniCAVE.

4.2 Aspectos de Implementação

A arquitetura apresentada na seção 4.1 foi implementada como um prova de conceito que demonstra a viabilidade da proposta. A seguir, são descritos os detalhes de implementação, bem como as tecnologias utilizadas.

Foram desenvolvidos três componentes para mostrar a viabilidade da proposta. Para o desenvolvimento do componente a ser executado em um dispositivo móvel, foram escolhidos o sistema operacional Android em sua versão 7.0 e, Java como a linguagem de programação para o desenvolvimento do aplicativo responsável pela captura de dados do VANT e transmissão das informações de telemetria para o serviço web e servidor de *streaming*.

O segundo componente implementado foi o serviço web REST trafegando informações no formato JSON, como pode ser observado nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5. A Figura 4.3 exibe as informações da missão que são trafegadas entre a estação de controle e o dispositivo móvel por meio do serviço web. Os itens abaixo detalham os parâmetros referentes a missão que são trafegados entre os componentes.

- **id**: código único que representa a missão;

¹<https://unity3d.com>

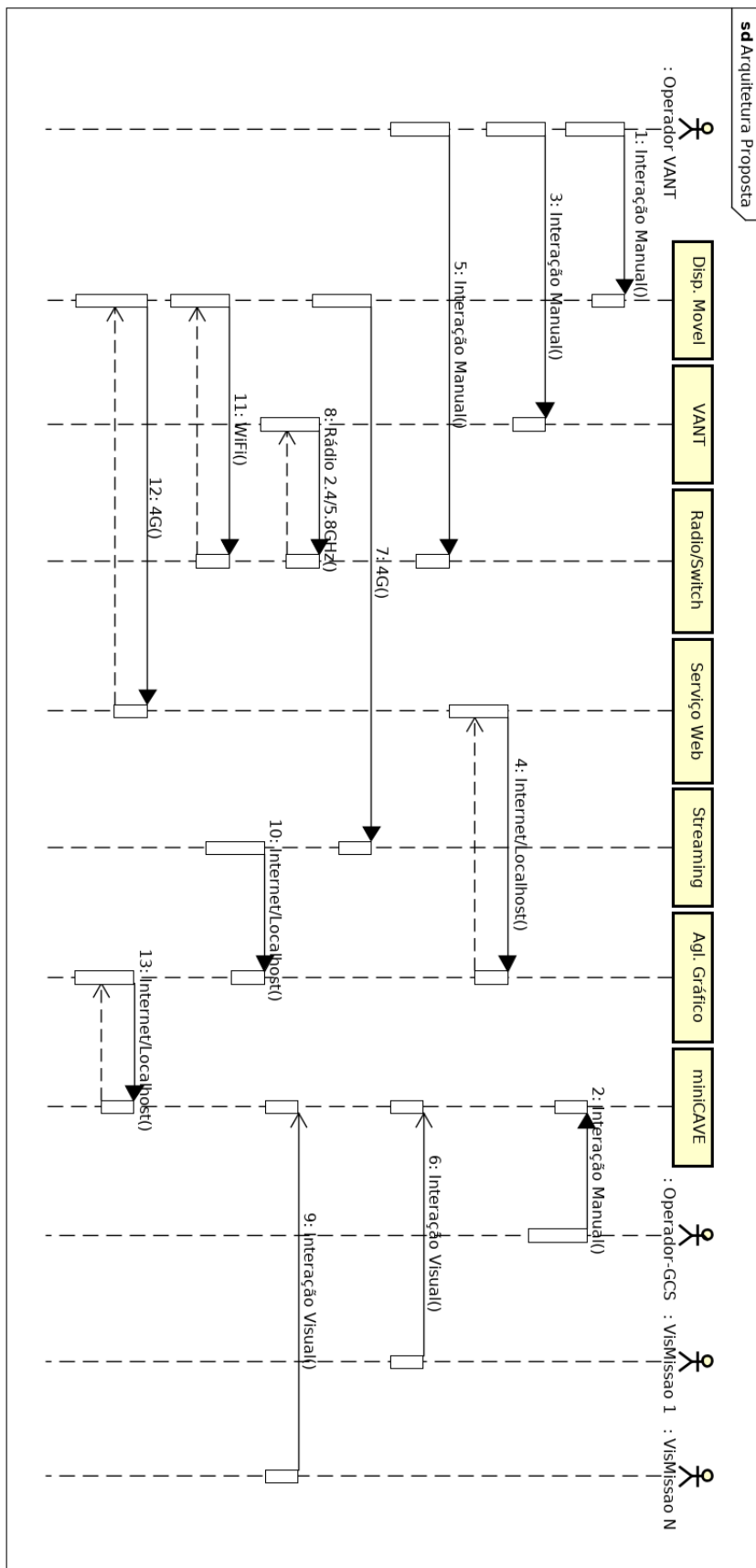


Figura 4.2: Diagrama de Sequência para Arquitetura Proposta

```
[{
  "id": 1,
  "name": "Missão - UFSCAR",
  "dtCreate": 61473294300000,
  "dtStart": 61473298200000,
  "dtFinish": 61473298500000,
  "stream": "9EtdE4BYE",
  "latitude": -21.979316,
  "longitude": -47.880388
}]
```

Figura 4.3: JSON com a lista de missões disponíveis.

- **dtCreate**: data e hora em que a missão foi criada;
- **dtStart**: data e hora em que foi iniciada a missão em solo; enviada pelo dispositivo móvel;
- **dtFinish**: data e hora em que finalizou a missão em solo; enviada pelo dispositivo móvel;
- **stream**: código da transmissão ao vivo gerado pelo servidor de *streaming*;
- **latitude**: latitude referente a decolagem do VANT (*Home Point*); e
- **longitude**: longitude referente a decolagem do VANT (*Home Point*).

Para que uma missão possa ser executada, ela deve possuir uma rota de voo que é definida por dois ou mais *waypoints*. As informações trafegadas referentes aos *waypoints* de uma missão estão na Figura 4.4. Os itens a seguir detalham cada uma destas informações.

- **latitude**: referente a posição que o VANT deve alcançar;
- **longitude**: referente a posição que o VANT deve alcançar;
- **altitude**: altura de voo a partir do *waypoint*;
- **sequence**: sequência dos *waypoints* que compõem a rota de voo;
- **type**: o VANT pode tomar alguma ação pré-programada de acordo com o tipo; e
- **mission**: código de relacionamento do *waypoint* com a missão.

Ao iniciar uma missão, os dados de telemetria do VANT devem ser enviados ao serviço web para que possam ser visualizados no ambiente de multiprojeção. Informações como de posicionamento devem ser apresentadas no mapa de rotas e os dados referentes ao VANT apresentados no painel de voo. A Figura 4.5 apresenta um exemplo de dados de telemetria. Os itens abaixo detalham cada uma das informações de telemetria enviadas:

```
[{
  "latitude": -21.979199508470273,
  "longitude": -47.880249921758264,
  "altitude": 50.0,
  "sequence": 1,
  "type": "POINT",
  "speed": 7,
  "mission": {
    "id": 1
  }
},
{
  "latitude": -21.978944570071302,
  "longitude": -47.88004742169886,
  "altitude": 50.0,
  "sequence": 2,
  "type": "POINT",
  "speed": 7,
  "mission": {
    "id": 1
  }
},
...
]
```

Figura 4.4: JSON com a lista de *waypoints* da missão selecionada.

```
{
  "batteryLevel": 85.0,
  "flying": true,
  "timeFligth": 81800,
  "satellite": 8,
  "gpsSignal": 5,
  "latitude": -21.978944570071302,
  "longitude": -47.88004742169886,
  "altitude": 50.0,
  "motorOn": true,
  "pitch": 1.0,
  "roll": 2.0,
  "yaw": 30.0,
  "velocityX": 3.6,
  "velocityY": 4.8,
  "velocityZ": 3.1
}
```

Figura 4.5: JSON com dados de telemetria que são enviados para o serviço web.

- **batteryLevel**: nível, em porcentagem, de bateria;
- **flying**: se está em voo ou não;
- **timeFligth**: tempo, em milisegundos, desde o início do voo;
- **satellite**: quantidade de satélites de GPS sincronizados;
- **gpsSignal**: nível de sinal dos satélites sincronizados;
- **latitude**: latitude da posição atual;

- **longitude**: longitude da posição atual;
- **altitude**: altura atual;
- **motorOn**: se os motores estão ligados ou desligados;
- **roll**: rotação no eixo x;
- **pitch**: rotação no eixo y;
- **yaw**: rotação no eixo z;
- **velocityX**: velocidade no eixo X: a combinação da velocidade de X e Y determina a velocidade horizontal;
- **velocityY**: velocidade no eixo Y: a combinação da velocidade de X e Y determina a velocidade horizontal; e
- **velocityZ**: velocidade no eixo Z ou vertical.

Todos os dados e informações trocadas por meio do serviço web são armazenados em um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados). O PostgreSQL 9.6² foi o SGBD utilizado para persistir os dados. A Figura 4.6 exibe o Modelo Entidade-Relacionamento com as entidades e os seus respectivos relacionamentos dos dados utilizados pelo serviço web.



Figura 4.6: Entidades utilizadas pelo Webservice

A fim de prover o envio e distribuição do vídeo para visualização em tempo real ou uma posterior visualização, foi utilizada a plataforma de *streaming* Youtube³ que possui suporte a envio de vídeos utilizando o protocolo RTMP. Foi escolhida a biblioteca SimpleRTMP⁴ como implementação do protocolo RTMP por ser genérica, simples e focada apenas na implementação do lado do cliente.

O Google Maps⁵ foi utilizado para visualização dos *waypoints* no mapa, por ser um serviço de pesquisa e visualização de imagens de satélites gratuito e possuir uma API que permite integração com outras aplicações.

²<https://www.postgresql.org/docs/10/static/release-9-6.html>

³<https://www.youtube.com/>

⁴<https://github.com/faucamp/SimpleRtmp>

⁵<https://www.google.com.br/maps>

O terceiro componente foi desenvolvido com o Unity 3D, que tem como papel promover a visualização no ambiente de multiprojeção, sendo responsável por unir e distribuir todos os itens a serem visualizados e sincronizados pelo aglomerado gráfico e miniCAVE. Foi utilizada a biblioteca *Unity Cluster Package*, desenvolvida por Neto (2015a), que permite apresentar os dados na miniCAVE.

A Figura 4.7 apresenta o ambiente de desenvolvimento *Unity* utilizando a biblioteca *Unity Cluster Package* (NETO, 2015a) que integra os componentes: mapa para acompanhamento e planejamento de rotas, *player* do *streaming* de vídeo e painel de voo que apresentam as informações coletadas por meio da telemetria. Estes componentes podem ser visualizados no ambiente de multiprojeção miniCAVE, como exibido na Figura 4.8.

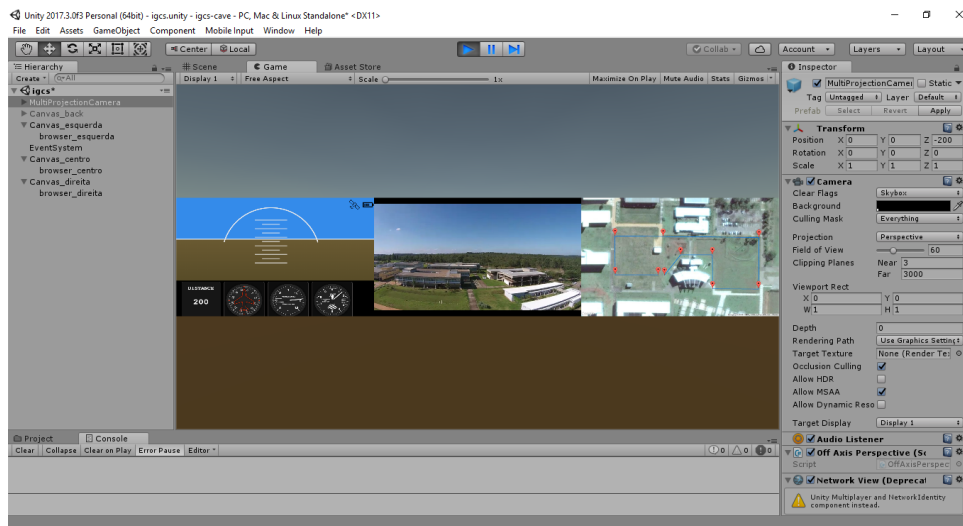


Figura 4.7: Estação de Controle no ambiente de desenvolvimento Unity



Figura 4.8: IGCS miniCAVE - LaVIIC - UFSCar

4.3 Utilizadores da ferramenta

A ferramenta que implementa a estação de controle imersiva descrita na seção anterior foi desenvolvida para três perfis de usuário: Operador do VANT, Operador da estação de controle

imersiva e Visualizadores de missão. Cada um deles é descrito a seguir:

- **Operador do VANT:** responsável pelo VANT em solo, sincronizando a aplicação com o veículo e monitorando o seu funcionamento em solo. Conforme a regulamentação brasileira, é necessário um operador em solo para que possa assumir o controle do VANT caso seja necessário, conforme pode ser observado na Figura 4.9.



Figura 4.9: Operação e monitoramento.

- **Operador da Estação de Controle Imersiva:** Responsável por selecionar uma missão já existente ou criar uma nova missão definindo os *waypoints* e parâmetros.
- **Visualizadores de missão:** Acompanham as missões em tempo real visualizando as imagens capturadas e os dados de telemetria do VANT.

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 mostram o fluxo de navegação do aplicativo móvel que compõe a estação de controle deste projeto. A Figura 4.10 mostra a tela em que é possível escolher uma das missões cadastradas para ser executada pelo VANT. Após selecionar uma missão, a tela da Figura 4.11 exibe os *waypoints* previamente definidos para que o operador veja qual o trajeto da missão selecionada. Uma vez que o usuário clica no botão SYNC VANT, os *waypoints* são enviados para o VANT. Após a sincronização, é apresentada a tela da Figura 4.12 na qual são visualizadas as imagens capturadas pelo VANT durante o voo, bem como um mapa no canto esquerdo da tela na qual são apresentados os pontos percorridos e informações referente ao voo, como altitude, velocidade e nível de bateria.

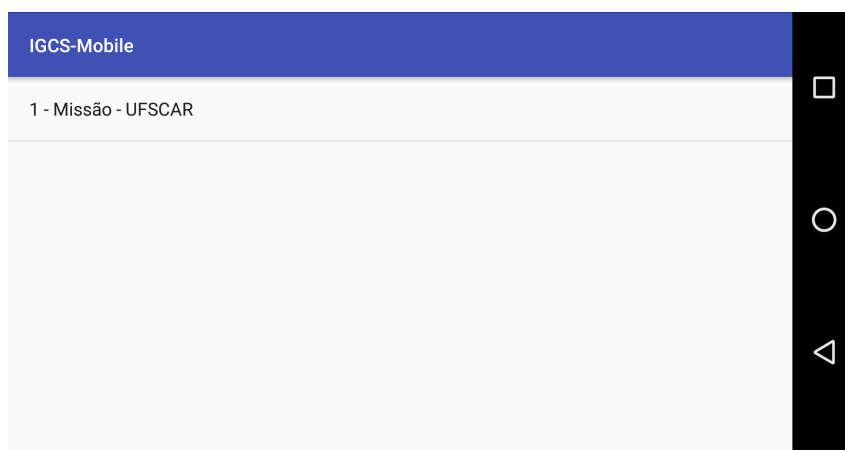


Figura 4.10: Missões disponíveis para serem executadas.

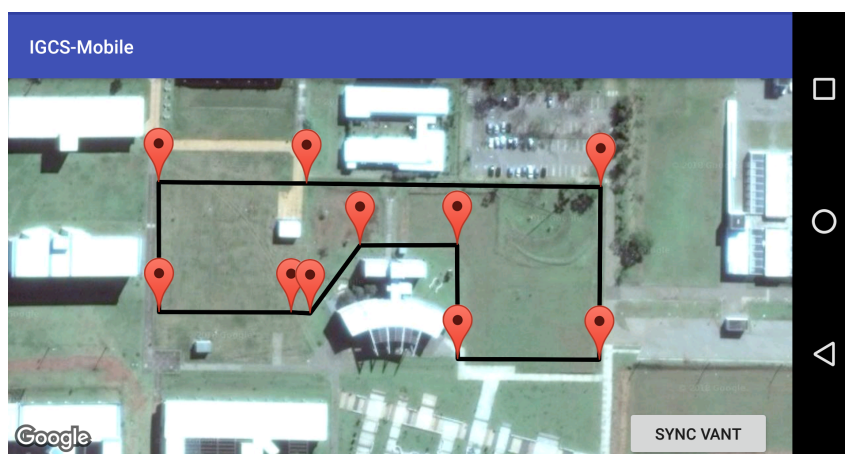


Figura 4.11: Waypoints da missão selecionada.

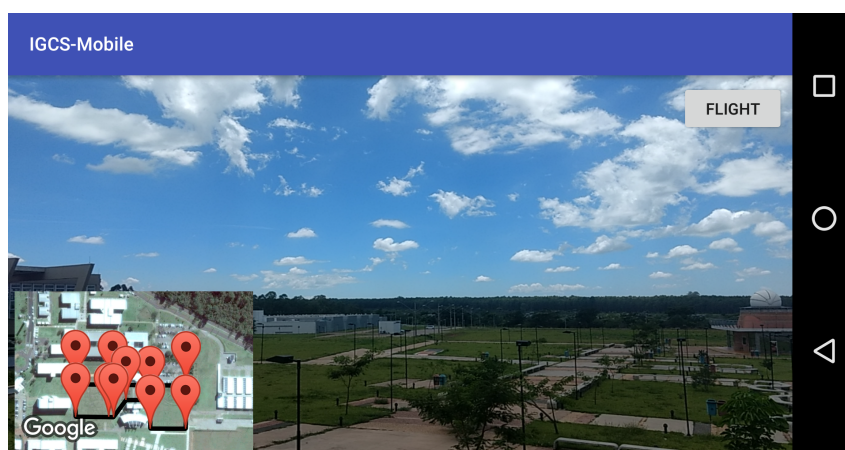


Figura 4.12: Waypoints e simulação da captura de imagem para transmissão.

4.4 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentada a arquitetura de uma Estação de Controle Imersiva, bem como o fluxo de funcionamento e as tecnologias utilizadas para implementar esta arquitetura,

mostrando a viabilidade da proposta. Porém, é importante compreender quais as limitações e vantagens de utilizar tal arquitetura. O próximo capítulo apresenta os estudos realizados para avaliar a proposta.

Capítulo 5

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO

É importante avaliar a ferramenta que foi desenvolvida a fim de observar evidências que mostrem os benefícios da arquitetura proposta no capítulo anterior. Os estudos apresentados neste capítulo caracterizam-se como estudos experimentais com o objetivo de manipular determinada variável a fim de avaliar os efeitos da diferença desta variável no comportamento do sistema (WAINER, 2007).

Este capítulo apresenta a metodologia, bem como a descrição e discussão dos resultados dos estudos experimentais. A Seção 5.1 apresenta a metodologia para a realização dos experimentos. A Seção 5.2 apresenta os resultados obtidos na avaliação da resolução e *delay* de vídeo. A Seção 5.3 mostra os resultados obtidos na avaliação da taxa de transferência da telemetria. A Seção 5.4 apresenta os resultados relacionados a resolução de vídeo e taxa de transferência da telemetria. Por fim, a Seção 5.6 discute os resultados desta avaliação.

5.1 Metodologia

Os estudos experimentais foram realizados com o objetivos de avaliar a resolução e *delay* de vídeo, a taxa de transferência da telemetria e a combinação da resolução de vídeo e da taxa de transferência da telemetria.

Foi utilizada uma única missão em todos os experimentos, com a mesma rota e quantidade de *waypoints*, na qual foram alteradas apenas as variáveis avaliadas: resolução de vídeo e taxa de transferência da telemetria. A Figura 5.1 apresenta a visualização dos *waypoints* no mapa correspondentes a missão. Os dados de telemetria foram gerados conforme a rota da missão. A localização escolhida para simulação da missão foi o DC-UFSCAR (Departamento de Computação da Universidade Federal de São Carlos). Os dados referentes aos *waypoints* da

missão encontram-se na Figura 5.2.

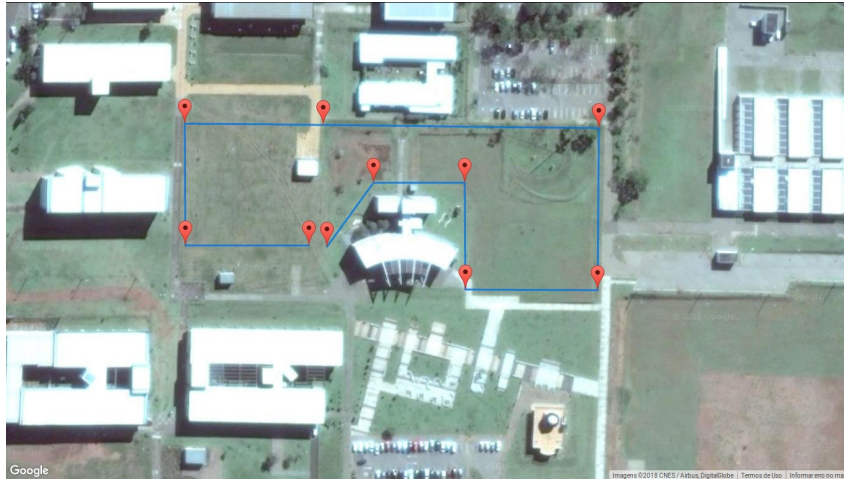


Figura 5.1: Waypoints da missão utilizada nos experimentos

Fonte: própria.

id	altitude	latitude	longitude	sequence	speed	type	mission_id
31	30	-21.979199508470273	-47.880249921758264	1	7	POINT	1
32	30	-21.978944570071302	-47.88004742169886	2	7	POINT	1
33	30	-21.978943324555328	-47.879654471614685	3	7	POINT	1
34	30	-21.979371137262536	-47.87965178994057	4	7	POINT	1
35	30	-21.979373622795006	-47.879079142268466	5	7	POINT	1
36	30	-21.97872568817881	-47.87907377429917	6	7	POINT	1
37	30	-21.9787120054594	-47.880264678895486	7	7	POINT	1
38	30	-21.978707028294032	-47.88086281226845	8	7	POINT	1
39	30	-21.97919453393918	-47.88086146901438	9	7	POINT	1
40	30	-21.979195783940018	-47.88032636931155	10	7	POINT	1

Figura 5.2: Dados da missão

Fonte: própria.

Foram executadas três rodadas de experimentos, uma para cada variável avaliada. Foram executadas três vezes cada uma das configurações possíveis de cada variável. Assim, a primeira rodada foi executada variando a resolução de vídeo seguida por uma nova rodada variando a taxa de transferência da telemetria, e por fim, a terceira rodada variando tanto a resolução de vídeo como a taxa de transferência da telemetria. Isto foi feito com o intuito de mitigar a interferência na qualidade momentânea da rede 4G, executando sequencialmente cada configuração até chegar a três medições.

Foram selecionadas os seguintes itens para serem analisados.

- *Live Latency*: latência de transmissão ao vivo que consiste no atraso até o momento em que o vídeo é iniciado.

- *Buffer Health*: capacidade de carregamento existente no vídeo para que possa ser visualizado;
- *Delay*: é o tempo real de atraso em que uma ação foi capturada por imagem e apresentada para o usuário; e
- Banda: velocidade e consumo da rede 4G, neste trabalho foi considerada a velocidade de *upload*.

Para os experimentos, o servidor de *streaming* utilizado foi o *Youtube* e com o *Live Latency* configurado na opção “latência ultra baixa”, que permite um menor atraso na exibição do vídeo. O dispositivo móvel utilizado foi um Moto G4 Plus¹ com Android 7.0, 2GB de memória RAM, processador Quad-core 1.5 GHz Cortex-A53 + Quad-core 1.2 GHz Cortex-A53 e com capacidade de captura de imagens em até 1920x720px e rede de dados 4G da operadora VIVO. As configurações de referência do VANT utilizadas foram as do *Phantom Vision 2*² com precisão de posição horizontal de 2,5m (metros) e 0,8m vertical, velocidade máxima de 15m/s (metros/segundo)³, e serviço web hospedado em uma instância do tipo *t2.medium* no provedor de nuvem AWS⁴ na região de São Paulo.

Os dados das execuções foram coletados e analisados, conforme discutido nas próximas seções.

5.2 Resolução e *delay* de vídeo

A resolução do vídeo é um fator importante ao realizar *streaming* de vídeo, já que quanto maior a resolução maior será o tamanho do vídeo a ser enviado. Esse fator afeta a taxa de *delay* do vídeo, isto é, qual será o tempo de atraso em relação ao tempo real em que o vídeo foi obtido. Esta seção apresenta o estudo que tem como objetivo avaliar a resolução e *delay* de vídeo em redes 4G.

Para realizar esta avaliação, foram considerados três valores para a resolução de vídeo: 720x480px (pixels), 1280x720px e 1920x1080px. O tempo de *buffer* foi coletado do servidor de *streaming* e o *delay* foi cronometrado a partir da estabilização do *buffer*.

A Tabela 5.1 apresenta a média dos resultados dos experimentos realizados para cada

¹<https://www.motorola.com.br/moto-g4-plus/p>

²<https://www.dji.com/phantom-2-vision/info#specs>

³Não é recomendado pelo fabricante atingir a velocidade máxima

⁴<http://aws.amazon.com>

resolução de vídeo. Os dados completos, que foram utilizados para calcular a média apresentada, encontram-se no Apêndice A.

Tabela 5.1: Resultados obtidos durante a avaliação da resolução e delay de vídeo

Resolução	Tempo de Buffer	Live Latency	Delay	Taxa de Bits
720x480	1,38s	2,47s	3,16s	500Kbps
1280x720	1,17s	1,86s	2,90s	1300Kbps
1920x1080	1,76s	3,23s	4,16s	2400Kbps

Observa-se na Tabela 5.1 que a resolução de vídeo que apresentou os melhores resultados foi a de 1280x720px, por ser essa a resolução com menor *delay*. Isto ocorre pelo fato de ser uma resolução que melhor se adapta ao servidor de *streaming* utilizado no experimento, bem como a taxa de *bits* utilizada para o envio de vídeo, já que as taxas são para envio de dados utilizando uma rede de dados 4G. Ao utilizar taxas maiores, o consumo de banda aumenta e o menor tempo de *delay* do vídeo não é garantido, pois quanto maior a taxa de *bits* do vídeo, maior é o tamanho do *upload* necessário para o servidor de *streaming*. Também observou-se neste experimento que uma menor taxa de *bits* não garante um menor *delay*, pois quanto menor a taxa, maior é a compressão de vídeo. Outro fator que interfere no resultado é a flutuação da rede de dados, que em certos momentos apresenta uma taxa de transferência de dados menor.

Os gráficos das Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 mostram a variação de *buffer*, *live latency* e *delay* em relação ao tempo. Observa-se que há variação de *buffer*, *live latency* e *delay*, mas *Live latency* e *delay* tendem a ter um valor aproximado estando diretamente ligada a velocidade de envio de dados pela rede 4G. O tempo de *buffer* é a capacidade de reprodução do vídeo. A partir dos gráficos, pode-se observar que todas as resoluções de vídeo não tem a transmissão iniciada de imediato para o usuário. Este atraso no início ocorre pelo fato de a reconstrução dos primeiros pacotes de vídeo enviados terem um custo maior para o servidor de *streaming*, ocorrendo uma estabilização deste tempo em torno dos 30s para todas as resoluções avaliadas. Este tempo varia conforme a resolução escolhida e a flutuação da rede de dados 4G. Com base nestas informações, os primeiros 30s de transmissão podem não ser apresentados aos usuários remotos, de modo que o ideal é que se inicie a transmissão e após 30s de vídeo o voo do VANT seja iniciado.

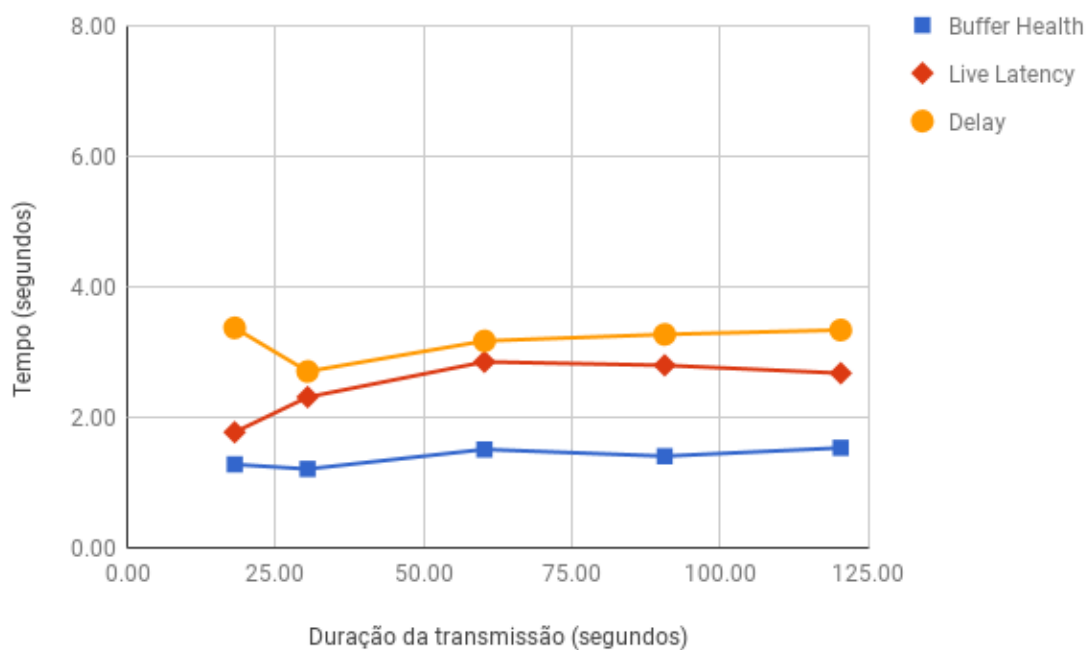


Figura 5.3: Resultados para as execuções de qualidade 720x480

Fonte: própria.

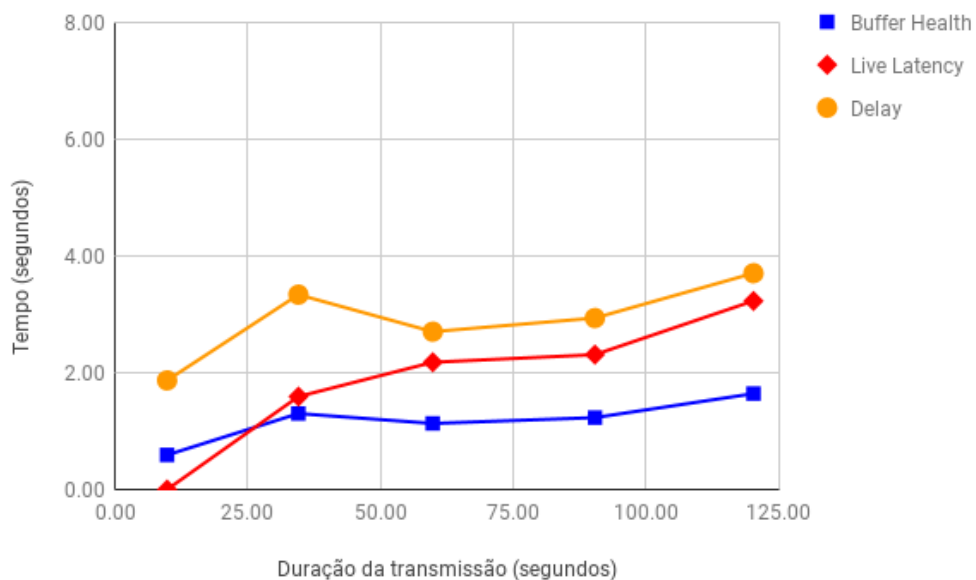


Figura 5.4: Resultados para as execuções de qualidade 1280x720

Fonte: própria.

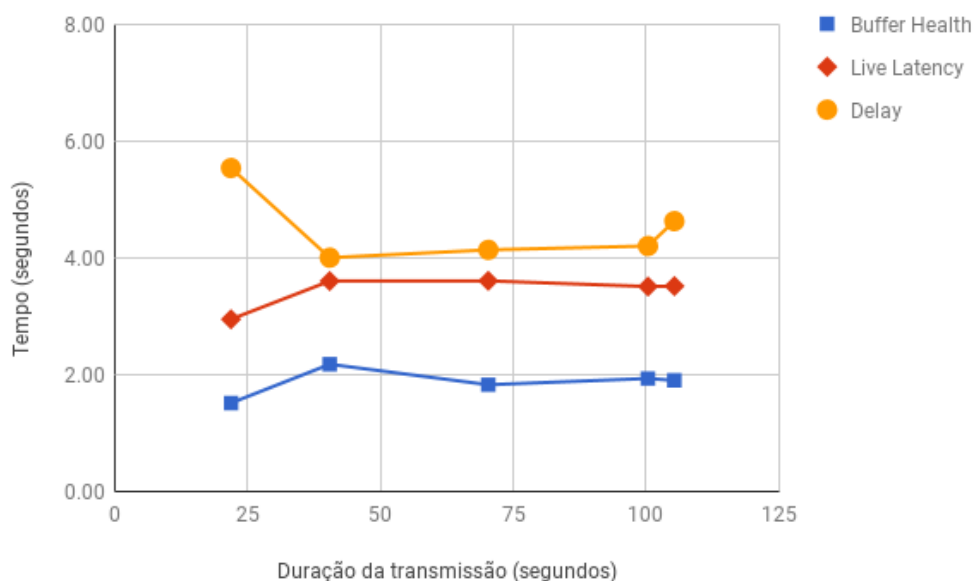


Figura 5.5: Resultados para as execuções de qualidade 1920x1080

Fonte: própria.

Quando analisa-se as variáveis manipuladas no experimento, pode-se concluir que o vídeo com resolução de 1280x720px é a melhor escolha para utilização em um ambiente de multiprojeção, pois tem uma resolução e qualidade satisfatória para apresentação e acompanhamento das missões, bem como o tempo de *delay* é menor em relação aos outros resultados apresentados.

5.3 Taxa de transferência da telemetria

Considerando que a arquitetura proposta é para uso em redes 4G, é importante avaliar como ocorre a taxa de transferência de dados da telemetria. Essa seção apresenta a avaliação que teve como objetivo medir a taxa de transferência da telemetria considerando alguns intervalos de tempo.

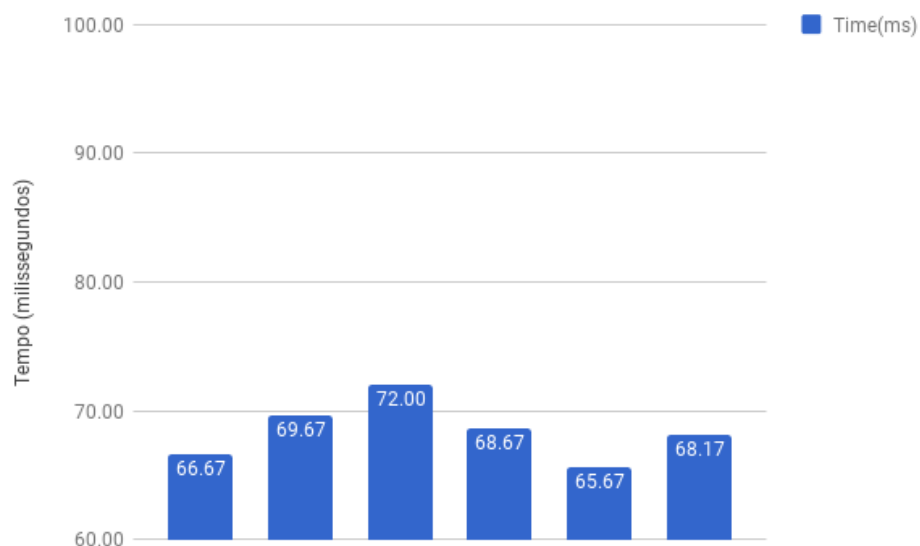
Para realizar esta avaliação, foram considerados três intervalos de tempo: 0,1s (segundos), 0,2s e fluxo contínuo de envio. Um novo pacote de dados de telemetria é obtido do VANT e enviado a cada intervalo de tempo estipulado. Nesse sentido, foi medido o tamanho dos pacotes de telemetria enviados durante a execução do experimento. Também foi calculada a média de tempo de transferência dos pacotes.

A Tabela 5.2 apresenta os resultados obtidos na execução do experimento. Os dados completos, que foram utilizados para calcular a média apresentada, encontram-se no Apêndice B.

Tabela 5.2: Resultados obtidos durante a avaliação da taxa de transferência da telemetria.

Intervalo	Tamanho do pacote	Tempo de Transferência
0.1s	286 bytes	68,16ms
0.2s	286 bytes	87,73ms
Fluxo Contínuo	286 bytes	68,05ms

Os gráficos das Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam o tempo de envio dos dados de telemetria. O tamanho do pacote de dados de telemetria manteve a média de 286 bytes para as três taxas de transferências utilizadas.

**Figura 5.6: Resultados para as execuções de telemetria 100ms**

Fonte: própria.

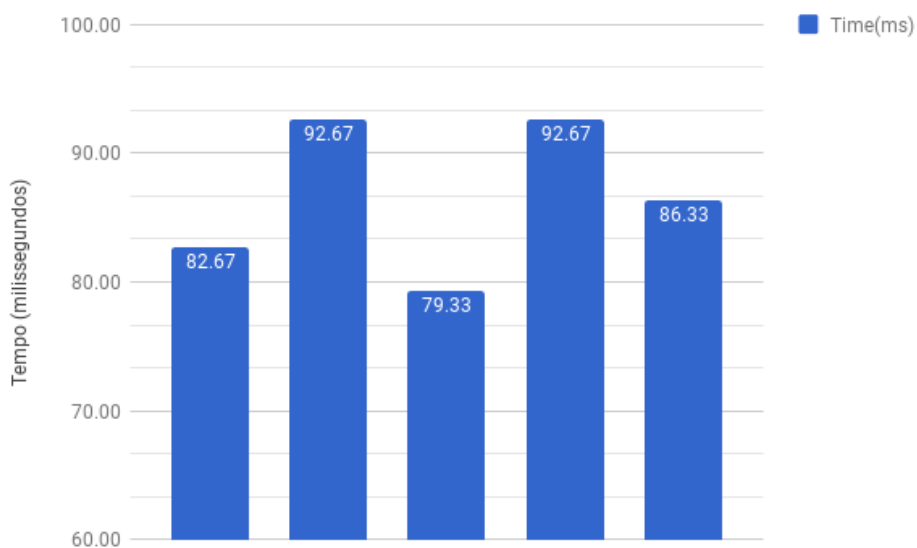


Figura 5.7: Resultados para as execuções de telemetria 200ms

Fonte: própria.

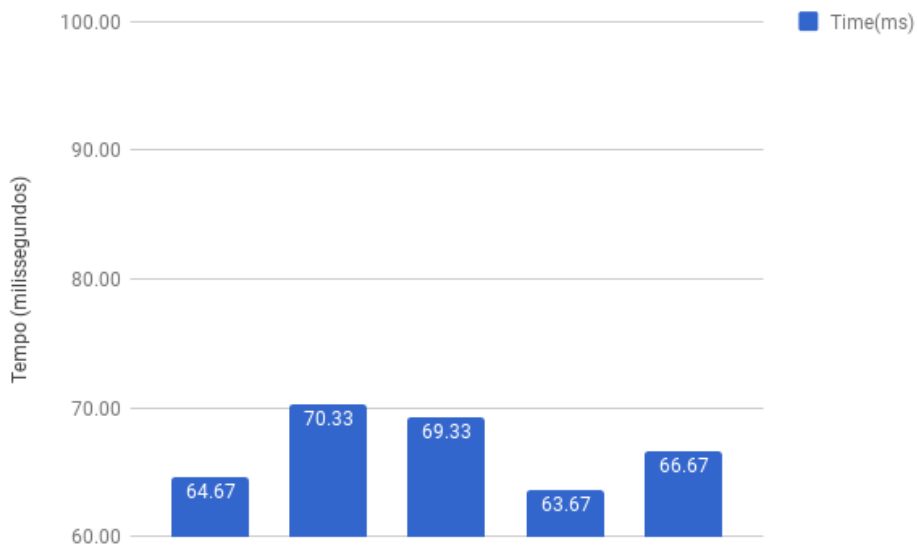


Figura 5.8: Resultados para as execuções de telemetria-fluxo

Fonte: própria.

Na Tabela 5.2 é visto que o envio de dados de telemetria em fluxo contínuo apresentou o melhor resultado em relação aos demais tempos. Porém, a diferença de tempo do fluxo contínuo para o intervalo de 0,1s (segundos) é de 0,11ms (milissegundos). Essa diferença tem como interferência a flutuação da rede e o *keepalive* (conexão persistente) de uma conexão HTTP com o servidor web. Para o intervalo de 0,2s, a diferença de tempo de envio é maior que os outros tempos já que este aproveita menos do *keepalive*, pois o tempo de envio de dados é

maior.

Dada a diferença tão pequena do tempo de envio dos dados de telemetria entre o envio em fluxo contínuo e no tempo de 0,1s, é necessário considerar as características dos VANTs de baixo custo, que são o objetivo deste trabalho. Tal tipo de VANT trabalha com uma velocidade máxima de voo de aproximadamente 15m/s (metros por segundo), executando voos para capturas de imagem de 8m/s a 10m/s e possuindo um GPS embarcado do tipo L1 de baixo custo e que tem uma resolução de 1,5 a 2 metros em relação a sua posição real. Com base nessas informações e considerando o tempo para envio de informações de 0,1s e um VANT operando a uma velocidade máxima de 15m/s, tem-se uma variação de posição de 1,5 metros, variação que está dentro da resolução de posição do GPS embarcado ao VANT. Desta forma, o tempo de envio de 0,1s é o mais indicado para a operação.

5.4 Resolução de vídeo e taxa de transferência da telemetria

Outro fator importante a ser avaliado é a combinação da resolução de vídeo e da taxa de transferência da telemetria, devido a concorrência de banda da rede 4G, de modo que seja verificado qual a melhor resolução de vídeo para a taxa de transferência.

Para realizar esta avaliação, foi considerado o intervalo de tempo de 0,1s (segundos). Este intervalo de transferência de telemetria foi executado para cada uma das seguintes configurações de resolução de vídeo: 720x480px, 1280x720px e 1920x1080px, formando, assim, três configurações diferentes para este experimento. O tempo de transferência e *delay* foram medidos da mesma forma que nos dois experimentos anteriores.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados obtidos na execução da avaliação. Os dados completos, que foram utilizados para calcular a média apresentada, encontram-se no Apêndice C.

Tabela 5.3: Resultados obtidos durante o experimento.

Intervalo	Resolução	Tempo de Transferência	Delay
0,1s	720x480	68,53ms	2,58s
0,1s	1280x720	70,13ms	3,14s
0,1s	1920x1080	68,55ms	3,68s

Neste experimento, o melhor resultado obtido foi na combinação da resolução de vídeo 720x480, conforme dados na Tabela 5.3. No entanto, como observado na Seção 5.2, a resolução 720x480 não é a ideal para apresentação em um ambiente de multiprojeção por ser uma resolução

bastante inferior a utilizada em uma projeção. Além disso, tem-se a flutuação de rede de dados 4G como um fator de interferência externa e esta configuração de vídeo nem sempre será com o menor tempo de *delay*, como visto na Tabela 5.1. Os resultados obtidos na Seção 5.2 mostram que a resolução ideal para utilização em ambiente de multiprojeção é a de 1280x720px, por proporcionar melhor qualidade de vídeo e tempo de *delay* baixo.

Observa-se uma variação quanto ao tempo médio de envio de informações de telemetria para o servidor web no mesmo momento de envio de dados por *streaming* de vídeo. A variação no tempo de envio foi de 1,97ms (milissegundos) a mais do que o envio somente dos dados de telemetria. Essa variação não ultrapassou o tempo de 100ms a cada envio de informações para o servidor web, mas poderia ter sido menor devido a flutuação da conexão de rede de dados 4G.

Os gráficos das Figuras 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14 mostram os resultados obtidos para as diferentes configurações de resolução de vídeo com envio de dados de telemetria.

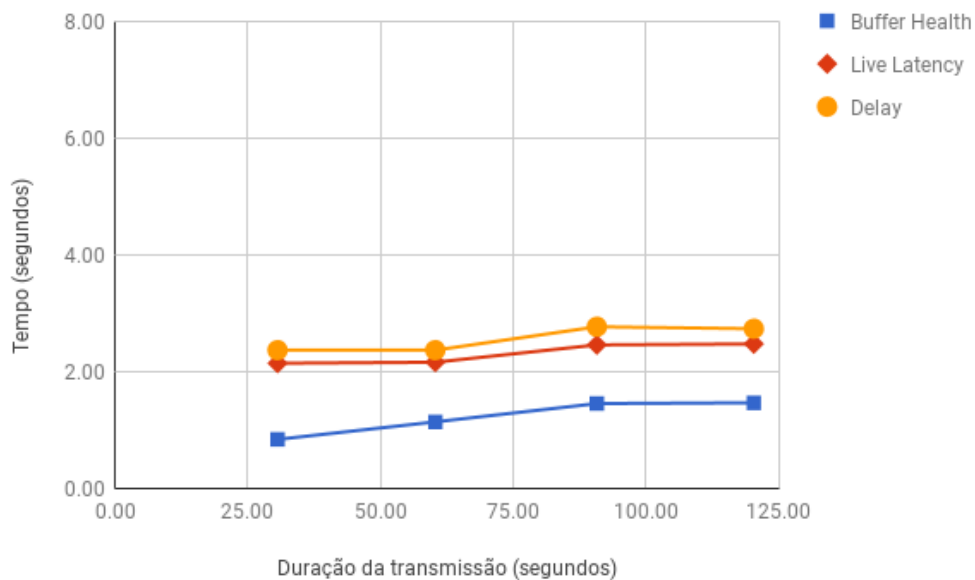


Figura 5.9: Resultados para as execuções de resolução 720x480 com telemetria

Fonte: própria.

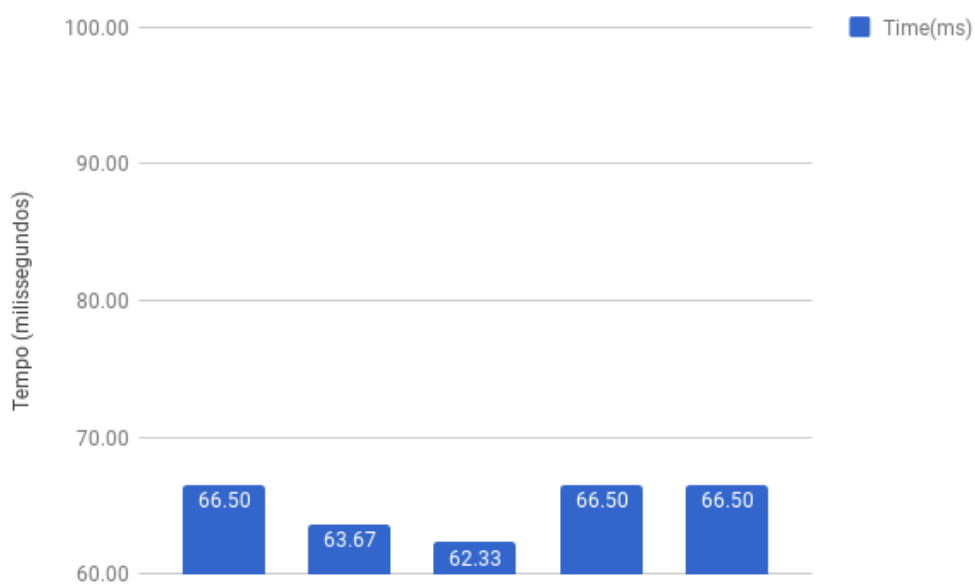


Figura 5.10: Resultados para os envios de telemetria com resolução 720x480

Fonte: própria.

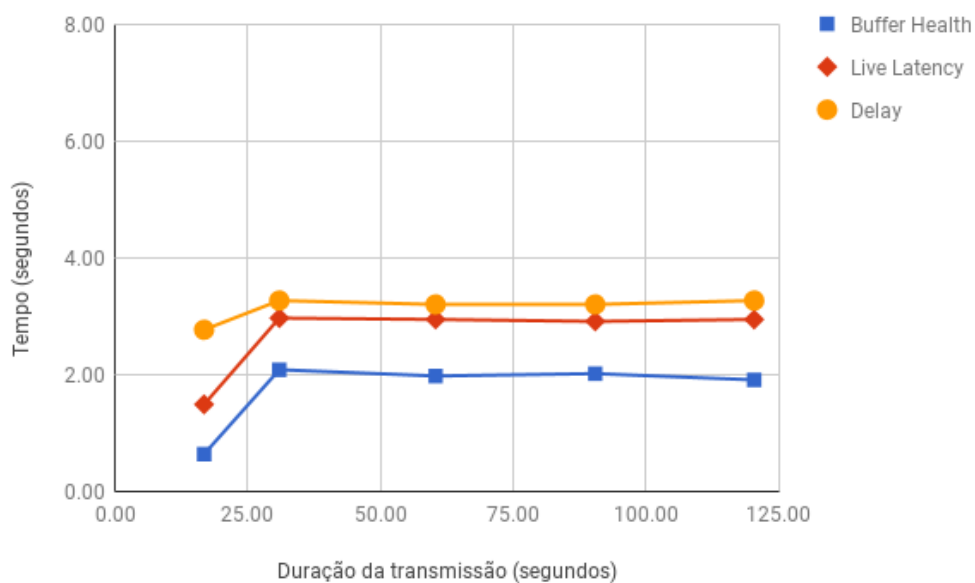


Figura 5.11: Resultados para as execuções de resolução 1280x720 com telemetria

Fonte: própria.

pode

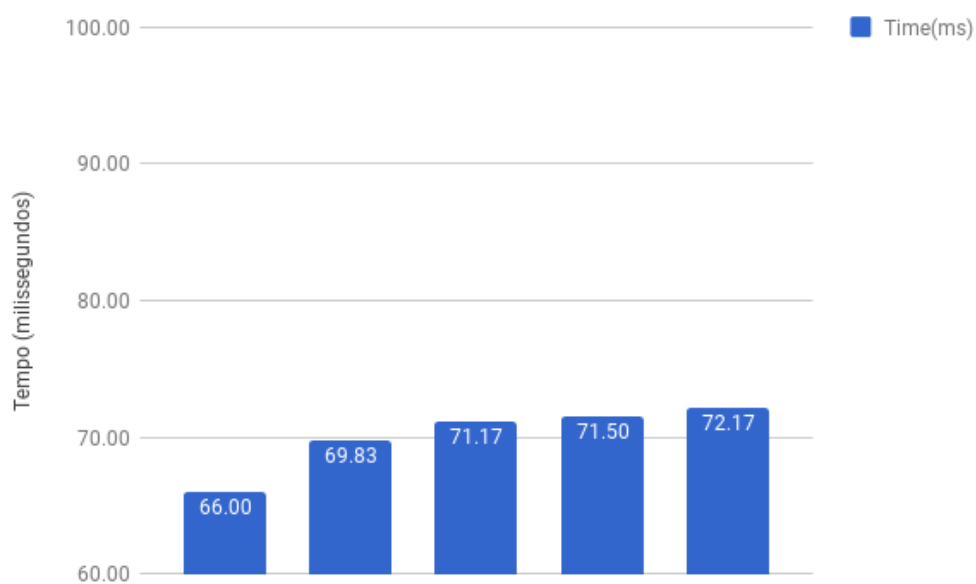


Figura 5.12: Resultados para os envios de telemetria com resolução 1280x720

Fonte: própria.

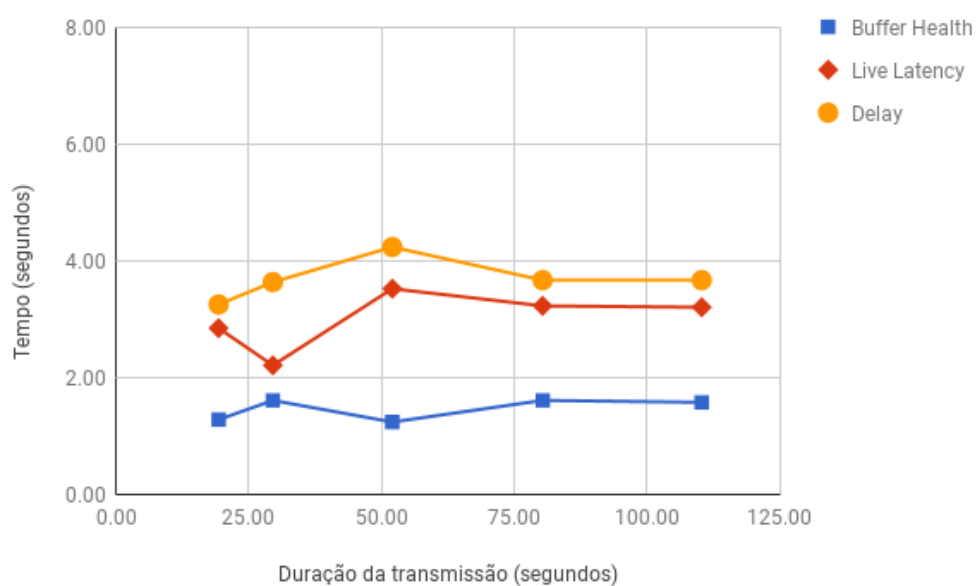


Figura 5.13: Resultados para as execuções de resolução 1920x1080 com telemetria

Fonte: própria.

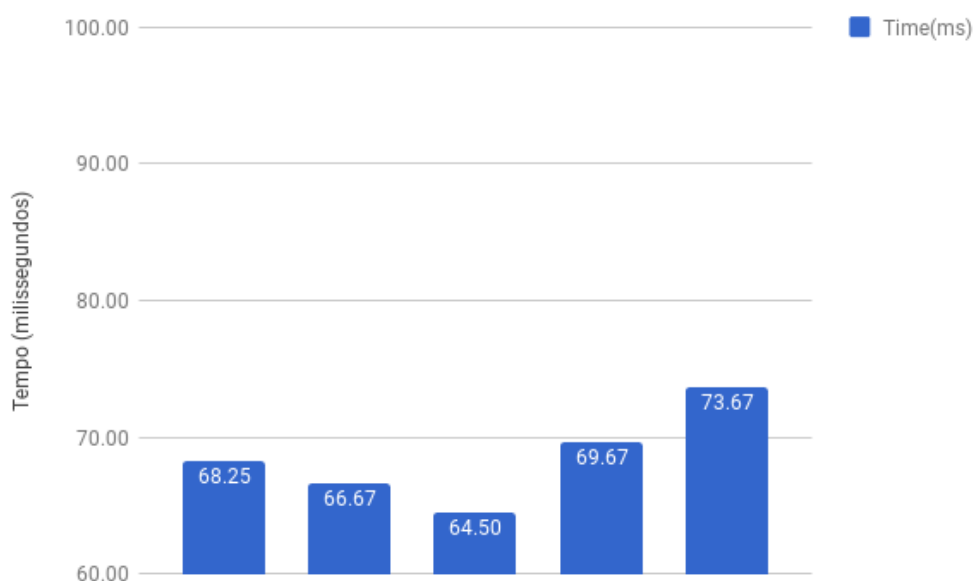


Figura 5.14: Resultados para os envios de telemetria com resolução 1920x1080

Fonte: própria.

Conclui-se que, com as informações apresentadas na Tabela 5.3 e os gráficos das Figuras 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14, a melhor resolução e qualidade de envio de vídeo considerando o intervalo de envio de dados de telemetria de 0,1s e que traz mais benefício para os usuários é a resolução de 1280x720px, tendo a média de variação no tempo de envio dos dados de telemetria de 66,00ms a 72,17ms tempo inferior a taxa de envio que é de 100ms ou 0,1s.

5.5 Avaliação do envio de dados e consumo de banda

Considerando que a proposta deste projeto consiste em utilizar uma rede 4G para envio do vídeo e dos dados capturados pelo VANT, é importante considerar qual o consumo de banda utilizado pela estação de controle imersiva proposta.

Para avaliar o consumo de banda foi realizada uma única execução com duração de 10 minutos. Foi utilizada a mesma missão das avaliações anteriores, porém os *waypoints* foram repetidos até completar o período de tempo. O objetivo deste experimento foi mostrar que os resultados já apresentados são válidos em execuções mais longas. Para esta avaliação foi escolhida uma configuração com as melhores características, segundo os experimentos anteriores: resolução de vídeo de 1280x720px e intervalo de envio de telemetria de 0,1s. Os dados coletados ao longo da execução foram a telemetria, *live latency*, *delay* e consumo de banda da rede de dados 4G.

A Tabela 5.4 apresenta a média dos resultados obtidos na execução. Os dados completos obtidos nesta execução encontram-se no Apêndice D. As Figuras 5.15, 5.16 e 5.17 mostram a variação dos valores em função do tempo.

Tabela 5.4: Média dos resultados obtidos durante o experimento.

Tempo de Transferência	Live Latency	Delay	Consumo de Banda
65,05ms	3,13s	3,68s	585,94KB/s

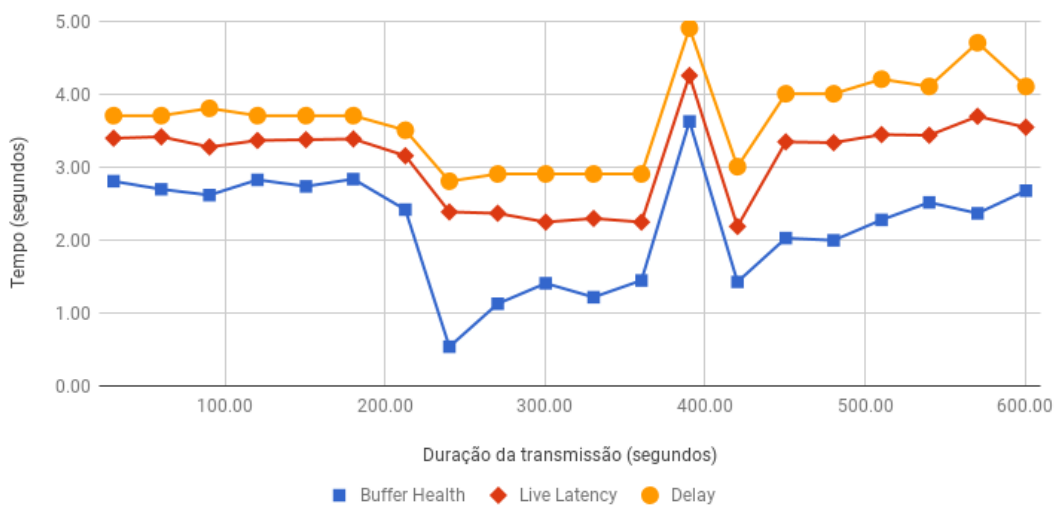


Figura 5.15: Resultados para os envios de video com a resolução de 1280x720

Fonte: própria.

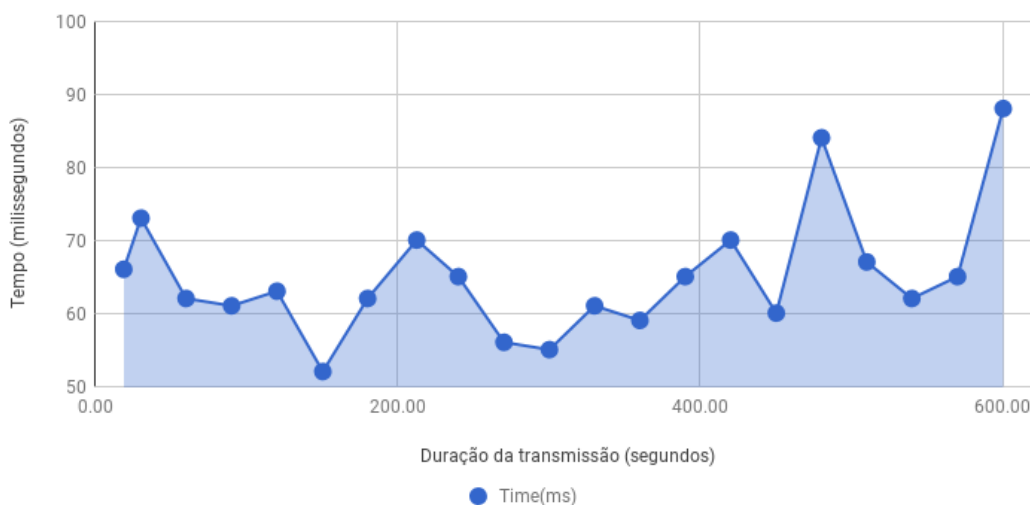


Figura 5.16: Resultados para os envios de telemetria com o intervalo de 0.1s

Fonte: própria.

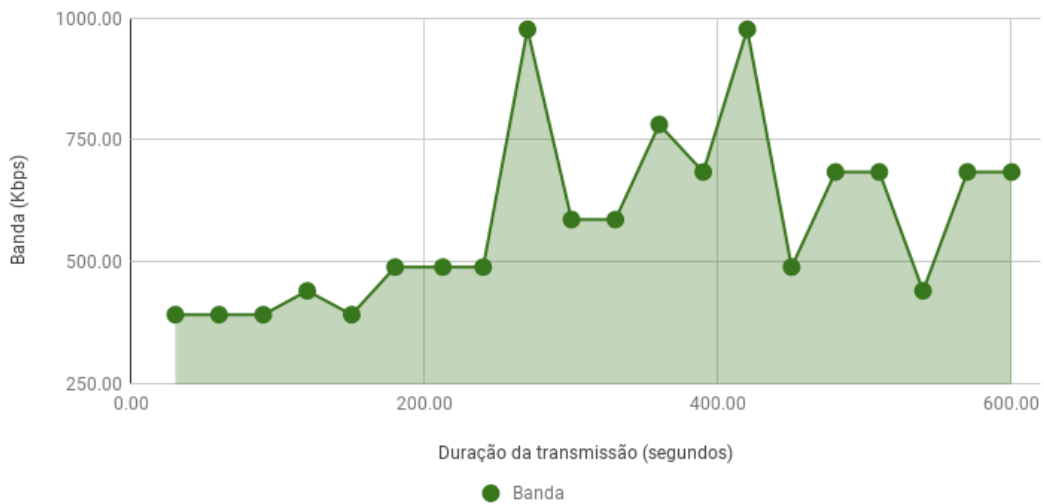


Figura 5.17: Resultados obtidos do consumo de banda em KB/s

Fonte: própria.

Os resultados obtidos confirmam as avaliações anteriores, já que os valores capturados estão dentro da faixa de valores encontrada nos experimentos já apresentados. A variação do tempo, isto é, o fato de ter uma execução bem mais longa que as anteriores, não causou nenhuma diferença significativa nos resultados. A diferença nos tempos de envio de dados de telemetria, *delay* e *Live Latency* é resultado da flutuação da rede de dados 4G. É possível observar o consumo da banda de dados conforme apresentado na Figura 5.17, e nota-se que o menor valor é 390,60 KB/s e o máximo é 960,76 KB/s. Essa variação no consumo de banda está diretamente relacionada às informações que estão sendo enviadas pela transmissão, principalmente os dados de vídeo, já que quanto mais detalhes são capturados maior é o pacote que será enviado. Vale lembrar que o *bit rate* (taxa de bits) configurado para a resolução de vídeo deste estudo é de 1300Kbps.

5.6 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os experimentos realizados e foram discutidos os resultados obtidos. Desse modo, foi possível avaliar qual a melhor escolha para resolução de vídeo e a melhor taxa de transferência no envio de dados de telemetria para acompanhamento de uma missão de voo no ambiente de multiprojeção. Também foi avaliado que o consumo de banda e transmissão de dados foi satisfatória, está em uma variação boa dentro dos limites encontrados nas redes 4G do país. Com estes resultados, temos uma resolução de vídeo considerada boa para ser apresentada no ambiente de multiprojeção dentro das condições de rede 4G disponíveis até

o momento de desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

A abordagem apresentada neste projeto teve como requisitos o conhecimento e entendimento de diversas áreas da computação, tais como: processamento de imagens e sinais, redes e sistemas distribuídos e desenvolvimento de aplicações *mobile*. O grupo de pesquisa do LaVIIC – UFSCar vem desenvolvendo pesquisas em questões relacionadas ao processamento massivo de dados baseados em aglomerados de computadores.

Este trabalho propôs uma arquitetura e implementação de uma Estação de Controle Imer-siva para assistir o planejamento e acompanhamento de missões. A Seção 6.1 apresenta as contribuições deste trabalho. A Seção a Seção 6.2 discute as limitações deste trabalho bem como as possíveis extensões que podem ser realizadas em projetos futuros. Por fim, 6.3 apre-senta os resultados já publicados durante este projeto de mestrado.

6.1 Contribuições

A arquitetura para estação de controle imersiva apresentada neste projeto tem o objetivo de proporcionar ao usuário uma interface de controle não somente remota, mas também imersiva e interativa. Por meio desta, é possível realizar o planejamento de rotas para o VANT e acompa-nhar as informações referentes à telemetria do dispositivo durante a execução do voo do VANT. Além disso, é possível acompanhar a execução da rota definida pelos *waypoints*, utilizando o miniCAVE como meio de apresentação.

Neste trabalho foi implementada a arquitetura para estação de controle imersiva em sistemas de multiprojeção (miniCAVE) proposta no Capítulo 4. A ferramenta implementada mostrou a viabilidade da arquitetura proposta para utilização com ambientes de multiprojeção. Porém, a arquitetura proposta é genérica de tal modo que pode ser adaptada para outros tipos de inter-

face de usuário, como por exemplo uma interface HMD ou mesmo em uma interface desktop. Também é genérica no sentido de utilizar protocolos padrões, como serviço web com REST, possibilitando a adaptação para outros dispositivos móveis e embarcados de menor processamento, mas isso pode acarretar em limitações para o envio de vídeo.

Deste modo, a ferramenta desenvolvida permite o acompanhamento e planejamento de missões de VANTs em um ambiente remoto e imersivo, permitindo que apenas o operador esteja em campo e os especialistas de domínio possam acompanhar remotamente sem ter que aguardar que a missão seja totalmente completada para que os dados colhidos possam ser analisados. Dentre os domínios em que este trabalho pode ser aplicado estão agricultura, acompanhamento de obras, patrulhamento de fronteiras, busca e resgate, inspeção em linhas de transmissão e dutos de petróleo.

Para avaliar esta proposta, foram realizados experimentos que possibilitaram a análise de diferentes perspectivas a serem avaliadas. As avaliações verificaram alguns parâmetros da comunicação entre o VANT e a estação de controle imersiva, como a taxa de transferência de dados de telemetria através de uma rede 4G bem como a resolução de vídeo. Na avaliação da resolução do vídeo enviado em função do tempo de conexão, observou-se que foi mantida uma boa resolução de vídeo durante toda a execução dos experimentos.

Na avaliação da taxa de telemetria, observou-se que o tempo de envio de dados de 0,1s é adequado, devido ao tipo de VANTs considerados neste trabalho, VANTs de baixo custo, e por ser executado pelo protocolo TCP/IP garante-se a entrega das informações. Já na avaliação que combinou a taxa de telemetria de 0,1s e variou-se a resolução de vídeo, os resultados mostraram que a resolução de 1280x720px é a que traz mais benefícios para os usuários em um ambiente de multiprojeção. Deste modo, mesmo que a banda de rede seja reduzida, o vídeo é enviado com uma qualidade mínima, mesmo que não tão boa, de forma que o usuário não fica sem visualizar as imagens enviadas pelo VANT.

A última avaliação, que diz respeito a transmissão e consumo de banda, possibilitou analisar o envio de dados por um período de tempo maior do que nos outros experimentos. Conforme os dados apresentados, nota-se que o consumo de banda tem um valor bom, já que está dentro dos limites das redes 4G encontradas no país.

Estes resultados mostram a viabilidade da arquitetura proposta utilizando-se uma rede 4G para transmissão de vídeo e dados de telemetria para um ambiente de multiprojeção. Apesar das vantagens apresentadas, este trabalho possui limitações e estudos futuros podem ser realizados para evoluir este projeto, conforme apresentados na seção a seguir.

6.2 Limitações e Trabalhos Futuros

A arquitetura proposta, implementada e avaliada levou em consideração VANTs de baixo custos do tipo multi rotores, podendo ser necessários estudos adicionais para ser aplicada a outros VANTs do tipo Asa Fixa.

Em relação ao componente implementado com a arquitetura proposta, as informações são apresentadas no sistema de multiprojeção em interfaces 2D. Para melhor aproveitar a mini-CAVE, uma possível extensão é implementar uma nova interface utilizando Unity 3D permitindo que os dados e imagens sejam trabalhados em apresentações 3D.

Este trabalho teve como foco a qualidade e garantia da transmissão de dados para o ambiente de multiprojeção, medindo e avaliando tempo de resposta e consumo de dados da rede de dados 4G. Como trabalho futuro, a interface da IGCS deve ser validada com usuários reais, e ainda poderia ser realizada comparação entre um ambiente imersivo e um não imersivo.

Em relação ao acompanhamento de missão na estação de controle, após o início de voo do VANTs a estação de controle recebe apenas dados, não podendo enviar informações para o VANT. Outra possível extensão é implementar uma comunicação bidirecional, possibilitando o envio de comandos para o VANT em tempo real enquanto o voo está sendo realizado.

Este trabalho utilizou HTTP como protocolo de comunicação por meio de serviço web. Como forma de avaliar uma outra implementação para envio dos dados de telemetria pode-se fazer uso de websockets a fim de diminuir o tempo de envio dos dados.

A utilização do servidor de *streaming* Youtube mostrou-se eficiente para o trabalho proposto. Entretanto, com o intuito de reduzir o tempo de *delay* de vídeo pode-se utilizar um servidor de *streaming* junto ao ambiente de multiprojeção e/ou implementação de protocolo de comunicação por vídeo como o WebRTC¹.

6.3 Publicações

Durante o mestrado, foram publicados os seguintes trabalhos:

- Trabalhos relacionados a este projeto:
 - PAIVA, G. G. de et al. A utilização de vants com realidade virtual: Estação de controle imersiva. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*, 2016.

¹<https://webrtc.org/>

(PAIVA, 2016).

- PAIVA, G. G. de et al. Immersive ground control station for unmanned aerial vehicles. In: GERVASI, O. et al. (Ed.). *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 595–604. ISBN 978-3-319-62392-4. (PAIVA, 2017).
- Trabalhos relacionados com outro projeto:
 - BRANDAO, A. F. et al. ehouse: Ambiente de realidade virtual em dispositivos moveis aplicado a desorientação espacial. In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Gerontecnologia*. [S.l.: s.n.], 2016 (BRANDAO, 2016).
 - BRANDAO, A. et al. Virtual reality for lower limb motor stimulation and spatial orientation. In: *Proceedings of Symposium on Virtual and Augmented Reality - Demo Session*. [S.l.: s.n.], 2017.(BRANDÃO, 2017b)
 - BRANDAO, A. et al. e-street for prevention of falls in the elderly: An urban virtual environment for human computer-interaction from lower limb movements. In: UNICAMP. *Proceedings of Brazilian Technology Symposium 17*. [S.l.], 2017 (BRANDÃO, 2017a)
 - BRANDAO, A. et al. e-street: Virtual reality for spatial orientation in urban environment. In: UNICAMP. *Proceedings of 4th BRAIN Congress*. [S.l.], 2017 (BRANDAO, 2017)

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L. A. et al. Construção de mosaico utilizando imagens aéreas adquiridas de forma autônoma. 2013.
- ARCO, J. C. del et al. Multi-uav ground control station for gliding aircraft. In: *Control and Automation (MED), 2015 23th Mediterranean Conference on*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 36–43.
- AVELLAR, G. S. C. *Navegação de veículos aéreos não tripulados para cobertura de áreas com minimização de tempo*. Disserta (Mestrado) — UFMG, Belo Horizonte, 2014.
- AZUMA, R. et al. Recent advances in augmented reality. *IEEE computer graphics and applications*, IEEE, v. 21, n. 6, p. 34–47, 2001.
- BRANDAO, A. et al. e-street: Virtual reality for spatial orientation in urban environment. In: UNICAMP. *Proceedings of 4th BRAIN Congress*. [S.l.], 2017.
- BRANDAO, A. F. et al. ehouse: Ambiente de realidade virtual em dispositivos móveis aplicado á desorientação espacial. In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Gerontecnologia*. [S.l.: s.n.], 2016.
- BRANDÃO, A. et al. e-street for prevention of falls in the elderly: An urban virtual environment for human computer-interaction from lower limb movements. In: UNICAMP. *Proceedings of Brazilian Technology Symposium 17*. [S.l.], 2017.
- BRANDÃO, A. et al. Virtual reality for lower limb motor stimulation and spatial orientation. In: *Proceedings of Symposium on Virtual and Augmented Reality - Demo Session*. [S.l.: s.n.], 2017.
- BUCCIOLI, A. A. B.; ZORZAL, E. R.; KIRNER, C. Usando realidade virtual e aumentada na visualização da simulação de sistemas de automação industrial. In: *SVR2006-VIII Symposium on Virtual Reality*. [S.l.: s.n.], 2006.
- CANAN, R.; RAABE, A. L. A. Um ambiente para transmissão de vídeos instrucionais sob demanda. *RENOTE*, v. 2, n. 1, 2004.
- CARDOSO, F. C. Conceitos de rede virtual privada para streaming seguro de vídeo. *Universidade São Francisco*, 2010.
- CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. Composição e processamento de imagens aéreas de alta-resolução obtidas com drone. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília. 2014.

- CECAGNO, F. *Análise e desenvolvimento de uma solução para distribuição de vídeo adaptativo em redes heterogêneas*. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CERUTI, A. et al. Design of an advanced ground station for simultaneous control of multiple uavs in a coordinated mission. In: *Proceedings of International Congress of the Aeronautical Sciences*. [S.l.: s.n.], 2004.
- COSTA, F. G. *Integração entre veículos aéreos não tripulados e redes de sensores sem fio para aplicações agrícolas*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.
- CRUZ-NEIRA, C. et al. The cave: audio visual experience automatic virtual environment. *Commun. ACM*, ACM, New York, NY, USA, v. 35, p. 64–72, June 1992. ISSN 0001-0782.
- CURZEL, J. L.; HOUNSELL, S.; LEAL, A. B. Uso da realidade virtual para ensino de automação da manufatura. In: *International Conference on Engineering and Computer Education*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 773–777.
- DALBOSCO, J. et al. Flightroutes: aplicativo para geração de rotas georreferenciadas para vants. In: *Anais do IX Congresso Brasileiro de Agroinformática*. [S.l.: s.n.], 2013.
- DEFANTI, T. A. et al. The optiportal, a scalable visualization, storage, and computing interface device for the optiputer. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 25, n. 2, p. 114–123, 2009.
- DIAS, D. C. et al. Dental arches multi-projection system with semantic descriptions. In: *Virtual Systems and Multimedia (VSMM), 2010 16th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*. Seoul: IEEE Xplore, 2010. (VSMM 2010, ISBN 978-1-4244-9027-1), p. 314–317.
- DIAS, D. R. C. *Sistema Avançado de Realidade Virtual para Visualização de Estruturas Odontológicas*. Disserta (Mestrado) — IBILCE/UNESP, São José do Rio Preto, 2011.
- DIAS, D. R. C. *Uma Arquitetura para Intercomunicação de Ambientes de Realidade Virtual Distribuídos Baseados em Aglomerados Gráficos Remotos*. Tese (Doutorado) — Departamento de Computação, Universidade Federal de São Carlos, 2016.
- DROLET, F. et al. A software architecture for sharing distributed virtual worlds. In: *Virtual Reality Conference, 2009. VR 2009. IEEE*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 271–272. ISSN 1087-8270.
- ENDO, A. T. *Model based testing of service oriented applications*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.
- ENGELKE, C.; FITZGERALD, C. Replacing legacy web services with restful services. In: *Proceedings of the First International Workshop on RESTful Design*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (WS-REST '10), p. 27–30. ISBN 978-1-60558-959-6.
- FIELDING, R. T. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Tese (Doutorado), 2000. AAI9980887.
- FRAGA, J.; FARINES, J.; MONTEZ, C. Um serviço de tempo global para sistemas distribuídos de larga escala. In: *XVI Brazilian Symposium on Computer Networks, Rio de Janeiro, Brazil*. [S.l.: s.n.], 1998.

- FREW, E. W.; BROWN, T. X. Networking issues for small unmanned aircraft systems. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, v. 54, n. 1, p. 21–37, 2009. ISSN 1573-0409.
- GNECCO, B. B.; PAIVA GUIMARAES, M. de; ZUFFO, M. K. Um framework para computação distribuída. In: *Simpósio Brasileiro de Realidade Virtual*. Ribeirão Preto: SBC, 2003.
- GOOGLE. *Google Cardboard – Google VR*. 2016. <https://vr.google.com/cardboard/index.html>. Último acesso em: maio de 2016.
- GUIMARAES, M. P. *Um ambiente para o desenvolvimento de aplicações de realidade virtual baseadas em aglomerados gráficos*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2004.
- HAMAD, H.; SAAD, M.; ABED, R. Performance evaluation of restful web services for mobile devices. 2010.
- HANCOCK, D. Viewpoint: virtual reality in search of middle ground. In: *IEEE Spectrum*. [S.l.: s.n.], 1995.
- HAND, C. Other faces of virtual reality. In: _____. *Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality Models, Systems, and Applications: First International Conference, MHVR'94 Moscow, Russia, September 14–16, 1994 Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. p. 107–116. ISBN 978-3-540-68432-9.
- IKEUCHI, K. et al. Kinecdrone: Enhancing somatic sensation to fly in the sky with kinect and ar.drone. In: *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (AH '14), p. 53:1–53:2. ISBN 978-1-4503-2761-9.
- KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. In: *Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC*. [S.l.: s.n.], 2007.
- KIRNER, C.; TORI, R. Introdução à realidade virtual, realidade misturada e hiper-realidade. *Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências*. Ied. São Paulo, v. 1, p. 3–20, 2004.
- KIRNER, C.; ZORZAL, E. R. Aplicações educacionais em ambientes colaborativos com realidade aumentada. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1, p. 114–124.
- KNUTZON, J. S. *Managing multiple unmanned aerial vehicles from a 3D virtual environment*. Disserta (Mestrado) — Iowa State University, 2006.
- LESTON, J. Virtual reality: the it perspective. *The Computer Bulletin*, Br Computer Soc, v. 38, n. 3, p. 12–13, 1996.
- MILGRAM, P. et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Photonics for industrial applications*. [S.l.], 1995. p. 282–292.
- MIRK, D.; HLAVACS, H. Virtual tourism with drones: Experiments and lag compensation. In: *Proceedings of the First Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications for Civilian Use*. New York, NY, USA: ACM, 2015. (DroNet '15), p. 45–50. ISBN 978-1-4503-3501-0.

- MOREIRA, B. G.; AZEVEDO, F. M. de; GARCIA, F. L. Ambiente virtual de aprendizagem multimídia por streaming e realidade virtual. *Hifen*, v. 32, n. 62, 2008.
- NETO, M. P. *A multiprojeção de ambientes virtuais gerados por motores de jogo: o histórico e o design de uma solução genérica aplicado no motor de jogo Unity*. Disserta (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, 2015.
- NETO, M. P. et al. A realidade virtual e o motor de jogo unity. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*, SBC, p. 9–23, 2015.
- NETO, M. P. et al. Unity cluster package—dragging and dropping components for multi-projection virtual reality applications based on pc clusters. In: SPRINGER. *International Conference on Computational Science and Its Applications*. [S.l.], 2015. p. 261–272.
- NETTO, A. V.; MACHADO, L. d. S.; OLIVEIRA, M. C. F. d. Realidade virtual-definições, dispositivos e aplicações. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica-REIC. Ano II*, v. 2, 2002.
- NEVES, L. A. d. S. R. et al. Sistema web semi-automático para anotação colaborativa de média h. 264 e flash vídeo. 2010.
- OCULUS. *Oculus Rift - Dispositivo HMD*. 2016. <https://www3.oculus.com/en-us/blog/oculus-rift-retail-experience-kicks-off-at-best-buy-locations-may-7/>. Último acesso em: agosto de 2016.
- PAIVA, G. G. de et al. Immersive ground control station for unmanned aerial vehicles. In: GERVASI, O. et al. (Ed.). *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 595–604. ISBN 978-3-319-62392-4.
- PAIVA, G. G. de et al. A utilização de vants com realidade virtual: Estação de controle imersiva. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*, 2016.
- PASSOS, E. B. et al. Tutorial: Desenvolvimento de jogos com unity 3d. In: *VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–30.
- PEREZ, D. et al. A ground control station for a multi-uav surveillance system. *J. Intell. Robotics Syst.*, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 69, n. 1-4, p. 119–130, jan. 2013. ISSN 0921-0296.
- PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. *Virtual Reality: Through the New Looking Glass*. 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 1994. ISBN 0070501688.
- PITTMAN, C.; LAVIOLA JR., J. J. Exploring head tracked head mounted displays for first person robot teleoperation. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Intelligent User Interfaces*. New York, NY, USA: ACM, 2014. (IUI '14), p. 323–328. ISBN 978-1-4503-2184-6.
- QGROUNDCONTROL. *Open Source Ground Control Station*. 2016. <http://qgroundcontrol.org/>. Último acesso em: maio de 2016.
- ROBINETT, W.; ROLLAND, J. P. A computational model for the stereoscopic optics of a head-mounted display. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, MIT Press, v. 1, n. 1, p. 45–62, 1992.

- SAHINGOZ, O. K. Networking models in flying ad-hoc networks (fanets): Concepts and challenges. *J. Intell. Robotics Syst.*, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 74, n. 1-2, p. 513–527, abr. 2014. ISSN 0921-0296.
- SANTIN, R. et al. Ações interativas em ambientes de realidade aumentada com artoolkit. 2004.
- SAUDATE, A. *REST: Construa API's inteligentes de maneira simples*. [S.l.]: Editora Casa do Código, 2014.
- SISTEMAS INTEGRÁVEIS LSI, L. de. *A Caverna Digital*. 2000. <http://www.lsi.usp.br/~caverna/>. Último acesso em: julho de 2016.
- SOARES, L. P. *Um Ambiente de multiprojeção totalmente imersivo baseado em aglomerados de computadores*. Tese (Doutorado) — USP, São Paulo, 2005.
- TANENBAUM, A. S.; STEEN, M. v. *Distributed Systems: Principles and Paradigms (2Nd Edition)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 2006. ISBN 0132392275.
- TRINDADE, O. et al. A layered approach to design autopilots. In: *Industrial Technology (ICIT), 2010 IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1415–1420.
- WAINER, J. Métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa para a ciência computação. In: KOWALTOWSKI, T.; BREITMAN, K. (Ed.). *Atualização em Informática*. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação e Editora PUC Rio, 2007. p. 221–262.
- WALTER, B. E. et al. Virtual uav ground control station. In: *AIAA 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference, Workshop and Exhibit*. [S.l.: s.n.], 2004.
- WATTS, A. C.; AMBROSIA, V. G.; HINKLEY, E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*, v. 4, n. 6, p. 1671, 2012. ISSN 2072-4292.

GLOSSÁRIO

ANAC – *Agência Nacional de Aviação Civil*

CAVE – *CAVE Automatic Virtual Environment*

GCS – *Ground Control Station*

GPS – *Global Position System*

HMD – *HEAD Mounted Display*

HTTP – *HyperText Transfer Protocol*

IGCS – *Immersive Ground Control Station*

IMU – *Inertial Measurement Unit*

JSON – *JavaScript Object Notation*

LOS – *Line-of-sight*

LaVIIC – *Laboratório de Visualização, Imersiva, Interativa e Colaborativa*

MAV – *Micro Air Vehicles*

NTP – *Network Time Protocol*

PMD – *Peso Máximo de Decolagem*

RA – *Realidade Aumentada*

REST – *Representational State Transfer*

RM – *Realidade Misturada*

RPAS – *Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada*

RPA – *Aeronave Remotamente Pilotada*

RPS – *Estação de Controle Remota*

RTMP – *Real Time Messaging Protocol*

RV – *Realidade Virtual*

SDK – *Software Development Kit*

SDK – *Software Development Kit*

SGBD – *Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados*

URI – *Uniform Resource Identifier*

UTC – *Coordinated Universal Time*

VANT – *Veículo Aéreo não Tripulado*

VA – *Virtualidade Aumentada*

VTOL – *Vertical Take-Off & Landing*

XML – *eXtensible Markup Language*

Apendice A

DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE RESOLUÇÃO DE VÍDEO

Este apêndice apresenta os dados obtidos no experimento da Seção 5.2. A Figura A.1 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a resolução de vídeo $720 \times 480 \text{px}$.

A Figura A.2 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a resolução de vídeo $1280 \times 720 \text{px}$.

A Figura A.3 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a resolução de vídeo $1920 \times 1080 \text{px}$.

Execução 1								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
720x480	256x144	160	39	1	0.00	16.70	20.90	4.20
720x480	854x480	6671	13	0.9	1.76	27.60	29.70	2.10
720x480	1366x768	6740	0	1.19	2.63	57.30	60.20	2.90
720x480	854x480	7239	33	1.11	2.62	87.70	90.70	3.00
720x480	854x480	7241	55	1.56	2.51	117.20	120.30	3.10
Média		5610	28	1.15	1.90	61.30	64.36	3.06
Execução 2								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
720x480	854x480	12871	105	1.00	2.30	16.40	19.10	2.70
720x480	426x240	732	0	0.99	2.29	28.40	31.20	2.80
720x480	854x480	3054	17	1.56	3.10	57.00	60.30	3.30
720x480	854x480	3040	0	1.55	2.88	87.20	90.70	3.50
720x480	854x480	3014	0	1.39	2.81	116.60	120.20	3.60
Média		4542.20	24.40	1.30	2.68	61.12	64.30	3.18
Execução 3								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
720x480	854x480	8129	27	1.83	3.01	11.20	14.40	3.20
720x480	854x480	10058	43	1.73	2.87	27.20	30.40	3.20
720x480	854x480	9528	66	1.77	2.81	57.00	60.30	3.30
720x480	854x480	9452	0	1.55	2.88	87.30	90.60	3.30
720x480	854x480	8637	0	1.64	2.70	117.30	120.60	3.30
Média		9160.80	27.20	1.70	2.85	60.00	63.26	3.26
Médias								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
720x479	854x479	7053.33	57.00	1.28	1.77	14.77	18.13	3.37
720x480	854x480	5820.33	18.67	1.21	2.31	27.73	30.43	2.70
720x480	854x480	6440.67	27.67	1.51	2.85	57.10	60.27	3.17
720x480	854x480	6577.00	11.00	1.40	2.79	87.40	90.67	3.27
720x480	854x480	6297.33	18.33	1.53	2.67	117.03	120.37	3.33
Média Geral		6437.73	26.53	1.38	2.48	60.81	63.97	3.17

Figura A.1: Resultados da execução de resolução de vídeo 720x480

Fonte: própria.

Execução 1								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay
1280x720	1280x720	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1280x720	1280x720	7040	90.00	1.00	0.00	36.70	41.10	4.40
1280x720	1280x720	13633	40.00	0.46	1.76	58.30	60.30	2.00
1280x720	1280x720	14406	7.00	0.38	1.59	88.20	90.30	2.10
1280x720	1280x720	14243	0.00	0.65	1.85	117.90	120.20	2.30
Media		12330.50	34.25	0.62	1.30	75.28	77.98	2.70
Execução 2								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay
1280x720	1280x720	12871	220.00	1.00	0.00	6.20	8.90	2.70
1280x720	1280x720	14905	0.00	1.37	2.39	27.60	30.40	2.80
1280x720	1280x720	14069	27.00	1.45	2.37	56.90	60.10	3.20
1280x720	1280x720	13955	49.00	1.84	2.77	87.30	90.50	3.20
1280x720	1280x720	13907	68.00	3.07	4.59	115.20	120.30	5.10
Media		13941.40	72.80	1.75	2.42		62.04	3.40
Execução 3								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay
1280x720	1280x720	10061	174.00	0.77	0.00	17.70	20.60	2.90
1280x720	1280x720	13901	91.00	1.53	2.38	29.40	32.20	2.80
1280x720	1280x720	12853	38.00	1.48	2.40	56.30	59.20	2.90
1280x720	1280x720	11772	18.00	1.47	2.56	86.90	90.40	3.50
1280x720	1280x720	11578	99.00	1.20	3.24	116.60	120.30	3.70
Media		12033.00	84.00	1.29	2.12		64.54	3.16
Médias								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay
1280x720	1280x720	7644.00	131.33	0.59	0.00	7.97	9.83	1.87
1280x720	1280x720	11948.67	60.33	1.30	1.59	31.23	34.57	3.33
1280x720	1280x720	13518.33	35.00	1.13	2.18	57.17	59.87	2.70
1280x720	1280x720	13377.67	24.67	1.23	2.31	87.47	90.40	2.93
1280x720	1280x720	13242.67	55.67	1.64	3.23	116.57	120.27	3.70
Media Geral		11946.27	61.40	1.18	1.86	60.08	62.99	2.91

Figura A.2: Resultados da execução de resolução de vídeo 1280x720

Fonte: própria.

Execução 1								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
1920x1080	256x144	459	38	2.75	3.01	20.00	29.90	9.90
1920x1080	1920x1080	7255	38	1.37	3.04	56.80	60.20	3.40
1920x1080	1920x1080	7532	0	1.05	2.99	87.40	90.80	3.40
1920x1080	1920x1080	7471	103	1.28	2.81	116.70	120.30	3.60
Média		5679.25	44.75	1.61	2.96	70.23	75.30	5.08
Execução 2								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
1920x1080	256x144	118	47	0.97	3.17	13.50	17.20	3.70
1920x1080	1920x1080	5632	27	3.15	4.38	25.90	30.80	4.90
1920x1080	1920x1080	12615	71	2.56	4.44	54.70	59.90	5.20
1920x1080	1920x1080	12544	1	2.33	4.37	85.40	90.60	5.20
1920x1080	1920x1080	12898	106	2.38	4.30	115.20	120.30	5.10
Média		8761.40	50.40	2.28	4.13	58.94	63.76	4.82
Execução 3								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
1920x1080	256x144	72	13	0.82	2.66	15.50	18.50	3.00
1920x1080	1920x1080	10013	45	2.01	3.38	26.70	30.40	3.70
1920x1080	1920x1080	15976	0	1.87	3.38	56.50	60.30	3.80
1920x1080	1920x1080	19949	63	2.19	3.34	86.50	90.30	3.80
1920x1080	1920x1080	20272	115	1.71	3.28	116.80	120.50	3.70
Média		13256.40	47.20	1.72	3.21	60.40	64.00	3.60
Médias								
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay
1920x1080	1920x1080	216.33	32.67	1.51	2.95	16.33	21.87	5.53
1920x1080	1920x1080	7633.33	36.67	2.18	3.60	36.47	40.47	4.00
1920x1080	1920x1080	12041.00	23.67	1.83	3.60	66.20	70.33	4.13
1920x1080	1920x1080	13321.33	55.67	1.93	3.51	96.20	100.40	4.20
1920x1080	1920x1080	12949.75	88.58	1.90	3.51	100.74	105.37	4.63
Média geral		9232.35	47.45	1.87	3.43	63.19	67.69	4.50

Figura A.3: Resultados da execução de resolução de vídeo 1920x1080

Fonte: própria.

Apendice B

DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE TAXA DE TELEMETRIA

Este apêndice apresenta os dados obtidos no experimento da Seção 5.3. A Figura B.1 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a taxa de telemetria a 0,1s.

Execução 1	
Body	Time(ms)
281	278
285	67
285	67
285	67
285	65
286	66

Execução 2	
Body	Time(ms)
281	518
285	67
285	76
285	68
285	74
286	64

Execução 3	
Body	Time(ms)
281	272
285	66
285	66
285	81
285	67
286	67

Médias	
Pacote (bytes)	Time(ms)
285	66.67
285	69.67
285	72.00
285	68.67
286	65.67
285.20	68.17

Figura B.1: Resultados da execução de taxa de telemetria 0,1s

Fonte: própria.

A Figura B.2 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a taxa de telemetria a 0,2s.

Execução 1	
Body	Time(ms)
281	395
285	99
285	97
285	79
285	88
285	76

Execução 2	
Body	Time(ms)
281	310
285	74
285	94
285	85
285	85
285	75

Execução 3	
Body	Time(ms)
281	320
285	75
285	87
285	74
285	105
285	108

Médias	
Pacote (bytes)	Time(ms)
285	82.67
285	92.67
285	79.33
285	92.67
285	86.33
285	86.73

Figura B.2: Resultados da execução de taxa de telemetria 0,2s

Fonte: própria.

A Figura B.3 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a taxa de telemetria com fluxo contínuo.

Execução 1	
Body	Time(ms)
286	65
286	65
286	74
286	67
286	65
286	66

Execução 2	
Body	Time(ms)
286	64
286	55
286	59
286	57
286	58
286	79

Execução 3	
Body	Time(ms)
286	65
286	91
286	75
286	67
286	77
286	76

Médias	
Pacote (bytes)	Time(ms)
286	64.67
286	70.33
286	69.33
286	63.67
286	66.67
286	73.67
286	68.06

Figura B.3: Resultados da execução de taxa de telemetria com fluxo contínuo

Fonte: própria.

Apendice C

DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE RESOLUÇÃO DE VÍDEO E TAXA DE TELEMETRIA

Este apêndice apresenta os dados obtidos no experimento da Seção 5.4. A Figura C.1 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a resolução de vídeo $720 \times 480 \text{px}$ e taxa de telemetria a 0,1s.

A Figura C.2 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a resolução de vídeo $1280 \times 720 \text{px}$ e taxa de telemetria a 0,1s.

A Figura C.3 mostra os resultados obtidos para as três execuções e as médias de todas as execuções para a resolução de vídeo $1920 \times 1080 \text{px}$ e taxa de telemetria a 0,1s.

Execução 1									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay	Telemetria
720x480	256x144	132	1	0.75	2.04	19.30	21.50	2.20	64
720x480	256x144	62	12	0.67	2.00	28.30	30.50	2.20	60
720x480	854x480	96	21	1.87	2.93	57.10	60.30	3.20	65.50
720x480	854x480	86	0	1.90	2.88	87.50	90.60	3.10	69.50
720x480	854x480	85	32	1.87	2.82	117.10	120.30	3.20	73
Média		92.20	13.20	1.41	2.53	61.86	64.64	2.78	66.40

Execução 2									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay	Telemetria
720x480	854x480	14502	2	0.84	2.37	17.80	20.40	2.60	69.50
720x480	854x480	10979	0	0.94	1.99	27.90	30.10	2.20	67.00
720x480	854x480	10947	47	0.81	1.93	58.00	60.30	2.30	68.50
720x480	854x480	10711	0	0.74	2.01	89.10	91.40	2.30	62.50
720x480	854x480	10775	51	1.07	1.85	118.30	120.40	2.10	65.50
Média		11582.80	20	0.88	2.03	62.22	64.52	2.30	66.60

Execução 3									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay	Telemetria
720x480	640x360	16104	59	0.93	2.02	20.50	22.80	2.30	66.00
720x480	854x480	10430	43	1.81	2.49	28.60	31.30	2.70	64.00
720x480	854x480	10301	0	1.68	2.51	57.60	60.40	2.80	53.00
720x480	854x480	9958	32	1.76	2.53	87.50	90.30	2.80	67.50
720x480	854x480	10041	19	1.43	2.55	117.50	120.30	2.80	61.00
Média		11366.80	30.60	1.52	2.42	62.34	65.02	2.68	62.30

Médias									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Vídeo	Time Print	Delay	Time(ms)
720x480	640x360	10246.00	20.67	0.84	2.14	19.20	21.57	2.37	66.50
720x480	854x480	7157.00	18.33	1.14	2.16	28.27	30.63	2.37	63.67
720x480	854x480	7114.67	22.67	1.45	2.46	57.57	60.33	2.77	62.33
720x480	854x480	6918.33	10.67	1.47	2.47	88.03	90.77	2.73	66.50
720x480	854x480	6967.00	34.00	1.46	2.41	117.63	120.33	2.70	66.50
Média Geral		7680.60	21.27	1.27	2.33	62.14	64.73	2.59	65.10

Figura C.1: Resultados da execução de taxa de telemetria a 0,1s e resolução de vídeo 720x480

Fonte: própria.

Execução 1									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	TeleVideo
1280x720	256x144	75	15	0.99	2.42	14.00	16.70	2.70	61.00
1280x720	1280x720	7398	106	2.18	3.17	27.00	30.50	3.50	72.00
1280x720	1280x720	10507	78	2.12	3.15	56.90	60.30	3.40	67.00
1280x720	1280x720	10913	86	2.03	3.17	87.20	90.60	3.40	65.50
1280x720	1280x720	11129	54	1.98	3.14	116.90	120.30	3.40	76.50
Média		8004.40	67.80	1.86	3.01	60.40	63.68	3.28	68.40

Execução 2									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	TeleVideo
1280x720	1280x720	6497	165	0.10	0.00	8.50	11.80	3.30	64.00
1280x720	1280x720	14038	27	2.11	3.09	27.10	30.40	3.30	66.00
1280x720	1280x720	14416	49	1.83	3.05	57.60	60.90	3.30	77.50
1280x720	1280x720	14521	42	2.18	2.96	87.20	90.50	3.30	79.50
1280x720	1280x720	14384	34	2.09	2.99	116.90	120.30	3.40	71.00
Média		12771.20	63.40	1.66	2.42	59.46	62.78	3.32	71.60

Execução 3									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	TeleVideo
1280x720	640x360	16104	22	0.83	2.05	19.60	21.90	2.30	73.00
1280x720	1280x720	10195	24	1.96	2.64	29.00	32.00	3.00	71.50
1280x720	1280x720	11690	38	1.98	2.63	57.10	60.00	2.90	69.00
1280x720	1280x720	12179	14	1.84	2.60	87.40	90.30	2.90	69.50
1280x720	1280x720	13812	32	1.66	2.70	117.60	120.60	3.00	69.00
Média		12796	26	1.65	2.52	62.14	64.96	2.82	70.40

Médias									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	Time(ms)
1280x720	640x360	7558.67	67.33	0.64	1.49	14.03	16.80	2.77	66.00
1280x720	1280x720	10543.67	52.33	2.08	2.97	27.70	30.97	3.27	69.83
1280x720	1280x720	12204.33	55.00	1.98	2.94	57.20	60.40	3.20	71.17
1280x720	1280x720	12537.67	47.33	2.02	2.91	87.27	90.47	3.20	71.50
1280x720	1280x720	13108.33	40.00	1.91	2.94	117.13	120.40	3.27	72.17
Média geral		11190.53	52.40	1.73	2.65	60.67	63.81	3.14	70.13

Figura C.2: Resultados da execução de taxa de telemetria a 0,1s e resolução de vídeo 1280x720

Fonte: própria.

Execução 1									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	Telemetria
1920x1080	854x480	8693	121	1.94	3.02	19.00	22.40	3.40	71.50
1920x1080	1920x1080	6356	27	0.84	2.59	32.00	35.00	3.00	68.50
1920x1080	1920x1080	13649	80	0.86	2.44	57.30	60.30	3.00	55.50
1920x1080	1920x1080	15811	58	0.94	2.49	87.40	90.40	3.00	67.50
1920x1080	1920x1080	17209	9	0.82	2.63	117.30	120.20	2.90	75.50
Média		12343.60	59	1.08	2.63	62.60	65.66	3.06	67.70
Execução 2									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	Telemetria
1920x1080	256x144	62	13	1.00	0.00	19.00	22.40	3.40	67.00
1920x1080	256x144	1601	157	0.00	4.07	30.40	35.60	5.20	69.50
1920x1080	1920x1080	13584	95	1.68	3.07	56.90	60.40	3.50	71.50
1920x1080	1920x1080	13802	60	1.51	2.99	86.90	90.50	3.60	77.00
1920x1080	1920x1080	14470	9	2.29	3.45	116.50	120.30	3.80	79.00
Média		8703.80	66.80	1.30	2.72	61.94	65.84	3.90	72.80
Execução 3									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	Telemetria
1920x1080	1920x1080	16122	260	0.62	2.67	13.20	16.30	3.10	65.00
1920x1080	640x360	8259	26	2.99	4.04	26.80	31.30	4.50	64.50
1920x1080	1920x1080	12141	131	2.86	4.05	55.80	60.30	4.50	68.50
1920x1080	1920x1080	14816	110	2.21	4.12	85.80	90.30	4.50	70.00
1920x1080	1920x1080	16742	66	2.40	3.99	115.80	120.30	4.50	68.50
Média		13616	118.60	2.22	3.77	59.48	63.70	4.22	67.30
Médias									
Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	Time(ms)
1920x1080	1920x1080	12407.50	190.50	1.28	2.85	16.10	19.35	3.25	68.25
1920x1080	1920x1081	4892.33	22.00	1.61	2.21	25.93	29.57	3.63	66.67
1920x1080	1920x1080	9130.33	122.67	1.24	3.52	47.83	52.07	4.23	64.50
1920x1080	1920x1080	14737.00	87.67	1.61	3.23	76.70	80.37	3.67	69.67
1920x1080	1920x1080	15917.67	45.00	1.58	3.20	106.67	110.33	3.67	73.67
Média Geral		11416.97	93.57	1.46	3.00	54.65	58.34	3.69	68.55

Figura C.3: Resultados da execução de taxa de telemetria a 0,1s e resolução de vídeo 1920x1080

Fonte: própria.

Apendice D

DADOS DA AVALIAÇÃO SOBRE ENVIO DE DADOS E CONSUMO DE BANDA

Este apêndice apresenta os dados obtidos no experimento da Seção 5.5. A Figura D.1 mostra os resultados obtidos para a avaliação de consumo de banda e transmissão.

Resolução	Current	C. Speed	N. Activity	Buffer Health	Live Latency	Time Video	Time Print	Delay	Banda	Time(ms)
1280x720	640x360	2190	37	2.80	3.39	15.40	19.10	3.70	390.60	66
1280x720	1280x720	4219	37	2.69	3.41	26.80	30.50	3.70	390.60	73
1280x720	1280x720	12164	49	2.61	3.27	56.50	60.30	3.80	390.60	62
1280x720	1280x720	12624	29	2.82	3.36	86.70	90.40	3.70	439.50	61
1280x720	1280x720	13162	38	2.73	3.37	116.70	120.40	3.70	390.60	63
1280x720	1280x720	13373	54	2.83	3.38	147.00	150.70	3.70	488.30	52
1280x720	1280x720	13473	59	2.41	3.15	176.80	180.30	3.50	488.30	62
1280x720	1280x720	6399	0	0.53	2.38	210.00	212.80	2.80	488.30	70
1280x720	1280x720	6435	39	1.12	2.36	237.40	240.30	2.90	976.60	65
1280x720	1280x720	6324	91	1.40	2.24	267.60	270.50	2.90	585.90	56
1280x720	1280x720	6312	0	1.21	2.29	297.60	300.50	2.90	585.90	55
1280x720	1280x720	6185	60	1.44	2.24	327.50	330.40	2.90	781.20	61
1280x720	1280x720	6761	99	3.62	4.25	355.40	360.30	4.90	683.60	59
1280x720	1280x720	7378	39	1.42	2.18	387.30	390.30	3.00	976.60	65
1280x720	1280x720	6045	44	2.02	3.34	416.30	420.30	4.00	488.30	70
1280x720	1280x720	6010	36	1.99	3.33	446.50	450.50	4.00	683.60	60
1280x720	1280x720	9155	23	2.27	3.44	476.20	480.40	4.20	683.60	84
1280x720	1280x720	9168	0	2.51	3.43	506.20	510.30	4.10	439.50	67
1280x720	1280x720	9830	85	2.36	3.69	535.40	540.10	4.70	683.60	62
1280x720	1280x720	10996	40	2.67	3.54	566.20	570.30	4.10	683.60	65
1280x720	1280x720	5852	111	1.72	3.72	596.40	600.50	4.10	585.90	88
Medias		8288.33	46.19	2.15	3.13	297.71	301.39	3.68	585.94	65.05

Figura D.1: Resultados da execução da avaliação de consumo de banda

Fonte: própria.