

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

THIAGO ALBERTO RAMOS GABRIEL

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE BAIXO
CUSTO DE VEÍCULO TERRESTRE NÃO TRIPULADO**

Rio de Janeiro

2014

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

THIAGO ALBERTO RAMOS GABRIEL

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE BAIXO
CUSTO DE VEÍCULO TERRESTRE NÃO TRIPULADO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica.

Orientador: Major Jorge Audrin Morgado de Gois –
Dr. Ing

Rio de Janeiro

2014

c2014

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

São permitidas a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e do orientador.

333.3

C331v

Gabriel, Thiago Alberto Ramos

Desenvolvimento de baixo custo de um veículo terrestre não tripulado. Thiago Alberto Ramos Gabriel. Orientado por Jorge Audrin Morgado de Gois – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2014.

90 p.:Il.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.

1. Engenharia Mecânica. 2. Unidade de Medida Inercial. 3. Sistema de Posicionamento Global. 4. Sistema embarcado. 5. Veículo autônomo.

I – Gois, Jorge Audrin Morgado de, II – Título. III – Instituto Militar de Engenharia

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

THIAGO ALBERTO RAMOS GABRIEL

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE BAIXO
CUSTO DE VEÍCULO TERRESTRE NÃO TRIPULADO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Mecânica.

Orientador: Jorge Audrin Morgado de Gois – Dr.-Ing.

Aprovada em 23 de setembro de 2014 pela seguinte Banca Examinadora:

Profº Jorge Audrin Morgado de Gois, Dr.-Ing, do IME

—

Profº Aldélio Bueno Caldeira, D. Sc. – IME

Profª Sandra Regina Freitas da Silva Morgado de Gois, D. Sc - IME

Rio de Janeiro

2014

“...mas uma coisa faço, e é que esquecendo – me das coisas que para trás ficam e avançando para as que estão diante de mim, prossigo para o alvo, pelo prêmio da soberana vocação de Deus em Cristo Jesus.”

(Filipenses 4.13 - 14)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me fortalecido em todos os momentos, pois sem Sua presença não conseguiria seguir em frente para alcançar meus objetivos.

Ao meu orientador Prof^o Jorge Audrin Morgado de Gois não só pela imensa contribuição e desenvolvimento desta pesquisa, confiança, amizade e paciência, mas também pelo enorme apoio dado em momentos difíceis pela minha passagem no IME. Ao Prof^o Aldélio Bueno Caldeira e Prof^a Sandra Regina, membros da banca examinadora por aceitarem meu convite e fazer parte da minha banca de defesa.

Aos meus pais por me darem toda formação intelectual e moral.

A minha esposa que amo muito e foi muito compreensiva e presente nos momentos mais difíceis e a minha filha Beatriz, companheira nas madrugadas.

A todos os meus familiares e amigos que sempre torceram por mim.

Aos Rev. Pedro e Ray Tavares e Carlos e Adriana Leonardelli, que sempre me ensinaram a não desistir, a ser perseverante ousado e determinado.

Ao Prof^o Denis Wolf e Prof^a Karla que sempre me ajudaram em todas as dúvidas sobre inteligência artificial e GPS e ao Igor Lins em me auxiliar na programação e configuração do software da Ardupilot.

A Tatiana Di Cabral, a Edna Marins, Everton Portela, Eliésio Silva (in memória), Paulo e todos os amigos da ETRR que tenho a oportunidade de conhecer e conviver, que também tiveram uma contribuição na realização deste trabalho.

Ao Ronan Paixão por me auxiliar na comunicação serial com sistema embarcado. Aos professores de mestrado Arnaldo Ferreira e Cap. Simões, com os quais obtive aulas e adquiri um vasto conhecimento.

Aos amigos Wallace Machado, Pedro Ponte e Paulo César que conheci durante os anos de mestrado no IME, compartilhando momentos bons e ruins.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE SIGLAS.....	12
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
1.2 - OBJETIVOS	17
1.3 – DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 - Sistema de posicionamento global (GPS)	18
2.2 - Pseudodistância.....	23
2.3 - Dificuldades na comunicação do GPS.....	24
2.4 – Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS).....	24
2.5 - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS RBMC).....	25
2.6 - Sistema de navegação inercial (INS).....	26
2.7 - Rede de Transporte de RTCM via protocolo de internet (NTRIP)	26
3. PLATAFORMA MÓVEL.....	28
3.1 – Automodelo Duratrax Firehammer	28
4. SISTEMA EMBARCADO	30
4.1 – Placa Ardupilot (Arduino)	30
4.1.1 – Acelerômetros	32
4.1.2 – Giroscópios	35
4.1.3 – Magnetômetros	37
4.2 – GPS U-blox LEA-6H.....	39
4.3 – Rede ZigBee	42

5. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	45
5.1 – O que é o protocolo de comunicação.....	45
5.2 – Protocolo de comunicação para GPS	45
5.3 – Protocolo Associação Nacional da Marinha Eletrônica (NMEA)	46
5.4 – Protocolo RTCM SC-104	47
5.5 – Protocolo binário U-blox (UBX)	51
6. PROGRAMAS	51
6.1 – Mission Planner.....	51
6.2 – X - CTU	54
6.3 – BKG NTRIP cliente	56
7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	59
7.1 – Mission Planner.....	60
7.2 – Dados coletados pelo correção.....	69
8. CONCLUSÃO	72
8.1 – Sugestões futuras da pesquisa	73
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 1.1 - Instrumentalização DARPA Challenge	13
FIG. 1.2 - Breve cronologia de carros autônomos	13
FIG. 2.1 - Constelação de satélites para cobertura global.....	19
FIG. 2.2 - Estrutura básica do sinal GPS.....	21
FIG. 2.3 - Segmentos do GPS.....	22
FIG. 2.4 - Componentes de um receptor GPS.....	22
FIG. 2.5 - Princípio básico do DGPS	25
FIG. 2.6 - Estações RBCM - IBGE	26
FIG. 2.7 - Componentes do NTRIP	27
FIG. 3.1 - Automodelo Duratrax Firehammer	28
FIG. 3.2 - Ciclo motor de 2 tempos.....	29
FIG. 4.1 - Modelos do Arduino: uno, Duemilanove e Mega	31
FIG. 4.2 - Ardupilot APM 2.6.....	31
FIG. 4.3 - Família do Ardupilot.....	32
FIG. 4.4 - Diagrama de blocos de um acelerômetro.....	33
FIG. 4.5 - Estrutura de um acelerômetro capacitivo e seu funcionamento	34
FIG. 4.6 - Giroscópio básico	35
FIG. 4.7 - Giroscópio MEMS com estrutura vibrante	36
FIG. 4.8 - MPU - 6000	36
FIG. 4.9 - Diagrama do sistema MPU-6000/6050™	37
FIG. 4.10 – Magnetômetro HMC5883L	39
FIG. 4.11 – Diagrama de bloco do funcionamento do GPS.....	40
FIG. 4.12 – GPS U-Blox LEA 6H 3DR	40
FIG. 4.13 – Esquemático de ligação.....	41
FIG. 4.14 – Módulo XBee – PRO™	43
FIG. 4.15 – Quadro de dados da API	45
FIG. 4.15 – Quadro de dados da API	45
FIG. 5.1 – Palavras de cada quadro da mensagem RTCM 2.3.....	49
FIG. 6.1 - Mission Planner	52
FIG. 6.2 - Estação terrestre	53
FIG. 6.3 - Definições do PC.....	55

FIG. 6.4 - Teste de conexão	55
FIG. 6.5 - Modem Configuration	56
FIG. 6.6 - Fluxograma BNC conectado a um receptor GNSS para PPP	57
FIG. 6.7 - Janela principal do BNC	58
FIG. 6.8 - Configuração BNC para converter fluxos para RINEX	59
FIG. 6.9 - Fluxograma do BNC combinando fluxos de correção de Broadcast	59
FIG. 7.1 - Tela principal do Mission Planner.....	60
FIG. 7.2 - Conexão do Mission Planner com a Ardupilot.....	61
FIG. 7.3 - Posicionamento do veículo.....	61
FIG. 7.4 - Trajetória triangular realizada pelo veículo	62
FIG. 7.5 - Trajetória trapezoidal realizada pelo veículo	62
FIG. 7.6 - Vibração apresentada ao acelerar.....	64
FIG. 7.7 - Plataforma projetada para o sistema embarcado.....	65
FIG. 7.8 - Testes na Praça General Tibúrcio.....	66
FIG. 7.9 - Vista terrestre do local dos testes.....	68
FIG. 7.10 - Fluxo dos dados	69
FIG. 7.11 - Tela principal do BNC.....	70
FIG. 7.12 - Selecionando as estações do servidor do IBGE	71
FIG. 7.13 - Configuração da porta serial	71
FIG. 7.14 - Mensagens tratadas	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Descrição dos pinos dos transceptores XBee-PRO™	44
TABELA 2 – Principais diferenças das versões do protocolo RTCM.....	48
TABELA 3 – Tipos de mensagens RTCM versão 2.3.....	48
TABELA 4 – Informações do cabeçalho das mensagens RTCM 2.3	49
TABELA 5 – Indicador da saúde da estação	50

LISTA DE SIGLAS

A – *GPS* – Sistema de Posicionamento Global Assistido (Assisted Global Positioning System)

APM – ArduPilotMega

BKG – Agência Federal de cartografia e Geodésia (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie)

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

DARPA – Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (Defense Advanced Research Projects Agency)

DoD- Departamento de Defesa (Department Of Defense)

DGPS – Sistema de Posicionamento Global Diferencial (Differential Global Positioning System)

EDGE – Taxas de dados melhoradas para evolução GSM (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

EEPROM – Memória somente de leitura programada para apagar eletricamente (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory)

EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

EUA – Estados Unidos da América

EUREF – Quadro de Referência Regional Sub-Comissão para a Europa

FSM – Máquinas de Estados Finitos (Finite State Machines)

GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite (Global Navigation Satellite System)

GPRS – General Packet Radio Services

GPS – Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System)

GSM – Sistema Global para Comunicações Móveis (Global System for Mobile Communications)

HIL – Hardware do circuito (Hardware in the loop)

HRI – Integração homem - robô (Human Robot of integration)

HTTP – Protocolo de Transferência de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol)

IAG – Associação Internacional de Geodésia (International Association of Geodesy)

IEEE – Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (Institute of Electrical and Electronic Engineers)

IGS – Serviço Internacional de GNSS (International GNSS Service)

IME – Instituto Militar de Engenharia

INS – Sistema de Navegação Inercial (Inertial Navigation System)

LIDAR – Variação e Detecção de Luz (Light Detection and Ranging)

MEMS – Sistemas Microeletromecânicos (Microelectromechanical Systems)

NAVSTAR – Navegação por Satélite com Variação de Tempo (Navigation Satellite with Time And Ranging)

NTRIP – Transporte de Rede da RBMC via portocolo de internet (Network Transport of RBMC via Internet Protocol)

PC – Computador Pessoal (Personal Computer)

PCB – Placa de Circuito Impresso(Printed Circuit Board)

PDA – Assistente Pessoal Digital (Personal Digital Assistant)

PPP – Posicionamento de Ponto Preciso

RBCM – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RNA – Rede Neural Artificial

RTCM – Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos (Radio Technical Commission for Maritime Services)

SA – Disponibilidade Seletiva (Selective Availability)

SCL – Relógio Serial (Serial Clock)

SDA – Dados serial (Serial Data)

SIG – Sistema de Informação Geográfica (Geographic Information System)

TCP/IP – Protocolo de Controle de Transmissão / Protocolo de Internet (Transmission Control Protocol / Internet Protocol)

UAV – Veículo Aéreo Não Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle)

UMI – Unidade de Medida Inercial

UMTS – Sistema de Telecomunicação Móvel Universal (Universal Mobile Telecommunication System)

UNICAMP – Universidade de Campinas

USAR – Busca e Salvamento Urbano (Urban Search and Rescue)

VTNT – Veículo Terrestre Não Tripulado

WIMAX – Acesso Mundial de Interoperabilidade de Microondas (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

1. INTRODUÇÃO

Veículo terrestre autônomo é uma importante área da plataforma robótica móvel que apresenta grandes desafios e vem crescendo em sua grande importância. Pode-se citar exemplos, como as competições promovidas pela DARPA – Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (Defense Advanced Research Projects Agency), nos EUA [JFR, 2008 a,b,c], e os Robôs Móveis Autônomos – RMAs, e Veículos Autônomos Inteligentes [Jung, 2005], que apresentam como características fundamentais a capacidade de locomoção e de operação de modo semi autônomo ou completamente autônomo.

Para que alcance os maiores níveis de autonomia, será preciso a integração com outros aspectos considerados de maior importância, como: sensores que possibilitem a “ler” o ambiente onde ele atua; atuadores e motores que produzam ações, tais como o deslocamento do robô no ambiente; e inteligência artificial, dando – lhe capacidade de lidar com as mais diversas situações, tarefas por mais complexas que sejam.

A CAPES, em parceria com instituições como Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e o Instituto Militar de Engenharia (IME), tem a proposta de implantar uma rede de cooperação acadêmica com o objetivo de desenvolver uma plataforma veicular autônoma, semelhante ao que foi desenvolvido no DARPA Urban Challenge. Neste projeto, será desenvolvido um sistema de monitoramento contínuo do sistema GPS – Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System) em tempo real, atenuando as interferências e fazendo com que o veículo tenha autonomia de tráfego ao longo do seu percurso.

No projeto será utilizado o sistema embarcado, que são dispositivos dotados de inteligência artificial computacional, capaz de processar informações ou aprender conhecimento por meio de técnicas especiais, porém dedicados ao desenvolvimento de uma única atividade ou um grupo limitado de atividades. Estes dispositivos frequentemente são utilizados para tarefas de monitoramento e controle de equipamentos, tais como sensores, motores e chaves. [AXELSON, 2003]

A internet tem sido bastante difundida entre usuários, quando se trata de troca de informações via rede sem fio, onde baseados na troca de pacotes de dados e no compartilhamento de recursos computacionais como impressoras. Em muitas ocasiões é usada em conjunto com um provedor de internet, compartilhando-a entre seus usuários [KUROSE; ROSS, 2006]. O uso de tecnologias sem fio destaca-se como a opção mais recomendável e nesse meio o padrão ZigBee aparece como solução mais recente e promissora, possibilitando grande deslocamento e confiabilidade para as transmissões a serem executadas. [MESSIAS, 2008]

Os robôs móveis receberam uma grande atenção da mídia e do público em geral a partir de aplicações de grande sucesso, como exemplo temos o caso dos veículos terrestres não tripulados (VTNT) enviados a Marte (Sojourner, Spirit e Opportunity rovers) [Bajracharya, et al. 2008] e dos desafios do DARPA, o Grand Challenge de 2005 e o Urban Challenge de 2007 [Thrun 2006, Urmson 2008, Gibbs 2006].

A história dos carros autônomos teve início em 1977, no Japão, onde cientistas do Tsukuba Mechanical Engineering Lab construíram um carro que, seguindo marcas brancas na pista, alcançava 30 km/h [Gingichashvili, 2007]. Durante a década de 90 iniciou-se pesquisas nessa área, em diversas universidades americanas, asiáticas e européias, destacando-se a Carnegie Mellon University, a University of Michigan e a Stanford University.

Visando ao desenvolvimento de um veículo robótico autônomo capaz de atravessar um terreno inabitável, a Organização Central de Pesquisa e Desenvolvimento do Departamento dos Estados Unidos (DARPA) anunciou o primeiro desafio DARPA (DARPA Grand Challenge).

A proposta era de realizar uma grande corrida pelo deserto americano, atravessando grandes distâncias e operando de forma completamente autônoma, num percurso pré-definido em menos de 10 horas. Cinco dos veículos autônomos que participaram da competição completaram o percurso, sendo que quatro deles em menos de 10 horas. O vencedor deste rally de 2005 foi o Stanley da equipe de Stanford [Thrun 2006]. Ele está equipado com hardware mais recente de forma a conseguir navegar sozinho em meio ao tráfego, com câmeras de vídeo, sensores de radar, laser para detectar a distância de outros veículos, GPS, totalizando 16 sensores (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Instrumentalização DARPA Challenge

Fonte: Tartan Racing

Desde 1970, pesquisas acerca de veículos autônomos vem sendo desenvolvidas, conforme podemos verificar a figura 1.2. O desenvolvimento desta tecnologia, num futuro próximo, irá permitir que se poupem milhares de vidas em acidentes de trânsito, poupar o ambiente com a redução da emissão de carbono para a atmosfera e permitir que os usuários desses veículos autônomos ocupem o seu tempo de forma mais útil.

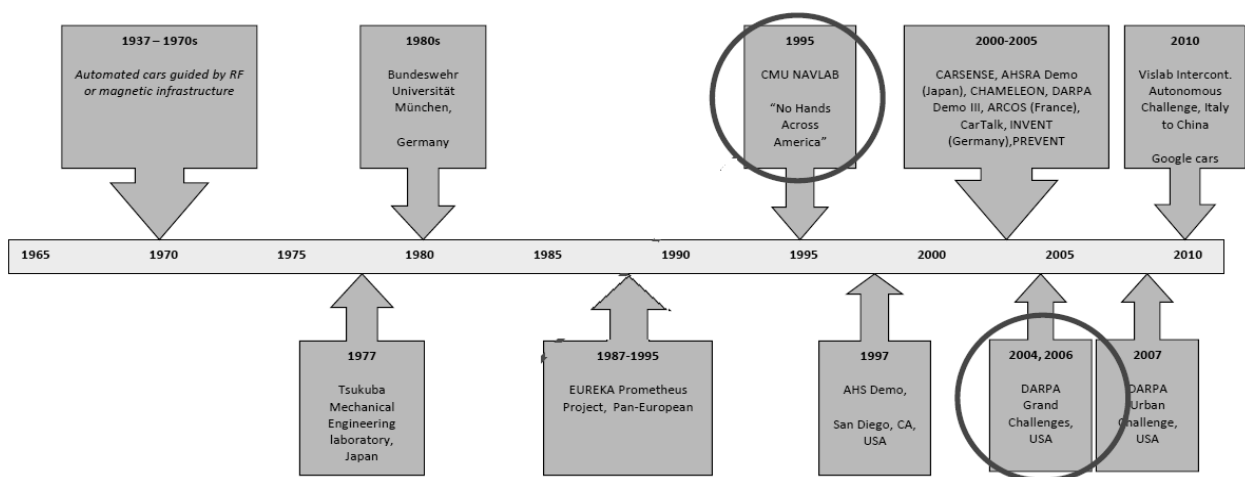


Figura 1.2 – Breve cronologia de carros autônomos

1.1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A navegação autônoma de veículos terrestres não tripulados (VTNT) em ambientes considerados desconhecidos vem sendo pesquisado por décadas e ainda apresenta um grande potencial em pesquisas científicas.

Veículos autônomos possuem um grande número de aplicações possíveis com fins científicos, militares e comerciais [JIN e ZHAN, 2007]. A localização é uma questão crítica em robótica móvel. Se um robô não sabe onde ele está, não pode efetivamente planejar os movimentos, localizar objetos ou atingir metas [OLSON, 2000].

A seguir é realizado uma revisão bibliográfica de trabalhos de veículos terrestres não tripulados, onde é observado a precisão de localização, o sensoriamento do veículo e a correção de dados enviados ao GPS.

Veículos robóticos no geral são operados remotamente. Porém, esforços de pesquisas atuais buscam agregar capacidades sensoriais, de percepção em relação ao veículo e o meio em que se encontra, e de tomada de decisão, visando o estabelecimento de estratégias de operação substancialmente autônomas [BUENO, et al., 2009]. Robôs móveis autônomos geralmente executam três tarefas principais: localização, mapeamento e navegação [WOLF, et al., 2009]. A tarefa de localização está relacionada com a estimativa da posição do robô num ambiente conhecido, usando os dados dos sensores. O mapeamento é responsável pela criação de um modelo para representar o ambiente com base nos dados de localização e sensores do robô.

Um sistema autônomo tem que cumprir os objetivos da missão de alto nível que são exigidos por um operador humano. O sistema de decisão envolve diferentes tipos de conhecimentos [FUALDES e BARROUIL, 1993].

Aplicação militar está em constante expansão da utilização de VTNT em combates que envolvem, no geral, ambientes complexos. É preciso melhorar ou validar algoritmos de roteamento existentes, que são usados para prever a mobilidade do veículo [MASON, et al., 2012].

Em [SALES, et al., 2010], a aplicação de técnicas em navegação autônoma tem se baseado em visão utilizando redes neurais artificiais (RNA) e máquinas de estados finitos (FSM – Finite State Machines). Essas aplicações tem um papel

importante na robótica científica internacional, onde uma das características mais desejáveis é a capacidade de navegação autônoma.

O USAR (Urban Search and Rescue – Busca e Salvamento Urbano), um robô autônomo que compreende a localização, tratamento e eventual resgate de pessoas presas dentro de espaços confinados (Federal Emergency Management Agency, 2000), onde tem se como exemplo de sua aplicação as buscas em meio aos destroços do World Trade Center e aos edifícios danificados pelo furacão Katrina [JONES, et al., 2011].

Tem sido amplamente utilizados sensores ultrassônicos em VTNT, devido sua relação custo x benefício e confiabilidade. Eles tem sido amplamente utilizados para a detecção de obstáculos para evitar as colisões e planejamento de trajetória [LIN, et al., 1992].

Em [HASNAN, et al., 2012], é realizado uma abordagem alternativa para análise de desempenho e monitoramento de VTNT, através de uma simulação Hardware in the loop (HIL). Essa simulação foi utilizada entre indústrias automotivas, controle de tráfego e muitas outras indústrias e tornou-se uma nova tendências em sistemas embarcados, devido fornecer o fator vantajoso para quem usá-lo, o fator como custo, segurança, duração e viabilidade, que deve ser procurada pela maioria das indústrias.

Em [PARK, et al., 2012], é considerado um problema de encontrar um caminho de um veículo de combate não tripulado que patrulha uma determinada área, visitando um determinado conjunto de pontos de controle com o objetivo de minimizar possibilidades de infiltração do inimigo.

Em [Stentz, 1994], o planejamento de caminhos de VTNT, é desenvolvido um algoritmo em que um caminho inicial é determinado com base em informações conhecidas e é modificado utilizando dados atualizados.

O ambiente a ser desprovido de obstáculos é assumido inicialmente e move o robô diretamente em direção à meta. Se um obstáculo impede o caminho, o robô se move em torno do perímetro até o ponto sobre o obstáculo mais próximo onde o objetivo é encontrado [Lumelski, et al., 1986].

Em [Wolf, 2013], apresenta o desenvolvimento de duas plataformas inteligentes, com módulos do sistema de controle inteligente, permitindo que os

robôs móveis e veículos possam navegar de forma autônoma em ambientes urbanos controlados.

Os VTNT's, que são os veículos em uso teleoperados, permite que as pessoas trabalhem em ambientes de risco, sem o risco de lesões corporais, a fim de identificar as vítimas e estruturais anomalias, bem como conduzir e coordenar os esforços de resgate em grande escala [BURKE, 2004].

Em [FONG, et al., 2001], um veículo teleoperado significa simplesmente a condução de um veículo a uma certa distância. É utilizado para ambientes de difícil alcance, para reduzir os custos da missão e para evitar a perda da vida. Na teleoperação o veículo exige uma navegação confiável, onde são implantados em ambientes desconhecidos ou não estruturados, e requer eficiente geração de comandos de movimentos.

Robótica de resgate tem sido sugerido por um estudo DARPA recente como um domínio de aplicação para a pesquisa em integração homem-robô (HRI). O objetivo é de reduzir o fluxo de trabalho que identificam as principais tarefas, ações e papéis em busca da robótica assistida e um modelo de fluxo de informação geral de como os dados do robô é fundida por vários membros da equipe em informação e conhecimento [MURPHY, et al., 2004].

VTNT em ambientes civis são cada vez mais utilizados para avaliações de infraestrutura e missões de busca em cenários pós-desastre, como depois de terremotos. Devido a infraestrutura instável do edifício, detritos e espaços restritos em alguns ambientes, terá dificuldade em entrar em espaços construídos para procurar por sobreviventes ou para avaliar os danos de infraestrutura [HELTON, et al., 2013].

O sensor LIDAR (Light Detection and Ranging – Variação e Detecção da Luz) é uma tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da luz refletida de modo a obter a distância e outra informação a respeito de um determinado objeto distante. Em [BROWNING, 2012], aborda técnicas que capta e pode reproduzir as interações estatísticas do LIDAR com o terreno, pois a simulação com o LIDAR deixa muito a desejar, especialmente as cenas com vegetação.

A técnica apresentada em [HOLTZMAN, 2007], é um modelo de “Dispersão de Ponto”, onde se tem um tratamento matematicamente rigoroso do processo estocástico descrito pelo sistema fechado consistindo de radar do transmissor e

receptor, as propriedades dielétricas do solo e à orientação geométrica das características, e o suporte de imagem de radar.

Um veículo autônomo necessita saber a orientação e a velocidade em cada momento, de forma a poder planejar a trajetória a seguir em direção a um objetivo. Sistemas de Navegação Inercial (Inertial Navigation Systems – INS) são compostos por girômetros, acelerômetros e bússolas magnéticas, para medir velocidade angular e aceleração linear [SANTOS, 2009].

Com o avanço de tecnologias pode-se ter uma grande evolução em dispositivos de comunicação móveis e tecnologias de comunicação. Uma dessas evoluções foi o sistema de monitoramento baseado em Sistema de Posicionamento Global (GPS) e Sistema de Informação Geográfica (SIG). O sistema de navegação baseado em satélites fornece informações de localização e tempo para qualquer pessoa com um receptor GPS [Mihai, et al., 2010]. Com essas tecnologias, é possível obter vários tipos de informações em tempo real, além da posição e do tempo.

A utilização de GPS tornou-se indispensável atualmente. As aplicações são diversas: desde militar e segurança nacional até segurança pessoal e conforto [Manoharan, 2009].

Os receptores GPS são utilizados com o propósito de fornecer a posição do veículo e dados de velocidade. Porém, não é possível fornecer as informações de posicionamento de alta qualidade por causa dos efeitos atmosféricos, erros na medição do receptor e erros de multipath [Binjammaz, et al. 2013].

Há dificuldades encontradas no funcionamento do GPS, como o bloqueio do sinal de prédios, árvores, entre outras. Isso levou o desenvolvimento, com os recentes avanços tecnológicos de localização, da tecnologia do A-GPS (GPS Assistido), que pode operar satisfatoriamente em ambientes desafiadores. O A-GPS é fornecido utilizando a tecnologia de posicionamento wireless e localização do endereço IP [Sundaramurthy, et al. 2011].

1.2 - OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver sistemas de navegação autônoma e assistida para veículos terrestres, utilizando a rede NTRIP para transmissão de correções via rede sem fio. Este trabalho visa contribuir de forma significativa com o desenvolvimento científico e tecnológico nacional, fazendo com que se tenha programas e hardwares de baixo custo disponível para esse tipo de posicionamento.

1.3 – DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho é desenvolvido utilizando os programas: Mission Planner 2.43, o X-CTU e o BKG NTRIP client. O capítulo 1 é apresentado uma introdução, na qual aborda o problema a ser desenvolvido e o objetivo, e uma revisão bibliográfica que relata um estudo do assunto de veículos terrestres não tripulados abordados por diversos autores.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, processo para o qual é desenvolvido o sistema de controle proposto.

O capítulo 3 descreve a plataforma móvel, com as características do automodelo, seu centro de gravidade.

O capítulo 4 descreve o sistema embarcado, a integração do sistema de controle e a comunicação sem fio para correção de dados. Descreve o funcionamento dos programas, a configuração e validação do controle de direção, em um experimento realizado com o veículo operando autonomamente.

O capítulo 5 trata dos protocolos de comunicação, seu funcionamento e o formato de leitura.

O capítulo 6 apresenta os experimentos realizados ao longo desse trabalho, os resultados encontrados, as motivações e a influência de cada resultado na sequência deste trabalho.

O capítulo 7 apresenta as conclusões ao final do trabalho, incluindo sugestões de pesquisas futuras.

O capítulo 8 apresenta as conclusões ao final do trabalho, incluindo sugestões de pesquisas futuras.

O capítulo 9 apresenta as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Sistema de posicionamento global (GPS)

O sistema de posicionamento global, conhecido por GPS (*Global Positioning System* – GPS) ou NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite with Time And Ranging), é um sistema de rádio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD-Department Of Defense), visando ser o principal sistema de navegação do exército americano (CEUB). A figura 2.1 apresenta, de forma simplificada, a constelação dos satélites GPS. Essa constelação de satélites forma o segmento espacial do GPS, buscando o envio de sinais para toda a superfície terrestre [Lima, 2006].

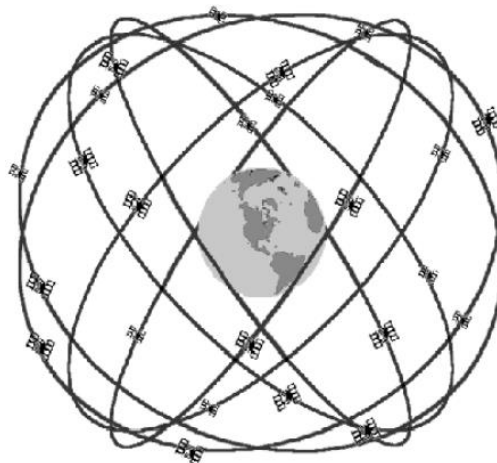


Figura 2.1 – Constelação de satélites para cobertura global

Fonte: Dana, 1998

A concepção do sistema permite que o usuário, em qualquer lugar da superfície terrestre, tenha a sua disposição, no mínimo, quatro satélites que podem ser rastreados, permitindo, este número de satélites, o posicionamento em tempo real. O GPS utiliza essas “estrelas artificiais” como pontos de referência para calcular as posições precisas para uma questão de metros. Pode-se dizer que, em certo sentido, é como chamar cada metro quadrado do planeta um único endereço.

Os receptores GPS foram miniaturizados para pequenos circuitos integrados, tornando-se assim muito econômicos.

Cada satélite GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2. Geradas a partir da frequência fundamental de 10,23 MHz, a qual é multiplicada por 154 e 120, respectivamente [MONICO, 2000]. Portanto, têm – se as frequências (L) e os comprimentos de onda (λ) L1 e L2 são:

$$L1 = 1575,42 \text{ MHz e } \lambda \cong 19 \text{ cm}$$

$$L2 = 1227,60 \text{ MHz e } \lambda \cong 24 \text{ cm}$$

Com essas duas frequências geradas simultaneamente, permite ao usuário corrigir grande parte dos efeitos em razão da refração ionosférica.

Os códigos PRN – Ruído Pseudo Aleatório (Pseudo Random Noise) são modulados sobre estas duas portadoras. Um PRN é uma sequência binária (0 e 1 ou +1 e -1) que parece ter característica aleatória. Essa técnica permite realizar medidas de distâncias a partir da medida do tempo de propagação da modulação [LEICK, 1995].

O código C/A – Fácil Aquisição (Coarse Acquisition) com comprimento de onda por volta de 300 m é transmitido a uma razão de 1023 MHz e modulado somente sobre a onda portadora L1. O período deste código é de 1 milissegundo.

É neste código que os usuários civis obtêm as pseudo – distâncias que permitem obter a exatidão estipulada. O código P – Preciso ou Protegido (Precise or Protected) têm sido reservado para uso dos militares americanos e outros usuários autorizados. Seu comprimento de onda é da ordem de 30 m e é transmitido na razão de 10.23 MHz (uma sequência de 10,23 milhões de dígitos binários por segundo), modulado nas portadoras L1 e L2, com período de 266 dias. Cada satélite contém o correspondente a 7 dias deste código, ou seja, uma semana das 38 possíveis. Desta forma, todos os satélites transmitem na mesma frequência e podem ser identificados pela sua (única) semana correspondente.

Na figura 2.2 são ilustrados os sinais básicos do GPS. As mensagens de navegação são também moduladas sobre as portadoras, numa faixa de 50 bps (bits por segundo), que fornecem as informações básicas para o cálculo das posições dos satélites.

Pode – se observar que há três tipos de sinais: as portadoras (L1 e L2), os códigos (C/A e P) e os dados (navegação, relógio, etc). Essa estrutura permite não

só medir a fase da portadora e sua variação, mas também o tempo de propagação. Este último é conseguido pela modulação da fase (0 ou 180), seguindo um dos códigos PRN [MONICO, 2000].

O sinal L1 pode ser descrito como:

$$S_L(t) = A_P P_i(t) D_i(t) \cos(w_1 t + \Phi_{n.L1,1}) + A_C C_i(t) D_1(t) \sin(w_1 t + \Phi_{n.L1,i})$$

Onde:

- ✓ A_P é a amplitude do código P;
- ✓ $P_i(t)$ é a sequência do código P (+1, -1);
- ✓ $W_i(t)$ representa a criptografia sobre o código P, que pode ser diferente para cada satélite;
- ✓ $D_i(t)$ é o fluxo dos dados com estado +1 e -1;
- ✓ A_C é a amplitude do código C/A;
- ✓ $C_i(t)$ é a sequência do código C/A (+1, -1);
- ✓ W_i é a frequência da portadora L1;
- ✓ $\Phi_{n.L1,i}$ é o ruído da fase acompanhado do estado oscilador.

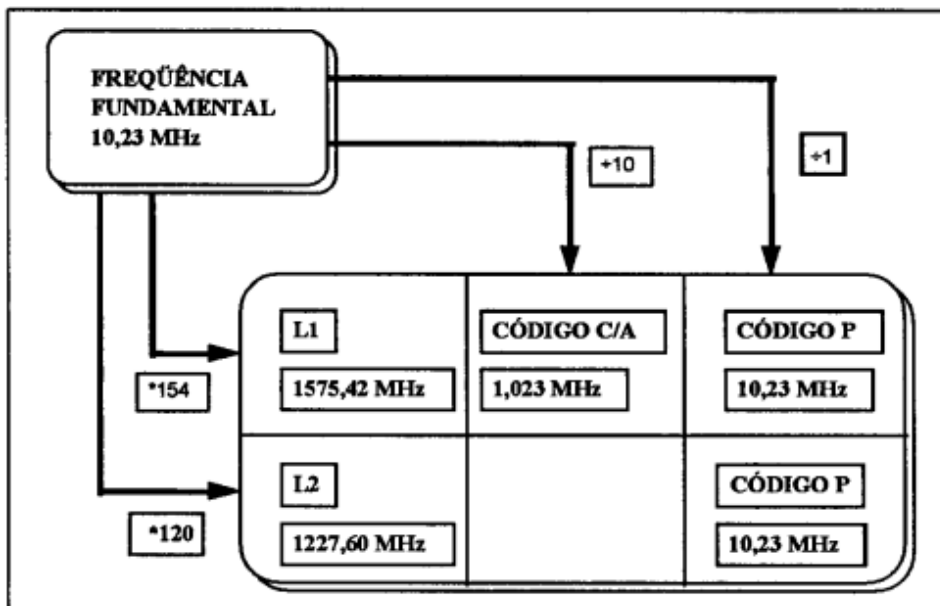


Figura 2.2 – Estrutura básica do sinal GPS

Fonte: MONICO, 2000.

O sistema consiste numa constelação de 24 satélites distribuídos a uma altitude de aproximadamente 20.200 km. O GPS é constituído por três elementos principais: o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento dos usuários (receptores), conforme figura 2.3.

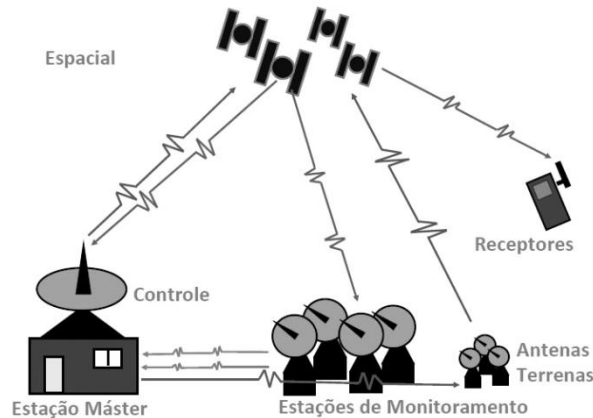


Figura 2.3 – Segmentos do GPS

O segmento de controle tem as principais tarefas:

- ✓ Monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites;
- ✓ Determinar o sistema de tempo GPS;
- ✓ Predizer as efemérides dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites e
- ✓ Atualizar periodicamente as mensagens de navegação de cada satélite.

No segmento de usuários tem – se: receptores GPS, sendo utilizados para qualquer atividade, podendo ser dividida em civil e militar. Na figura 2.4 está os principais componentes de um receptor GPS.

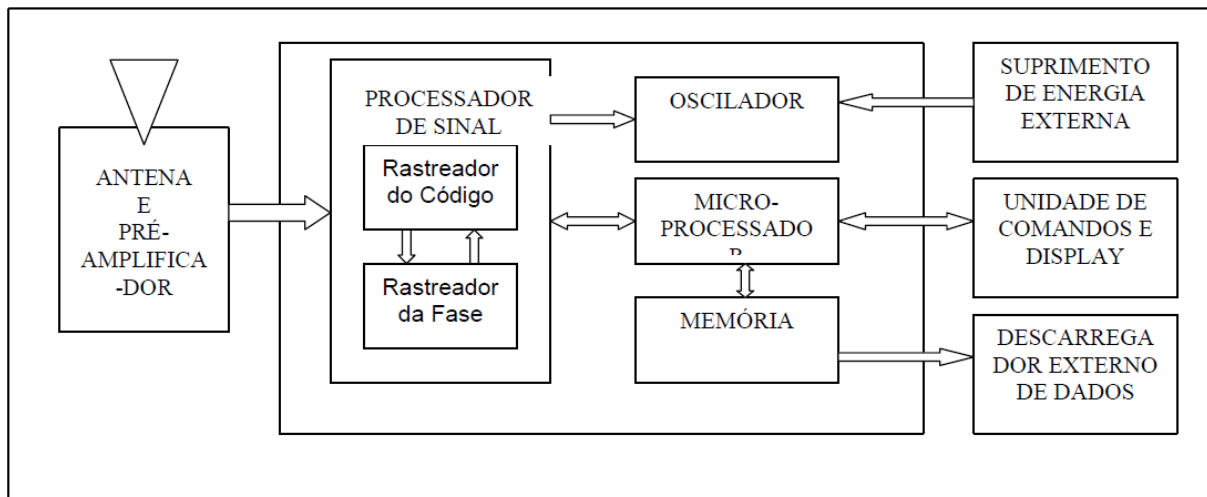


Figura 2.4 – Componentes de um receptor GPS

2.2 - Pseudodistância

O princípio básico de navegação se tem pela medida das chamadas pseudodistâncias entre quatro satélites e o usuário. É possível calcular, tendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, as coordenadas da antena do usuário com respeito ao mesmo sistema de referência dos satélites.

Do ponto de vista geométrico, somente três medidas de pseudodistâncias seriam suficientes, contudo se faz necessário a quarta medida devido a não sincronização dos relógios dos satélites com o do usuário.

As ondas de fases portadoras ou diferenças de fase medidas pelos sinais emitidos dos satélites, bem como as pseudodistâncias, são consideradas as observáveis básicas do GPS [SEEBER, 2003].

Para calcular a distância entre a antena do usuário e a antena do i -ésimo satélite, Pseudorange (Pri), é necessário obter pelo usuário a partir da medida dos intervalos de tempo D_{ti} que as ondas eletromagnéticas levam para percorrer a distância entre o satélite e o usuário (o instante na transmissão do sinal é transmitido na mensagem do GPS pelo satélite e o receptor do usuário possui um relógio que necessita estar sincronizado com o relógio do satélite), e a velocidade de propagação da onda no meio.

O método da triangulação é utilizado para calcular a posição do sistema GPS, pelo princípio básico. O método da triangulação consiste em determinar a posição do usuário, as coordenadas $(X, Y, Z)_u$ num sistema de coordenadas de referência, a

partir do conhecimento da posição relativa entre o usuário e três pontos de referência, e as posições dos três pontos de referência $(X, Y, Z)_i$ $i = 1, 2, 3$ em relação ao sistema de referência absoluto.

Abaixo tem – se a equação que relaciona as coordenadas do usuário, as distâncias entre o usuário e os pontos de referência e as coordenadas dos pontos de referência:

$$D_i^2 = (X_u - X_{si})^2 + (Y_u - Y_{si})^2 + (Z_u - Z_{si})^2 \quad i = 1, 2, 3$$

Portanto, tem – se um sistema de três equações a três incógnitas, tudo em referência às três medidas de distâncias a cada ponto de referência. As incógnitas do problema são as três coordenadas de posição do usuário $(X, Y, Z)_u$, as medidas são as distâncias D_i , e os dados são as coordenadas $(x, Y, Z)_i$ dos pontos de referência. Percebe – se que o sistema é não linear.

2.3 - Dificuldades na comunicação do GPS

Um receptor GPS depende de sinais enviados por satélites e estes sinais percorrem o meio físico estando sujeitos a diversas perturbações, tais como atrasos na propagação atmosférica, reflexão em superfícies próximas do receptor (múltiplos caminhos dos sinais) e intermitência ou perda de recepção. Os receptores GPS apresentam uma taxa de aquisição de dados relativamente baixa, quando comparada com as taxas de uma plataforma de navegação inercial.

Com isso, há a necessidade de utilização de outros sistemas de posicionamento em levantamentos geodésicos além do uso de receptores GPS, mas a dificuldade maior é o custo benefício. Por exemplo, nos aerolevantamentos fotogramétricos, através do chamado “georrefenciamento direto” ocorre uma redução significativa do tempo e do custo total do processamento dos dados devido à redução do número de levantamentos GPS necessários para a determinação de pontos de controle na superfície [SCHWARZ, 1993; SKALLOUD, 1998].

2.4 - DGPS

O DGPS foi desenvolvido com o intuito de reduzir os efeitos provocados pela Disponibilidade Seletiva (*Selective Availability* - SA). É uma técnica usada para melhorar a posição do usuário através da aplicação de correções providas de uma estação GPS de rastreamento contínuo, chamada estação de referência ou estação base. Estas correções podem ser enviadas ao usuário através de um link de rádio (Figura 2.5)[SEEBER, 2003].

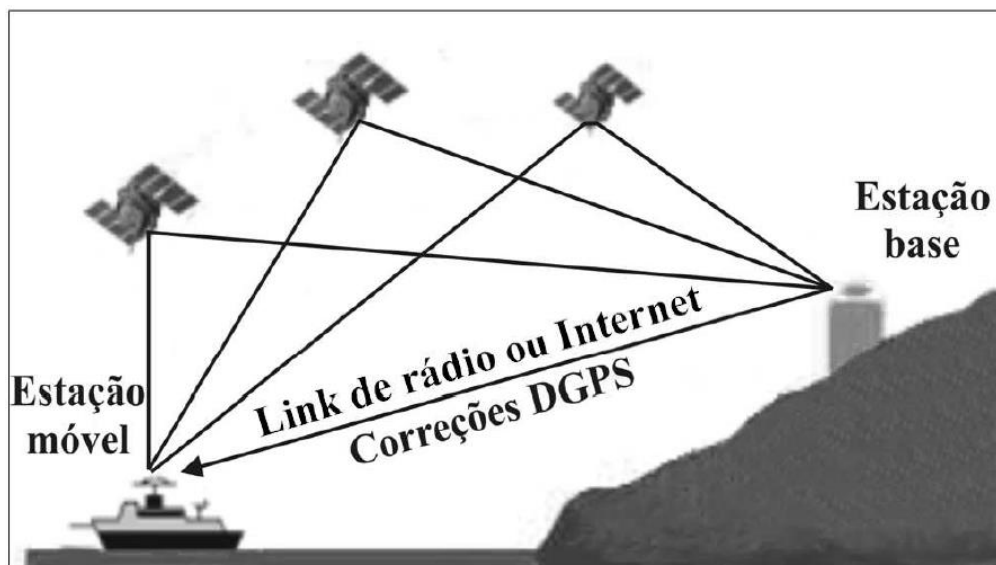


Figura 2.5 – Princípio básico do DGPS

O DGPS é uma técnica cujo processamento geralmente é utilizado em tempo real, pois atrasos na obtenção dos resultados podem ocorrer devido ao intervalo de tempo de envio das correções da base para a estação móvel. No processamento em tempo real, as correções devem ser enviadas para o receptor móvel com suas respectivas variações, pois existe um atraso das correções devido ao tempo de envio das mesmas [HOFMANN-WELLENHOF, *et al.* 1997].

2.5 - RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS)

A utilização de GPS provocou uma verdadeira revolução nesta última década, nas atividades ligadas a navegação e posicionamento. Para que haja a comunicação

entre os sistemas, é necessário uma rede de monitoramento contínuo que, no caso do Brasil, tem-se a RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), que auxilia o usuário a ter o ponto de coordenadas conhecidas, eliminando a necessidade de que o usuário imobilize um receptor em um ponto que, em geral, oferece grandes dificuldades de acesso [Vasco *et al*, 2007]. A figura 2.6 mostra as estações localizadas no Brasil.



Figura 2.6 – Estações RBMC - IBGE

Fonte: IBGE

2.6 - Sistema de navegação inercial (INS)

O sistema de navegação inercial é definido como a determinação da posição, velocidade e orientação angular (atitude) de um veículo em relação a um sistema de coordenadas [TITERTON e WESTON, 1997]. É um equipamento composto por girômetros, acelerômetros e bússolas magnéticas, com o objetivo de fornecer dados como aceleração linear, velocidade angular, entre outros. São sistemas extensamente utilizados em navegação de robôs móveis [SANTOS, 2009].

2.7 - Rede NTRIP

Com o crescente uso da comunicação via internet em aplicações GNSS, os receptores GPS podem ser conectados diretamente à rede de computadores. NTRIP (Network Transport Of RTCM via Internet Protocol) é um protocolo na camada de aplicação que suporta a disseminação de dados GNSS pela internet. É baseado no HTTP (Hypertext Transfer Protocol).

É designado a disseminar dados de correção diferencial ou outros tipos de dados GNSS tanto para usuários fixos ou móveis pela internet, permitindo conexões simultâneas de PC, Laptop, PDA ou receptores ao host transmissor. O NTRIP suporta acesso a internet sem fio através de redes móveis como: GSM, GPRS, EDGE ou UMTS. A arquitetura do NTRIP consiste de três componentes: NTRIP cliente, NTRIP server e NTRIP caster [Negri, 2008]. Os dados do NTRIP é ilustrado na figura 2.7, de streaming fluxograma.

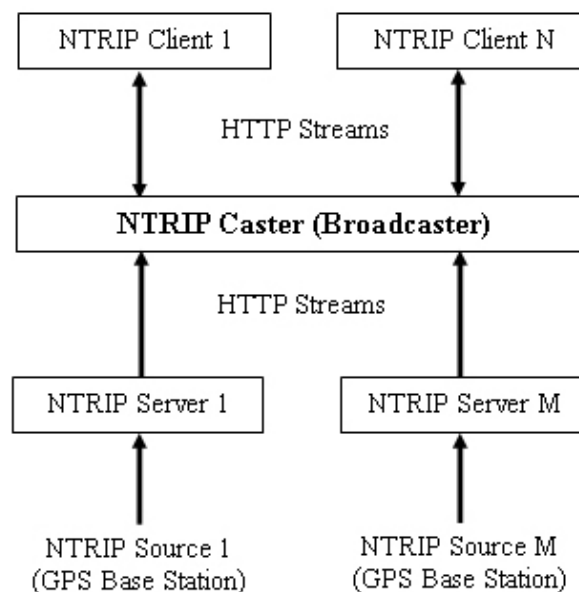


Figura 2.7 – Componentes do NTRIP

Fonte: IBGE

É ilustrado o caso mais geral de configuração do componente NTRIP com M o número de NTRIP source e N o número de clientes que estão acessando os dados de streaming [Dammalage et al, 2008]. No NTRIP source o GPS fornece dados contínuos (por exemplo RTCM 2.0, RTCM 3.0, RAW) como dados de streaming.

Cada fonte de dados do GPS é identificado com uma identificação única chamada de ponto de montagem. O *NTRIP Server* vem a ser o intermediário de transferência de dados entre o receptor GNSS instalado em uma estação de referência e o *NTRIP Caster*. O *NTRIP Caster* é o distribuidor de dados RTCM pela internet para os usuários. A responsabilidade do Caster além da distribuição das correções GNSS é verificar a qualidade e integridade dos dados recebidos e a autenticação dos usuários através de login e senha de acesso.

O *NTRIP Cliente* é um aplicativo que é instalado em um PC (Personal Computer), PDA (Personal Digital Assistant) ou celular, que esteja conectado a um receptor *rover* para que este possa ter as correções transmitidas pelo Caster. O acesso as correções é realizada selecionando no *NTRIP* um dos *mountpoints* que estão na tabela do *NTRIP Caster* [Costa et al, 2008].

3 – PLATAFORMA MÓVEL

3.1 – Automodelo Duratrax Firehammer

O veículo de pesquisa científica para análise é o Duratrax Firehammer (Figura 3.1), de escala 1/5 que utiliza uma mistura de gasolina podium e óleo de dois tempos, por ele ser motor a dois tempos. Ele é alimentado por um motor de 23 cc, com 71,5 x 42,0 x 26,5 cm, pneus cravados e comunicação via rádio de 433 MHz (Manual).

O fato de escolher o veículo citado acima se deve que vem atender melhor a proposta do projeto CAPES, construindo assim uma plataforma robótica de um veículo autônomo não tripulado, pois ele tem a máxima similaridade em comparação ao veículo convencional de passeio, como esterçamento nas rodas dianteiras, suspensão por molas e amortecedores, quatro rodas e tração diferencial.



Figura 3.1 – Automodelo Duratrax Firehammer

Fonte: RC Universe

O motor de combustão de dois tempos de 23 cilindradas apresenta vibrações em funcionamento. Não tem válvulas de admissão e escape nem comando de válvulas, simplificando assim sua construção e reduz seu peso. Motores dois tempos têm uma explosão a cada giro, dando um ganho significativo de potência. Eles podem funcionar em qualquer direção. Se faz necessário colocar neste tipo de motor cerca de 25 ml de óleo a cada litro de gasolina. Na figura 3.2 tem-se os dois ciclos: admissão, combustão e escape.

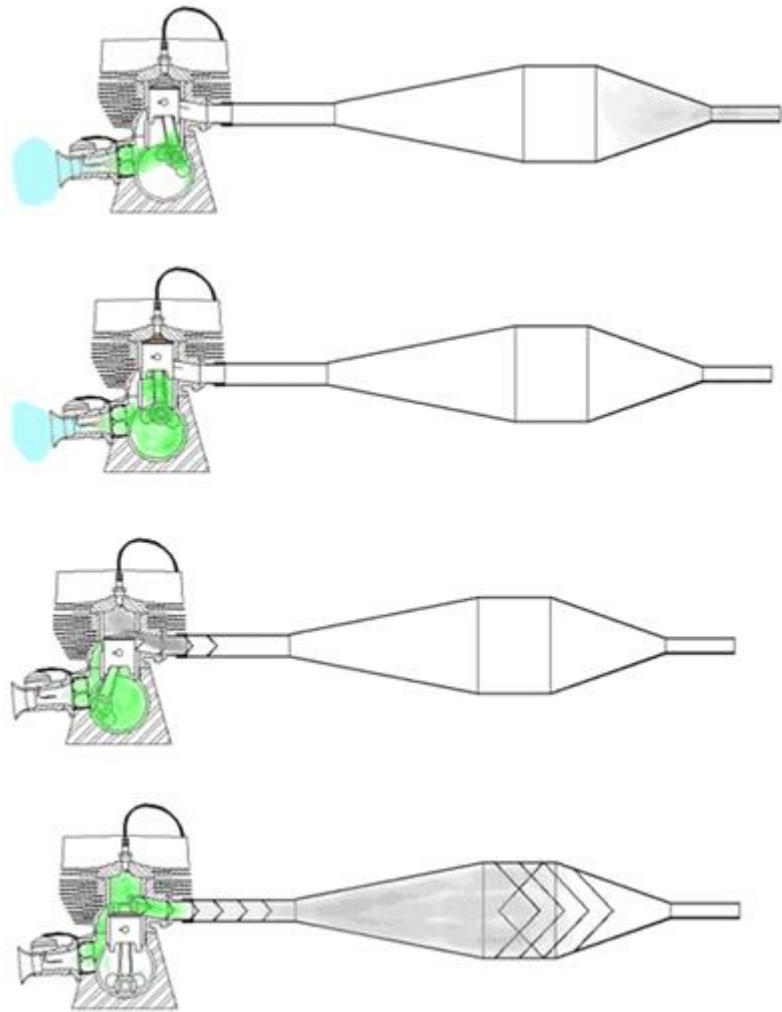


Figura 3.2 –Ciclo motor de 2 tempos

O ciclo de dois tempos compõe-se de dois movimentos do pistão: um ascendente e outro descendente. No ciclo ascendente o pistão cria uma depressão no cárter, admitindo a mistura ar e combustível. Essa mistura vem ao carburador, entra pela janela de admissão e dirige-se para o cárter. Ao mesmo tempo em que o pistão comprime a mistura que está na câmara de combustão.

Um pouco antes de o pistão atingir o ponto morto superior, salta uma centelha na vela, provocando a combustão da mistura. Os gases produzidos expandem-se e arremessam o pistão para baixo, iniciando seu movimento descendente. No movimento descendente do pistão, os gases da combustão são expelidos pela janela de escape. Em seguida, abre-se a janela de transferência e a mistura do cárter é forçada a dirigir para o interior do cilindro.

No capítulo seguinte descrevem os sistemas de controle e sensoriais presentes no veículo, onde foram integrados possibilitando o seguimento de trajetórias em malha fechada, sendo a localização do veículo provida por uma fusão de sistemas sensoriais e controle de posição e orientação executada pela atuação dos sistemas de controle.

4 – SISTEMA EMBARCADO

4.1 - Placa Ardupilot (Arduino)

Arduino é um pequeno computador que pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados [McRoberts, 2010]. É uma plataforma de hardware e software open source, com o objetivo de fornecer uma plataforma fácil que interaja com o mundo físico. A parte do hardware é um computador, uma placa que cabe na palma da mão, com microprocessador, memória RAM, memória flash, temporizadores, contadores, dentre outras funcionalidades. O software interage diretamente com o hardware, tornando possível integração fácil com sensores, motores e outros dispositivos eletrônicos.

A figura 4.1 apresenta vários modelos existentes, atualmente, da família Arduino: UNO, Duemilanove, Mega. Cada um com suas características populares devido sua excelente relação custo x benefício e sua facilidade de integração. Para expansão de um projeto, existem as placas que podem ser conectadas em cima do PCB Arduino, que são literalmente empilhados, criando novas possibilidades de uso, fazendo controle de motores, luzes, tomadas, acesso a internet sem fio, etc.

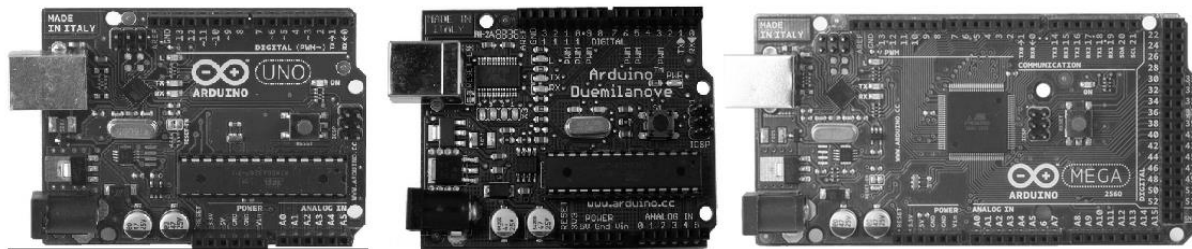


Figura 4.1 – Modelos do arduino: Uno, Duemilanove e Mega.

Fonte: Arduino

A figura 4.2 apresenta o projeto do Ardupilot que é uma família de pilotos automáticos de código aberto (*open source*) na plataforma de computação Arduino, desenvolvido pela DiyDrones [DiyDrones, 2009]. Na figura 4.3 mostra a família do ArduPilot, uma gama de versões de programa livre para diferentes veículos, onde tem – se diferentes configurações.

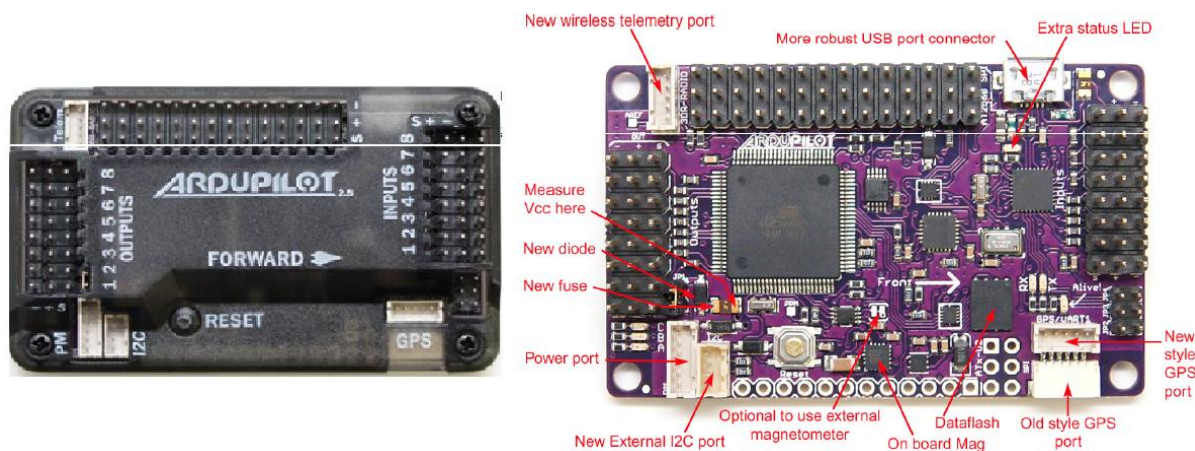


Figura 4.2 – ArduPilot APM 2.6

Fonte: DiyDrones



Autopilot	ArduPilot (aka "Legacy")	ArduPilotMega APM 1 – 1280	ArduPilotMega APM 1 – 2560	ArduPilotMega APM 2
Date of introduction	Q1 2009	Q1 2010	Q1 2011	Q4 2011
Status	Discontinued	Discontinued	Active	Active
Processors	atmega 328, attiny	atmega 1280, atmega 328	atmega 2560, atmega 328	atmega 2560, atmega 32u2, MPU-6000 DMP processor
Onboard sensors	None. External: Thermopiles or optional ArduIMU	3-axis gyro, 3-axis accel, baro, optional mag	3-axis gyro, 3-axis accel, baro, optional mag	6-axis MPU6000 (gyro+accel), baro, mag, GPS
Datalogging memory	None	2MB	2MB	4MB
Size	30x50x30mm	40x72x20mm	40x72x20mm	40x65x10mm
Assembly required	Lots!	Some soldering	Some soldering	None!

Figura 4.3 – Família do ArduPilot

Fonte: DiyDrones

A Ardupilot foi criada com o objetivo de ser utilizada no desenvolvimento de mecanismos de piloto automático para Veículos Não Tripulados (*Ummanned Aerial Vehicle* – UAV). A mesma não possui sensores, porém é possível utilizar as entradas A/D para conectar os sensores ou, como no caso deste projeto, utilizar a comunicação serial como forma de interação com a placa que possui os sensores. Possui o giroscópio de 3 eixos, acelerômetro e barômetro de alto desempenho. Um dos primeiros sistemas de piloto automático de código aberto para utilizar 6 graus de liberdade.

4.1.1 – Acelerômetros

Acelerômetros são dispositivos que são capazes de medir a aceleração que eles experimentam. Um instrumento capaz de medir a aceleração do objeto. Ao invés de posicionar diversos dinamômetros, que são instrumentos para medir a força, em lugares diferentes do objeto, um único acelerômetro é capaz de calcular qualquer aceleração exercida sobre ele. Em algumas de suas aplicações mais

comuns tem – se: identificação de choque em airbags, monitoração de vibração e navegação inercial [ABADIE, 2011]. Pode – se decompor conforme a figura 4.4. A leitura mede o efeito gerado sobre a parte mecânica, inferindo a aceleração onde, no caso de um sensor de malha fechada, tem – se a realimentação de força na peça mecânica.

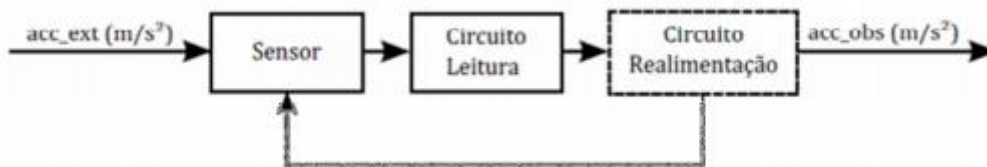


Figura 4.4 – Diagrama de blocos de um acelerômetro

Fonte: [ABADIE, 2011]

Um acelerômetro pode ter, em sua saída, a forma analógica ou digital. Na saída digital, o acesso é direto utilizando protocolos de comunicação, por exemplo, o SPI – Periférico de Interface Serial (*Serial Peripheral Interface*).

Acelerômetros de tecnologias MEMS é constituído de, ao menos, três elementos: massa de prova, suspensão e pick – off.

Os transdutores (*pick-off*) de sinal piezoresistivo, transdutores (*pick-off*) de sinal capacitivo, sensores com elementos piezoelétricos, sensores com elementos ressonantes são tipos de detecção de massa de prova (Figura 4.5).

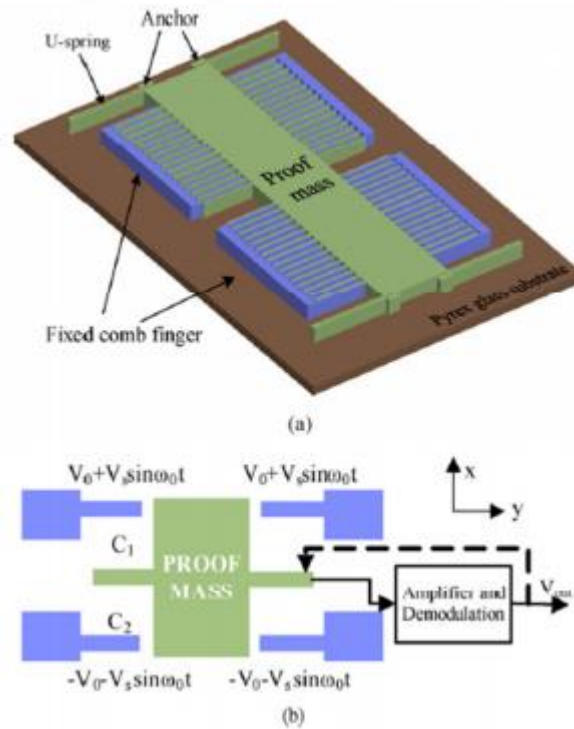


Figura 4.5 – Estrutura de um acelerômetro capacitivo (a)

Princípio de funcionamento (b)

Fonte: [DAI, LI *et al.*, 2011]

No interior do sensor, unido ao corpo, este instrumento pode ser visto como um transdutor massa – mola. Ao acelerar, por inércia, faz com que a massa resista. A força exercida pela massa é equilibrada pela mola e, como o deslocamento permitido pela mola é proporcional à força aplicada, a aceleração do corpo é proporcional ao deslocamento da massa.

O acelerômetro MEMS MPU-6000 do Ardupilot de eixo triplo inclui amplos recursos:

- ✓ Acelerômetro com saída digital de eixo triplo com escala programável de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$;
- ✓ Acelerômetro atual de funcionamento normal: $500 \mu A$;
- ✓ Modo de baixa energia atual: $10 \mu A$ em 1.25 Hz , $20 \mu A$ a 5 Hz , $60 \mu A$ em 20 Hz , $110 \mu A$ a 40 Hz ;
- ✓ Detecção de orientação e sinalização;

- ✓ Interrupção programável pelo usuário;
- ✓ Auto – teste do usuário.

4.1.2 – Giroscópios

Giroscópios são mecanismos que se baseiam no princípio da conservação do momento angular, sendo capazes de medir a orientação de um objeto. Um giroscópio clássico consiste em um disco rotor montado em uma estrutura que se tem 3 graus de liberdade rotacionais, ou seja, o disco é livre para girar ao redor de qualquer um de seus eixos de rotação (Figura 4.6).

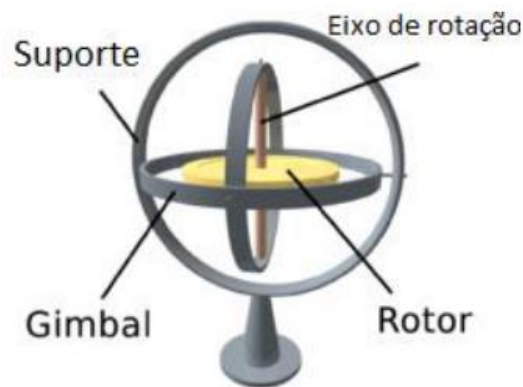


Figura 4.6 – Giroscópio clássico

Com a nanotecnologia, é possível ter os giroscópios MEMS integrados em chips eletrônicos de tamanho microscópico. Seu uso habitualmente utilizados nos chips são, frequentemente, sistemas giroscópios por vibração e ressonância, ao invés de peças rotativas. Na figura 4.7 temos um giroscópio MEMS com estrutura vibrante.

A saída do sensor é gerada pela aproximação e distanciamento entre as aletas que se projetam do corpo de prova e as aletas fixas do substrato do circuito integrado. Quando o sensor é rotacionado, a massa de prova tende a continuar vibrando na mesma direção em que antes estavam, de modo que surgem uma deflexão entre as hastes proporcional à velocidade angular.

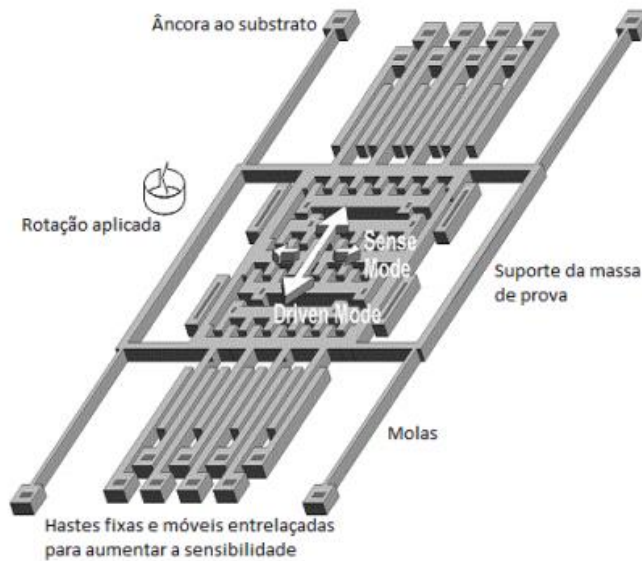


Figura 4.7 – Giroscópio MEMS com estrutura vibrante

O Ardupilot tem um giroscópio MEMS embutido, com seis eixos projetados para baixo consumo de energia, baixo custo e requisitos de alto desempenho. O MPU-6000 garante que os algoritmos de fusão de sensores e procedimentos de calibração entreguem um ótimo desempenho.

Os dispositivos MPU-6000 (Figura 4.8) combinam um giroscópio de 3 eixos e um acelerômetro de 3 eixos no mesmo silício, com o Processador de Movimento Digital (DMP – Digital Motion Processor), capaz de processar os complexos algoritmos de 9 eixos.

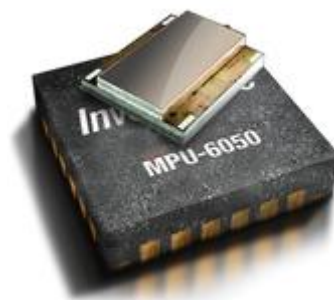


Figura 4.8 – MPU-6000

Fonte: InvenSense

É composto por duas partes a família MPU-6000, economizando espaço. Em suas características estão inclusos um sensor de temperatura embutidos e um oscilador on-chip com $\pm 1\%$ de variação na faixa de temperatura operacional (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Diagrama do Sistema MPU-6000/6050™

Fonte: InvenSense

Tem – se a descrição das características do giroscópio:

- ✓ Saída digital X, Y e Z – Axis, com sensores de frequência angular (giroscópios), com uma grande escala programável pelo usuário de ± 250 , ± 500 , ± 1000 e ± 2000 ° / s ;
- ✓ Conectado ao pino Fsync, há um sinal de sincronismo com suporte a imagens, vídeos e GPS;
- ✓ Melhor desempenho de ruído de baixa frequência;
- ✓ Digitalmente programável o filtro passa – baixa;
- ✓ Giroscópio operacional atual: 3.6 mA;
- ✓ Corrente de espera: 5 μ A;
- ✓ Fator de escala de sensibilidade de fábrica calibrado;
- ✓ Auto – teste do usuário

4.1.3 – Magnetômetros

Magnetômetros são dispositivos empregados na medição da direção, sentidos de campos magnéticos e da intensidade. São amplamente utilizados para medir o campo magnético da Terra. Existem dois tipos de magnetômetros: os escalares e os

vetoriais. Os magnetômetros escalares medem somente a magnitude do campo magnético. Já os vetoriais medem a magnitude e sentido do campo magnético na direção em que estão alinhados. Com o uso de dois magnetômetros vetoriais, paralelos à Terra mas não paralelos entre si, pode – se calcular a direção do norte magnético da Terra, realizando a soma vetorial das leituras.

Pode – se ter diversos princípios de funcionamento os magnetômetros, como o de bobina criativa, o de precessão protônica e o de Efeito Hall, por exemplo.

O Ardupilot utiliza um magnetômetro HMC5883L. O módulo dos sensores magneto-resistivo é feito de ferro níquel, de uma película fina e modelada, funcionando como um elemento resistivo. Quando há um campo eletromagnético, há uma mudança nos elementos resistivos, provocando uma mudança na saída de tensão. São alinhados, os elementos resistivos, em conjunto para formarem um eixo sensível comum, proporcionando a mudança de tensão que incrementa o campo magnético no eixo sensível.

Como a saída é proporcional ao campo magnético ao redor do seu eixo, algum outro eixo é colocado em posição ortogonal, dessa maneira possibilitando a medição do campo magnético em qualquer posição [HONEYWELL, 2013].

O protocolo de comunicação serial utilizado pelo HMC5883L é a I²C, sendo o módulo trabalhando como escravo. Para isso, são utilizados quatro pinos, sendo dois para alimentação (VCC e GND), um barramento de dados (SDA) e um barramento para sinal de clock (SCL), sendo que estes dois últimos barramentos trabalham em valores de frequência entre 100 kHz e 400 kHz, sendo assim necessária a utilização de resistores de pull-up (entre 4,7 kΩ e 10 kΩ).

O módulo contém três modos de medições: o modo único, o modo contínuo e o modo inativo. O modo único, que é o modo padrão de funcionamento do HMC5883L, realiza uma medição e aloca nos registradores de saída de dados e após isso o módulo entra no modo inativo e apenas volta ao funcionamento quando realizar uma nova medição. O modo contínuo realiza medições e atualizações nos registradores de saída de dados de forma contínua, sendo que durante as medições, o módulo entra em um modo de economia de energia, muito similar ao modo inativo, porém com uma corrente baixa mas que possibilite as medições. No modo inativo, todas as alimentações do dispositivo são desativadas, dessa maneira não ocorrendo nenhuma medição ou atualização nos registradores.

O magnetômetro HMC5883L (Figura 4.10) contém treze registradores para o armazenamento de dados de escritas e leituras, sendo os três primeiros registradores de configurações que permitem tanto a escrita como a leitura dos seus dados e os outros nove são registradores apenas de leitura.



Figura 4.10 – Magnetômetro HMC5883L

Fonte: Honeywell

4.2 – GPS U-blox LEA-6H

O GPS U-blox LEA-6H é uma família de receptores GPS autônomo que caracterizam um alto desempenho com 6 motores de posicionamento. Estes receptores versáteis combinam uma variedade de recursos com conectividade flexível. Fornece informações como efemérides, status de satélite, tempo e um sinal de sincronização de tempo, melhorando a aquisição e sensibilidade. Na figura 4.11 é apresentada a estrutura interna do GPS.

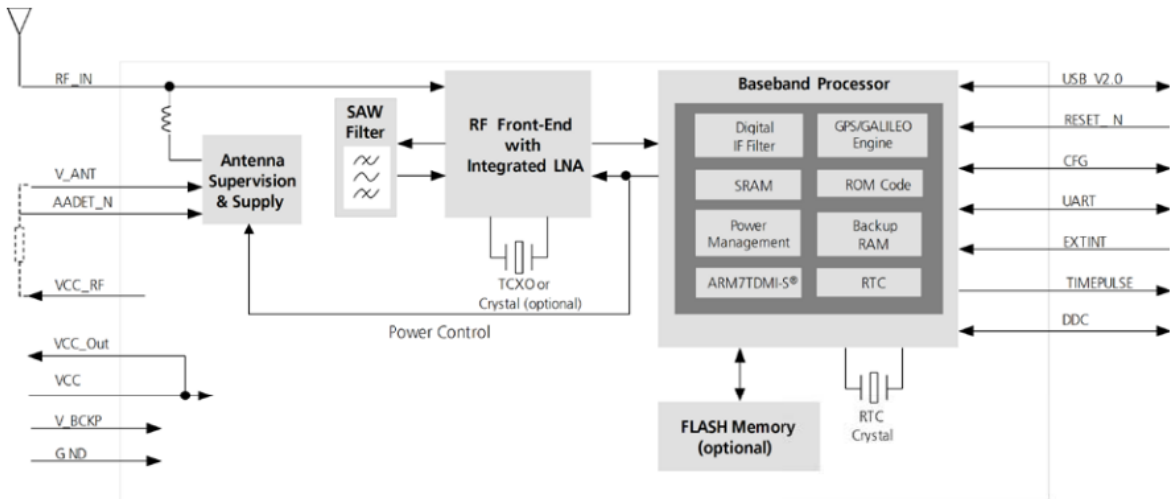


Figura 4.11 – Diagrama de bloco do funcionamento do GPS

Fonte: Ublox

Foi projetado para baixo consumo de energia e baixo custo, independente de quais constelações de satélites são utilizados (por exemplo GLONASS, Galileo). O versátil e autônomo receptor LEA 6H combina uma extensa variedade de recursos com opções de conectividade de flexíveis. Sua facilidade de integração resulta no mercado para uma vasta aplicação automotiva e industrial.

O U-blox LEA 6H (Figura 4.12) tem interfaces seriais, incluindo um padrão UART, USB 2.0. Também tem um suporte de protocolos NMEA, UBX binário e RTCM.



Figura 4.12 – GPS U-Blox LEA 6H 3DR

Na parte externa do GPS, a seta virada para frente indica a direção do GPS ao veículo. Tem – se duas portas, onde a porta com seis pinos é para conectar o GPS ao Ardupilot e a porta com quatro pinos é para conectar o magnetômetro (Figura 4.13). O LED vermelho indica que o GPS está ligado, o azul refere – se ao bloqueio adquirido.

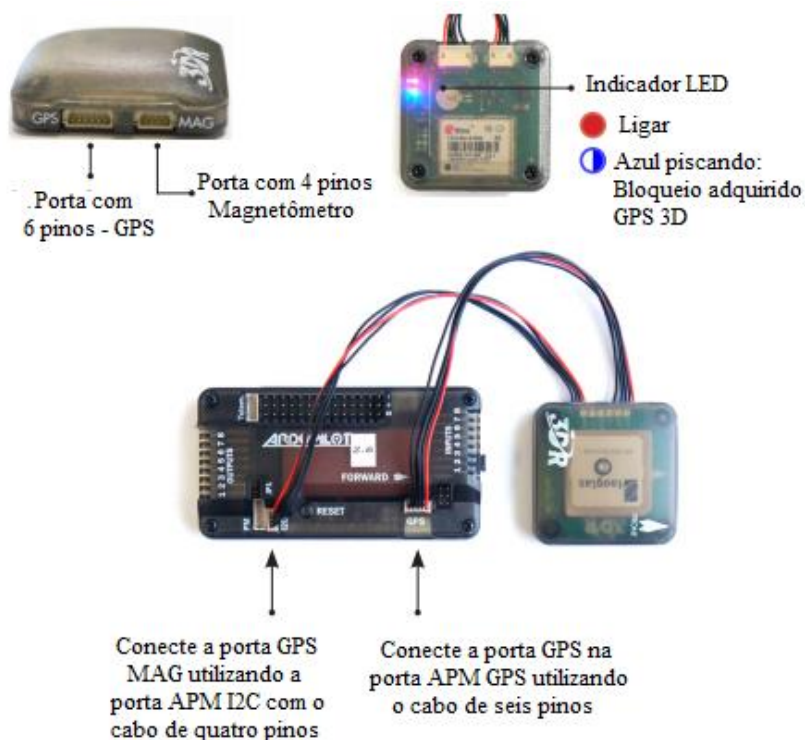


Figura 4.13 – Esquemático de ligação

O módulo LEA 6H é um receptor de 50 canais para sinais GPS L1 CDMA codificados e sinais de GLONASS L1 codificação FDMA. Ele está disponível em versões de cristal oscilador e com temperatura controlada (TCXO) com um relógio de tempo real (RTC) cristal onboard para partidas mais rápido. A taxa de atualização é de 5 Hz para a versão ROM e 2 Hz para a versão Flash.

A sensibilidade do receptor (com uma antena ativa) é -162 dBm em modo de monitoramento, -148 dBm em partidas a frio e -157 dBm para partidas quentes. O suporte é fornecido para as duas antenas ativas e passivas. A potência externa ou interna está disponível.

A bússola digital onboard oferece um desempenho superior, bateria de backup recarregável para partidas quentes, e EEPROM para armazenamento de configuração. Já pré – configurado para compatibilidade com o APM 2.6.

4.3 - Rede ZigBee

O padrão Zigbee foi desenvolvido para servir de alternativa de comunicação sem fio em sistemas não muito complexos, do ponto de vista de implementação da rede de comunicação, que exijam soluções de baixo custo e baixo consumo de energia. É uma tecnologia de aplicação simples, que opera através de protocolos de transferência de pacotes de dados com características específicas, oferecendo assim flexibilidade quanto ao tipo de dispositivos que pode ser controlado [IEEE, apud TEIXEIRA, 2006, p. 42]

Este tipo de protocolo, definido pela norma IEEE 802.15.4, surgiu para preencher uma lacuna deixada pelas redes sem fio. Observando as redes sem fio existentes, que incluem WiFi, WiMax, Bluetooth, celular (GPRS-EDGE), percebe-se que nenhuma delas é dedicada a uma rede de equipamentos simples que não requisite grande complexidade e onde a economia de baterias e o baixo custo sejam essenciais, como ocorre numa rede de sensores, iluminação, refrigeração e afins.

A comunicação do Zigbee com o TCP/IP será através de nós comunicando-se pela serial, onde a string é passada a uma variável global e um marcador (flag) é acionado para identificar que a comunicação ocorreu. No loop principal esse marcador é constantemente avaliado. Quando ele é identificado como VERDADEIRO (true), o software sabe que uma comunicação ocorreu e tratará de decifrar a string passada. Cada campo da string tem significado e, embora os campos sejam passados todos numa string, deverão ser transformados nos tipos específicos determinados pela Struct ZigBee, declarada na memória de programa.

Em seguida, caso as informações correspondam a dados de um novo nó, essa nova entrada é salva na EEPROM num endereço livre, caso correspondam a dados de um nó já integrante, as informações são editadas no endereço que o nó já mantinha nas mesmas EEPROM [ZUCATO, 2009]. O rádio XBee não possui controle de potência, ou seja, não importa a distância entre o nó sensor e o nó coordenador, a potência utilizada para a transmissão dos dados é a mesma. Por

este motivo, o controle do estado de atividade do rádio seja desligado sempre que estiver ocioso.

A comunicação sem fio neste trabalho é executada através dos módulos transceptores XBee-PRO™ da MaxStream (Figura 4.14). O fato de ser utilizado esses módulos se deve por trabalharem sob a norma ZigBee, também sendo dispositivos de fácil implementação do ponto de vista de programação e de hardware.



Figura 4.14 – Módulo XBee-PRO™

Fonte: MAXSTREAM, 2006

Esses módulos são circuitos que assumem funções diversas separadas em 20 pinos. Na Tabela 1 abaixo, podemos ver a descrição dos pinos dos transceptores XBee-PRO™.

Existem dois modos de operação de transmissão e recepção de dados: a Transparente Operação ou AT (*Transparent Operation*), ou o Programa de Aplicação de Interface (API – *Application Programming Interface*).

O modo AT, os dados são enviados e recebidos diretamente pela porta serial, com uma interface bem simples e desenvolvimento de aplicações bem mais fácil, onde a aplicação se conecta à porta serial do módulo e envia os dados utilizando os comandos AT.

Tabela 1 – Descrição dos pinos dos transceptores XBee-PRO™

PINO	NOME	DIREÇÃO	DESCRIÇÃO
1	VCC	-	Alimentação (3,3V)
2	DOUT	Saída	Saída serial USART
3	DIN	Entrada	Entrada serial USART
4	DO8	Saída	Saída digital 8
5	RESET	Entrada	Reset do módulo
6	PWM0 /RSSI	Saída	Saída PWM0 ou indicador de força do sinal RSSI
7	PWM1	Saída	Saída PWM1
8	RESERVADO	-	Não conectado
9	SLEEP /DI8	Entrada	Pino de controle do modo Sleep ou Entrada Digital 8
10	GND	-	Terra
11	AD4 /DIO4	Ambos	Entrada analógica 4 ou E /S Digital 4
12	CTS /DIO	Ambos	Sinal de controle CTS ou E /S Digital 7
13	ON	Saída	Indicador de estado do módulo
14	VREF	Entrada	Voltagem de referência para as entradas A /D
15	AD5 /DIO5	Ambos	Entrada analógica 5 ou E /S Digital 5
16	RTS /AD6 /DIO6	Ambos	Sinal de Controle RTS ou Entrada Analógica 6 ou E /S Digital 6
17	AD3 /DIO3	Ambos	Entrada analógica 3 ou E /S Digital 3
18	AD2 /DIO2	Ambos	Entrada analógica 2 ou E /S Digital 2
19	AD1 /DIO1	Ambos	Entrada analógica 1 ou E /S Digital 1
20	AD0 /DIO0	Ambos	Entrada analógica 0 ou E /S Digital 0

Fonte: Adaptado de MAXSTREAM, 2006.

O modo API baseia-se no envio e recepção de quadro de dados, especificando como comandos, respostas de comandos e mensagens sobre o estado de funcionamento do módulo são enviados e recebidos, permitindo um aumento na escalabilidade da rede. A estrutura do quadro de dados é descrita na figura 4.15 e as aplicações que utilizem o modo API devem estar em conformidade com esta estrutura.

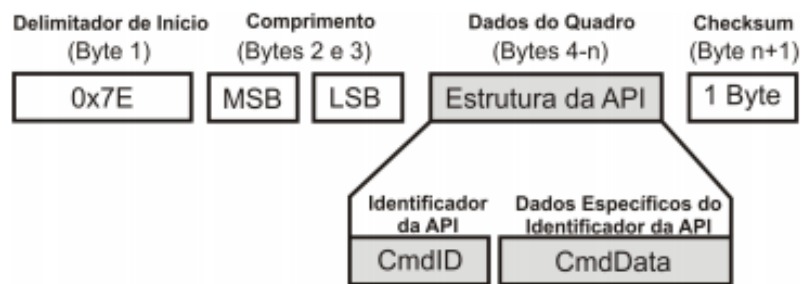


Figura 4.15 – Quadro de dados da API

Fonte: Adaptado de Digi (2009 a)

O quadro de dados da API tem como delimitador inicial 1 byte com o valor 0x7E, seguidos por dois bytes com o tamanho do quadro de dados, dividido em *Most Significant Byte* (MSB) - Byte Mais Significativo e *Least Significant Byte* (LSB) – Byte Menos Significativo.

5 – PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

5.1 – O QUE É O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO

Protocolo é um conjunto de especificações objetivas que os computadores entendem. Tecnicamente, é um conjunto de regras – padrão que caracterizam o formato, a sincronização, a sequência e, ainda, a detecção de erros e falhas na comutação de pacotes, isto é, na transmissão de informação entre os computadores. É a “linguagem” utilizada pelos dispositivos de uma rede de modo que eles consigam se entender, isto é, trocar informações entre si. Um protocolo é um conjunto de regras que governa a comunicação de dados.

5.2 – PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO PARA GPS

Existem dois protocolos de comunicação largamente difundidos: RTCM SC-104 e o NMEA. O protocolo RTCM destina-se à transmissão de correções diferenciais para os sistemas DGPS e RTK. Já o protocolo NMEA é utilizado para

interface entre equipamentos eletrônicos de navegação. Ambos serão tratados a seguir.

5.3 – NMEA

Diversos formatos são transmitidos sinais para os receptores GPS. Existem formatos diferentes para este padrão: NMEA 0180, NMEA 0182 e NMEA 0183. Atualmente a maioria dos receptores tem saída NMEA de dados. O padrão NMEA 0183 foi desenvolvido visando a conexão de dispositivos eletrônicos marinhos. Este padrão define, dentre outros, características elétricas do sinal, protocolo da transmissão de dados, sincronismo e formatos específicos de sentenças de transmissão. Este padrão tem sido constantemente atualizado, e a sua última versão, 3.01, foi disponibilizada em janeiro de 2002.

Todas as sentenças desse protocolo consistem em até 82 caracteres em ASCII. Inicia-se a sentença com o símbolo \$ e o começo de uma nova linha. Os campos de dados são separados por vírgulas, e tem comprimento variável. Isso também procede para os campos nulos, não contendo nenhuma informação. O primeiro campo de dados é um campo de endereço, e o último campo de dados é um controle de soma (checksum). O último campo de dados de uma mensagem NMEA 0183 termina com um asterisco (*) e o valor de controle de soma (checksum). O asterisco é seguido de um checksum de dois dígitos representados na forma hexadecimal. O checksum é um OU exclusivo de todos os caracteres entre o \$ e o *. Abaixo é apresentado um exemplo de sequência NMEA:

\$GPGLL,5008.9902,N,02000.0000,W,001230.835,A*25, onde:

- ✓ GP corresponde ao dispositivo GPS indicando a posição geográfica;
- ✓ GLL indica a posição geográfica latitude / longitude;
- ✓ Latitude 50 graus e 08,9902 minutos;
- ✓ N – Norte;
- ✓ Longitude 02 graus e 000,0000 minutos;
- ✓ W – Oeste;
- ✓ 00 h 12 min 30,835 seg UTC;

- ✓ A indica que a informação é válida
- ✓ 25 é o CRC.

5.4 – RTCM SC 104

A Comissão Técnica de Rádio Marítimos é uma organização internacional sem fins lucrativos independente que produz padrões para comunicações de rádio. O protocolo RTCM SC-104 é utilizado como referência para especificar a mensagem para o sinal de correção que é gerada na estação de referência e, em seguida, transmitida para as estações móveis, possibilitando assim, o posicionamento em tempo real. Este padrão é utilizado em GPS envolvendo posicionamento tanto no sistema DGPS quanto no RTK. Com a aplicação desse protocolo, os resultados têm gerado enormes melhorias.

Se as correções geradas em uma estação de referência forem aplicadas às pseudodistâncias coletadas pelo receptor, com latência de 10 segundos, os erros comuns às duas estações serão praticamente eliminados, podendo proporcionar precisão melhor que 1 metro num raio de 50 quilômetros [MONICO, 2000]. O autor afirma ainda que há uma degradação da precisão com o afastamento da estação de referência, mas podendo proporcionar resultados satisfatórios até um raio de 1.000 km onde, neste caso, a precisão deve ficar na ordem de 1 a 10 metros.

A transmissão de comunicação, via link, entre estações base e móveis qualquer, no padrão RTCM, é codificada em mensagens binárias. Essas mensagens são realizadas por enlaces de rádio. Para facilitar essas aplicações e pesquisas, são realizadas utilizando a internet para transmissão das mensagens RTCM.

Tem – se hoje as versões 2.3 e 3.1 do RTCM. O padrão RTCM 2.3 possibilita a transmissão de dados e / ou correções entre uma estação base e uma estação móvel. Já a versão RTCM 3.1 é bastante eficiente, suportando o transporte de um número maior de informações, realizando a comunicação RTK em rede. Na tabela 2 mostra as diferenças entre as versões deste protocolo [FERRARI, 2012]. Na tabela 3 ilustra as principais mensagens utilizadas no DGPS e RTK.

Tabela 2 - Principais diferenças das versões do protocolo RTCM

RTCM 2	RTCM 3
Transmite correções e observáveis	Transmite somente as observáveis
Cada mensagem é um conjunto de palavras de 30 bits	Cada mensagem é um conjunto de bytes de tamanho variado
Cada palavra possui 6 bits de CRC	Cada mensagem possui 3 bytes de CRC
Possui um conjunto rígido de mensagens	Possui um conjunto mais flexível de mensagens
Máximo de 64 tipos de mensagens	Máximo de 4096 tipos de mensagens
Capaz de transmitir correções RTK de uma única estação de referência	Capaz de transmitir correções RTK de uma rede de estações de referência
Menos eficiente na compactação dos dados	Mais eficiente na compactação dos dados

Fonte: [FERRARI, 2012]

Tabela 3 – Tipos de mensagens RTCM versão 2.3

Tipo de Mensagem	Status Atual	Nome da Mensagem
1	Fixa	Correções Diferenciais GPS
2	Fixa	Correções Diferenciais GPS Delta
3	Fixa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
5	Fixa	Saúde da Constelação GPS
7	Fixa	Almanaque dos Radiofaróis DGPS
14	Fixa	Tempo da Semana GPS

Fonte: RTCM (2001)

Cada quadro de mensagem tem suas informações codificadas em uma sequência de bits, onde tem – se 24 bits de dados de palavras e mais 6 bits de CRC, totalizando 30 bits por palavra. O início de cada quadro de mensagem consiste de duas palavras – padrão ou cabeçalho (Figura 5.1).

- ✓ **Preâmbulo:** utilizado para identificar o início da mensagem;
- ✓ **Tipo da mensagem:** utilizado para identificar o tipo de mensagem enviada em fixa, tentativa ou reservada. A mensagem fixa não está sujeita a alterações no seu padrão; as tentativas são mensagens que estão sujeitas a alterações ou adequações em seu padrão; as reservadas suportam novos parâmetros que venham a ser implementados.
- ✓ **Identificação da estação:** qualquer número que identifique a estação de referência.
- ✓ **Contador Z modificado:** permite identificar o tempo de referência dos dados da mensagem.
- ✓ **Número de sequência:** ajuda na sincronização dos quadros de mensagem.
- ✓ **Número de palavras de dados:** é o terceiro campo da segunda palavra, onde contém os dados da mensagem.
- ✓ **Saúde da estação:** é enviada no quarto campo da segunda palavra. Na tabela 5, verifica – se a condição da saúde da estação, onde o estado 110 indica que a transmissão não é monitorada, e o estado 111 indica que a estação não está funcionando apropriadamente.

Tabela 5 – Indicador da saúde da estação

Código	Indicação
111	Estação fora de funcionamento
110	Transmissão da estação não é monitorada
101	Fator de escala UDRE = 0,1
100	Fator de escala UDRE = 0,2
011	Fator de escala UDRE = 0,3
010	Fator de escala UDRE = 0,4
001	Fator de escala UDRE = 0,5
000	Fator de escala UDRE = 1

O valor do UDRE (User Differential Range Error) indica o erro em distância no posicionamento diferencial. Consiste em dados estimados na estação de referência, correção da incerteza da pseudodistância.

5.5 – UBX

O protocolo UBX é um protocolo binário com um sistema próprio da U-blox, uma empresa que produz receptores GPS. Os padrões industriais para sistemas de GPS são definidos pela NMEA. O protocolo UBX segue a norma NMEA 0183, embora este padrão seja baseado em texto.

As mensagens do UBX operam em mais de uma conexão, em série assíncrona seguindo um padrão RS-232. Muitas mensagens UBX utilizam um único byte para o identificador de satélite, semelhante a numeração esquemática NMEA “prolongado”, sendo apenas uma extensão em uso dos receptores U-blox. Este protocolo tem as seguintes características principais:

- Compacto. Utiliza 8 Bits de dados;
- Checksum protegido. Utiliza um algoritmo de soma de verificação de baixa sobrecarga;
- Modular. Possui um identificador de mensagem de dois estágios: classe e ID da mensagem.

6 – PROGRAMAS

6.1 – MISSION PLANNER

A Mission Planner (Figura 6.1), criado por Michael Osborne, é o software com as seguintes características: entrada de ponto e clique waypoint, usando o Google Maps; baixar arquivos de ocorrências (log) de missão e analisá-los; comandos select missão de menus drop-down. É a interface entre o usuário e o Ardupilot, tendo todo o controle do veículo.

O programa age em conjunto com o Ardupilot permitindo aquisição dos dados em terra, o controle e a navegação do veículo, o planejamento de missão, a correção dos dados recebidos do GPS e a total interação entre o operador e o veículo. Este programa tal como o hardware do Ardupilot também é de código livre.

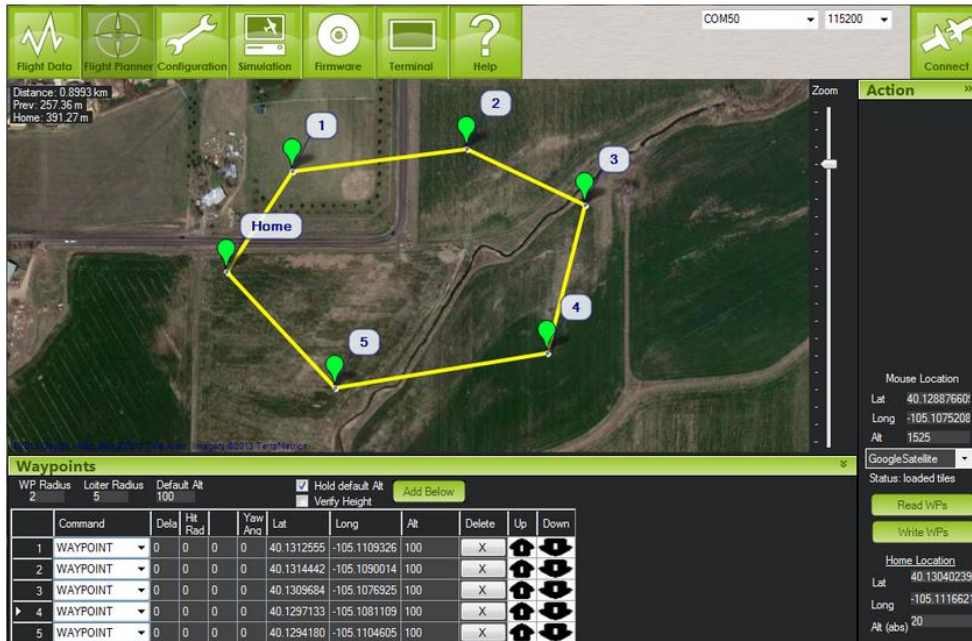


Figura 6.1 – Mission Planner

A descrição na figura 6.2 é a vista principal da estação de terra do Mission Planner. Se o interruptor deslizante APM está no modo de terra (longe dos pinos RC) e de ter ligado via MAVLink (através dos módulos XBee em 57600 k de transferência), os mostradores e posição nesta tela irá exibir a telemetria enviados por APM. Abaixo segue a descrição de cada item:

Com esta tela, é possível analisar todo o comportamento do rover, sua trajetória, velocidade, geração de gráficos, posicionamento.

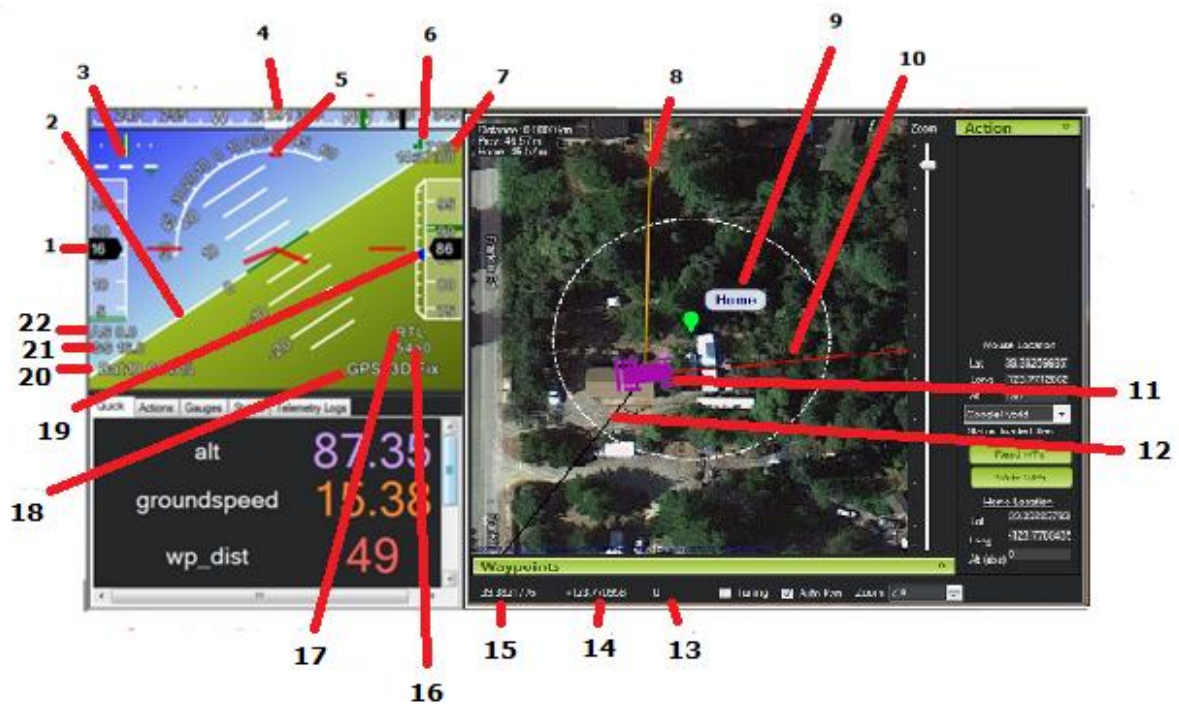


Figura 6.2 – Estação terrestre

1. Velocidade do ar
2. Horizonte artificial
3. Taxa de erro Crosstrack e vire (T)
4. Direção de título
5. Ângulo de Banco
6. Conexão de telemetria sem fio (% de pacotes ruins)
7. Tempo GPS
8. Linha direta com waypoint atual
9. Relato altitude GPS
10. Rumo atual
11. Veículo
12. Informação da viagem da direção do GPS
13. Altitude
14. Longitude
15. Latitude
16. Distância do waypoint atual > Número de waypoint atual
17. Atual modo de piloto automático

- 18. Estado do GPS
- 19. Altitude
- 20. Estado da bateria
- 21. Velocidade no solo
- 22. Velocidade do ar

6.2 – X-CTU

A comunicação XBee será realizada através do software X-CTU. A Digi International oferece ferramentas úteis para a programação do módulo XBee – X-CTU. Com este programa, o usuário será capaz de atualizar o firmware, parâmetros, realizar testes de comunicação. Abaixo se tem as operações básicas. Com o adaptador USB é possível comunicar a XBee com a porta serial USB.

Após a conexão, será determinado pelo PC a porta a qual a XBee está conectada (porta COM9, por exemplo – Figura 6.3). A taxa de transmissão deve ser estabelecida que, no caso da pesquisa, será de 115200 bps. Depois de realizada a configuração, é necessária realizar o teste inicial, onde a janela da figura 6.4 será exibida caso esteja tudo corretamente configurado. Porém, caso haja algo de errado, aparecerá a mensagem que não houve comunicação com o modem.

O X-CTU possui quatro abas principais:

1. **Definição PC (*PC Settings*):** Comunicação da XBEE com outros dispositivos que utilizam a porta serial.
2. **Teste de alcance (*Test range*):** Nesta aba, é possível verificar a força do sinal e como é a taxa de sucesso para enviar / receber dados.
3. **Terminal:** Conversa entre o dispositivo e o terminal através da XBee.
4. **Configuração do Modem (*Modem Configuration*):** Através desta aba é possível a atualização do firmware, alteração do tipo de modem e função de base set

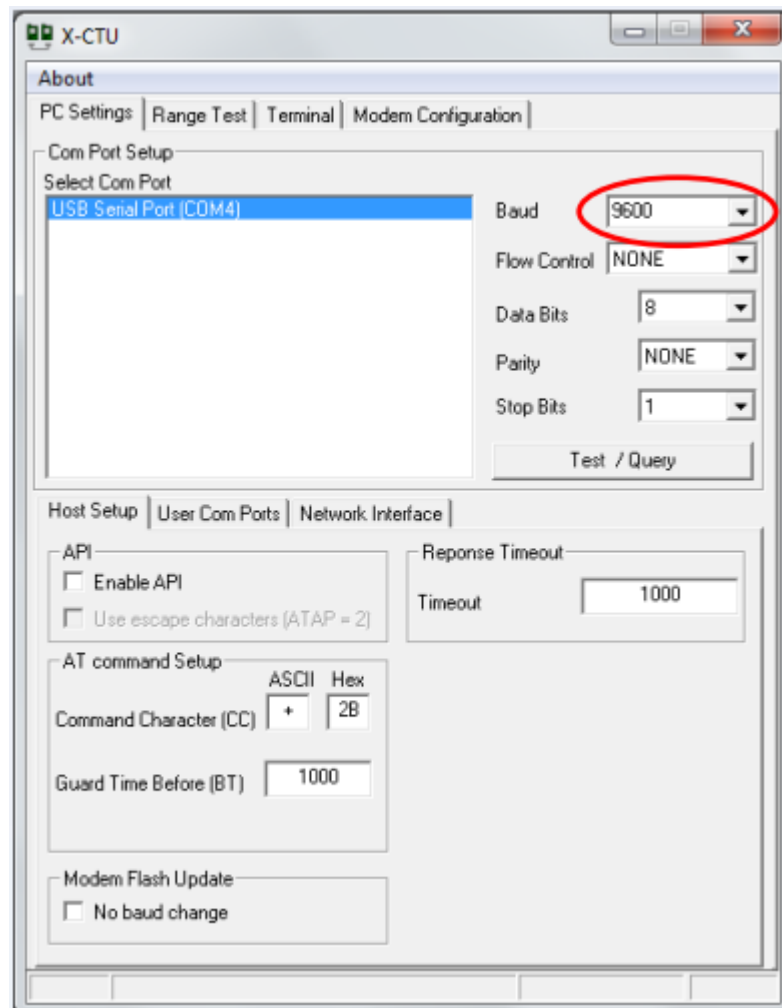


Figura 6.3 – Definições do PC

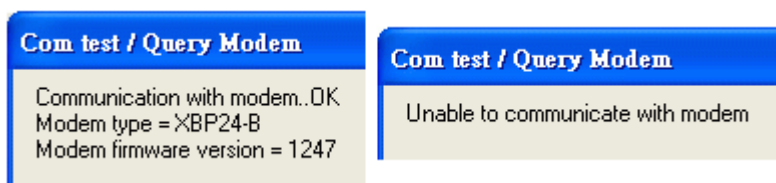


Figura 6.4 – Teste de conexão

As configurações mais utilizadas serão a PC settings e a Modem Configuration.

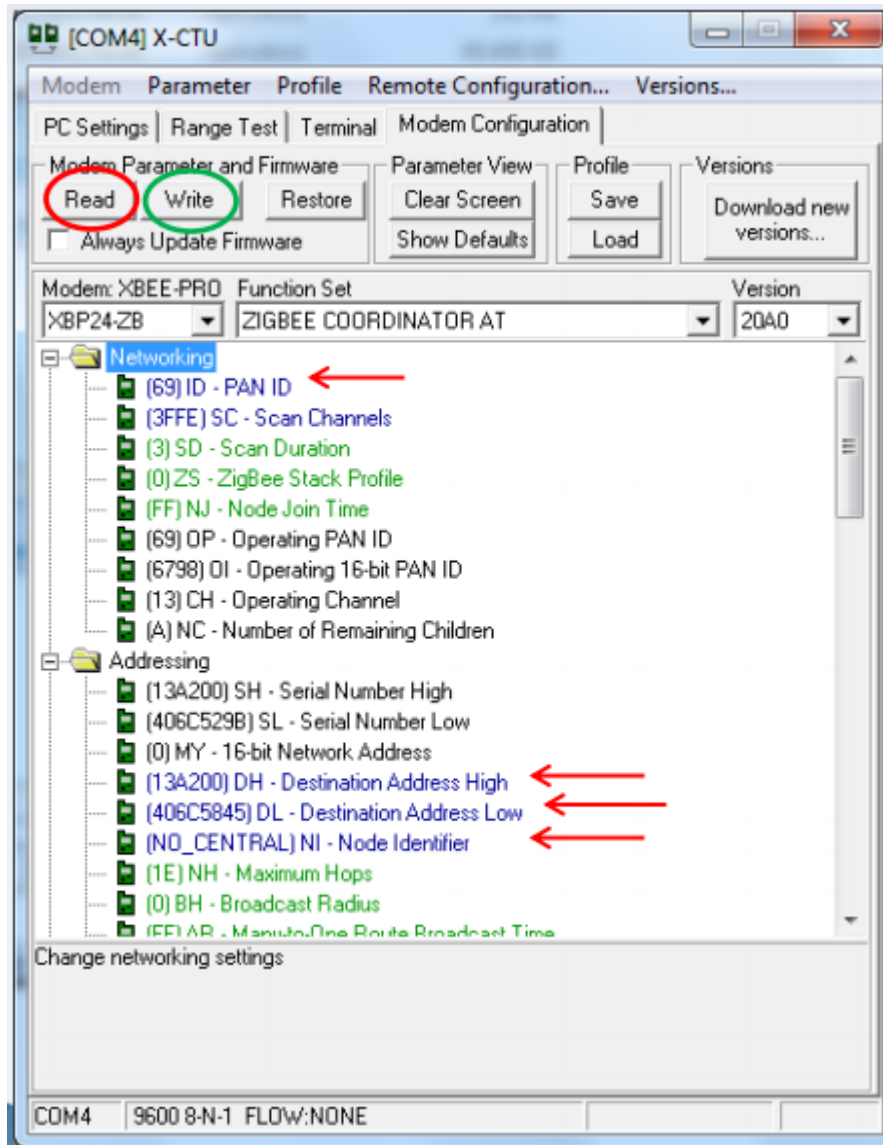


Figura 6.5 – Modem Configuration

6.3 - BKG NTRIP cliente

O BKG NTRIP cliente é um programa para recuperar simultaneamente decodificação, conversão e processamento em tempo real de fluxos de dados GNSS. Foi desenvolvido no âmbito do IAG subcomissão para a Europa (EUREF) e o Serviço Internacional de GNSS (IGS), aonde além de vir com uma ferramenta em tempo real, vem com algumas funcionalidades pós-processamento, podendo ser utilizado para dados provenientes de Broadcasters NTRIP.

O propósito do BNC é, dentre vários, recuperar em tempo real o streams GNSS disponíveis através do protocolo de transporte NTRIP de dados, gerar

correções na órbita e no relógio, sincronizadas ou não sincronizadas para transmitir efemérides, época por época, através de uma porta IP para suportar a combinação de tais fluxos de como chegar simultaneamente a partir de vários provedores de correção, realizar em tempo real o Posicionamento por Ponto Preciso para determinar uma posição do rover GNSS.

Na figura 6.6, mostra um fluxograma de BNC ligado a um receptor de GNSS que permite observações através de ligação em série ou a comunicação TCP com a finalidade de Posicionamento de Ponto Preciso.

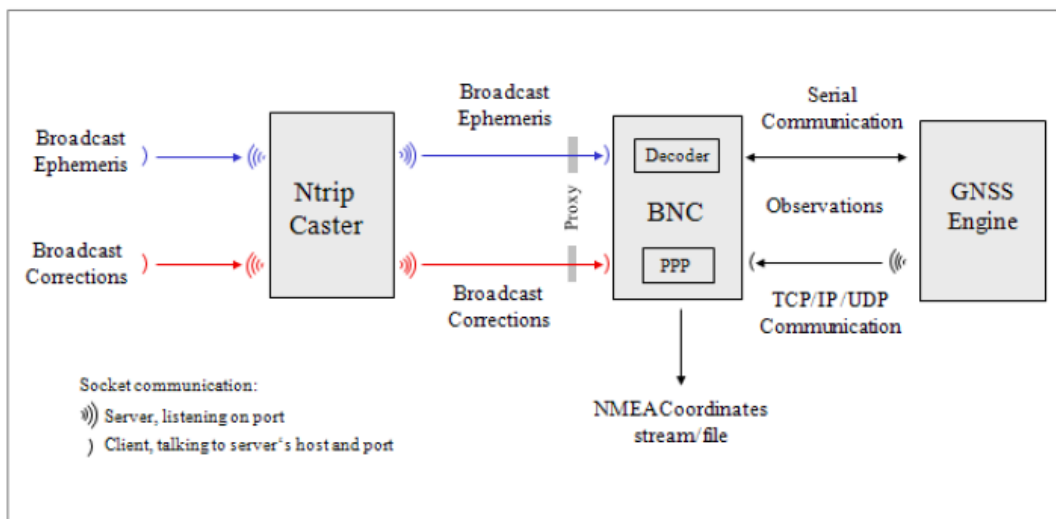


Figura 6.6 – Fluxograma BNC conectado a um receptor GNSS para PPP

A janela principal do BNC mostra a seção de “barra de menu superior”, as seções de “Configurações” com abas para definir opções de processamento, uma seção de “Streams”, uma seção de guias “log” e uma seção de “barra de menu inferior”, conforme figura 6.7:

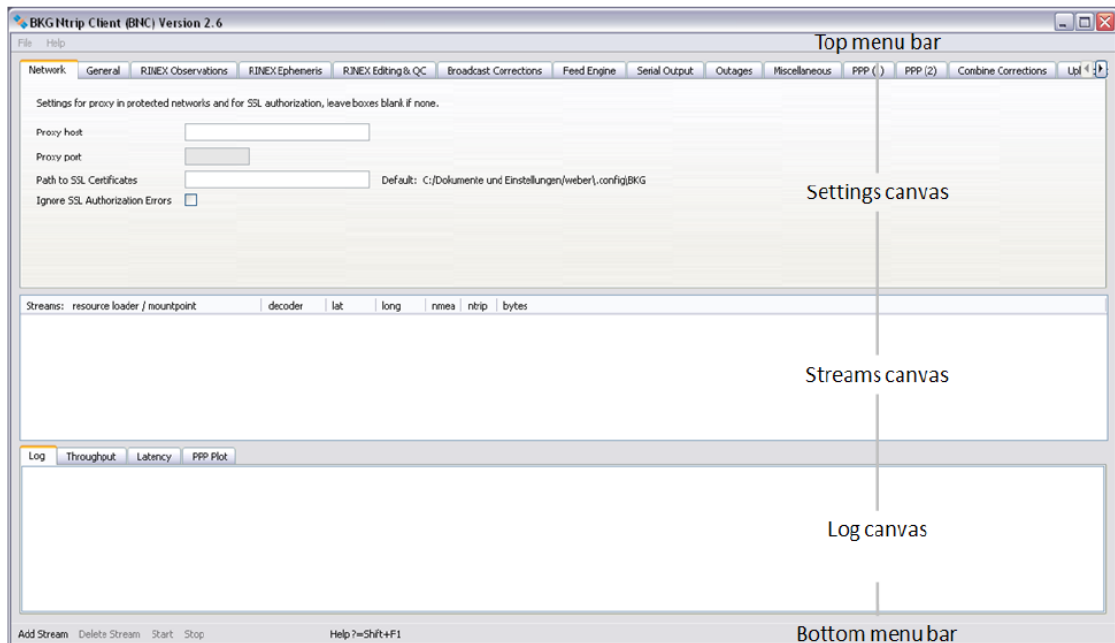


Figura 6.7 – Janela principal do BNC

Se as observações vierem em qualquer formato, RTCM versão 2 ou RTCM versão 3, serão convertidos para RINEX. Dependendo da versão RINEX e tipos de mensagens de entrada RTCM, os arquivos gerados pelo BNC podem conter dados de GPS, GLONASS, Galileo. A figura 6.8 mostra um exemplo de configuração de BNC ao converter fluxos para RINEX.

A figura 6.9 mostra o fluxograma do BNC combinando os vários fluxos de correção de transmissão para difundir o produto de combinação, resultando em arquivos SP3 e arquivos RINEX.

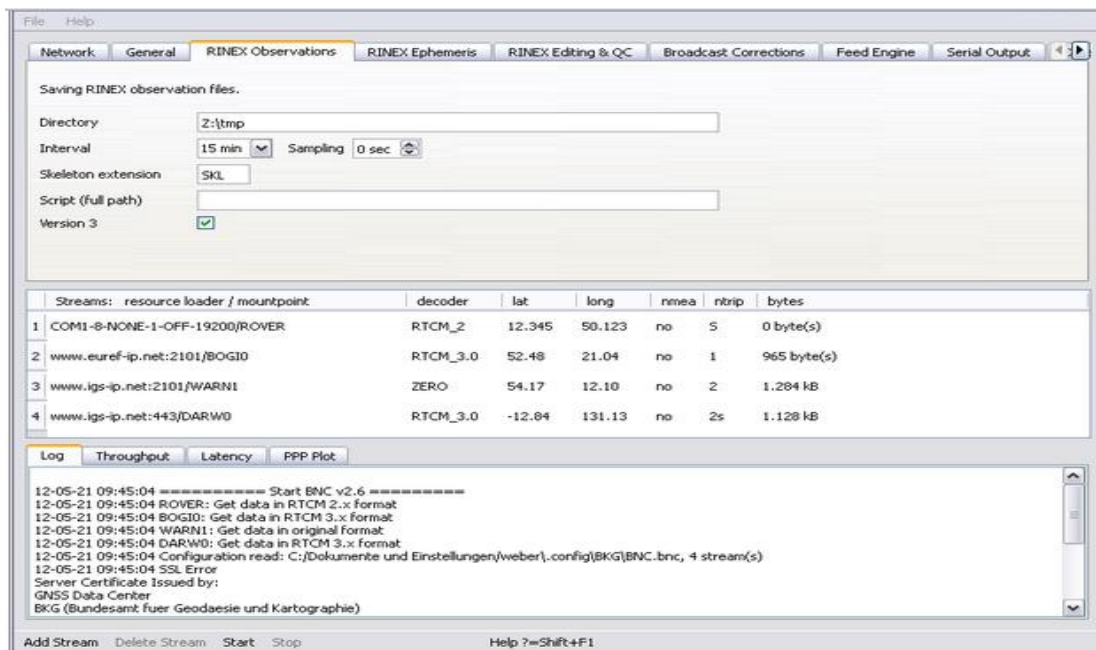


Figura 6.8 – Configuração BNC para converter fluxos para RINEX

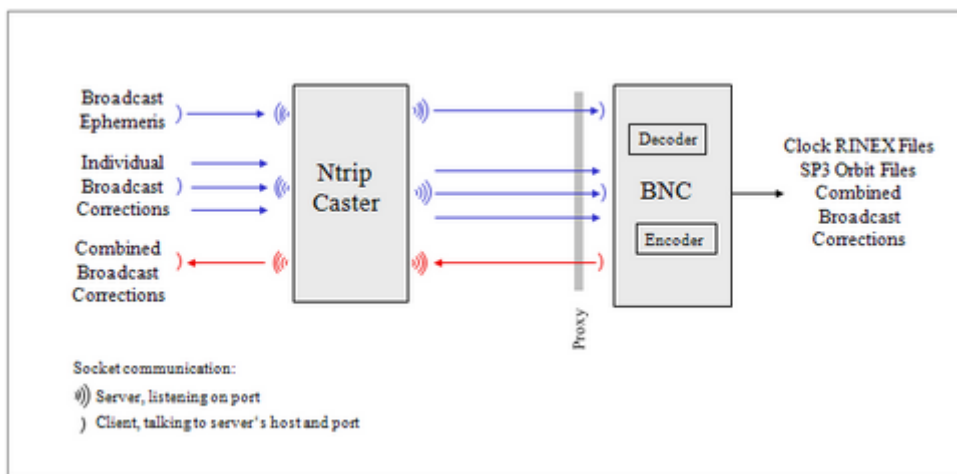


Figura 6.9 – Fluxograma do BNC combinando fluxos de correção de Broadcast

7 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Este item será separado em dois subitens: a execução do levantamento em campo e a execução do pós – processamento.

7.1 – MISSION PLANNER

Uma série de experimentos foi realizada com os programas utilizados, garantindo assim o bom funcionamento do sistema embarcado.

A figura 7.1 mostra uma das telas do *Mission Planner*, onde nesta tela é possível visualizar todos os dados do veículo durante seu trajeto. Esses dados de telemetria envolvem: posicionamento da unidade, altitude, velocidade, orientação, distância a pontos pré – determinados, entre outros, além da possibilidade de gerar um arquivo de ocorrências (logs). Abaixo segue algumas de suas características:

- Entrada ponto e clique em Waypoint, usando o Google Maps;
- Comandos Select com missão de menus drop – down;
- Baixa arquivos de log de missão e analisa – os;
- Configura as definições de APM;
- Interface com o simulador de trajeto no PC para criar um simulador de UGV hardware-in-the-loop completo;
- Verifica a saída do terminal serial na APM.



Figura 7.1 – Mission Planner

Ao conectar a placa Ardupilot ao computador, ele reconhecerá uma porta COM (COM12) e sua respectiva placa (Arduino Mega 2560). É necessário selecionar a porta, logo em seguida selecionar a taxa de transmissão que é 115.200. Após esses procedimentos, é feita a conexão com a placa, conforme a figura 7.2.



Figura 7.2 – Conexão do Mission Planner com a Ardupilot

A figura 7.3 mostra o posicionamento do veículo no local para sua trajetória. Na figura 7.4 tem – se o trajeto triangular pré – definido que o veículo irá executar das coordenadas obtidas, onde a distância do Home até o waypoint 1 e do Home até o waypoint 2 é de 9,04 metros.

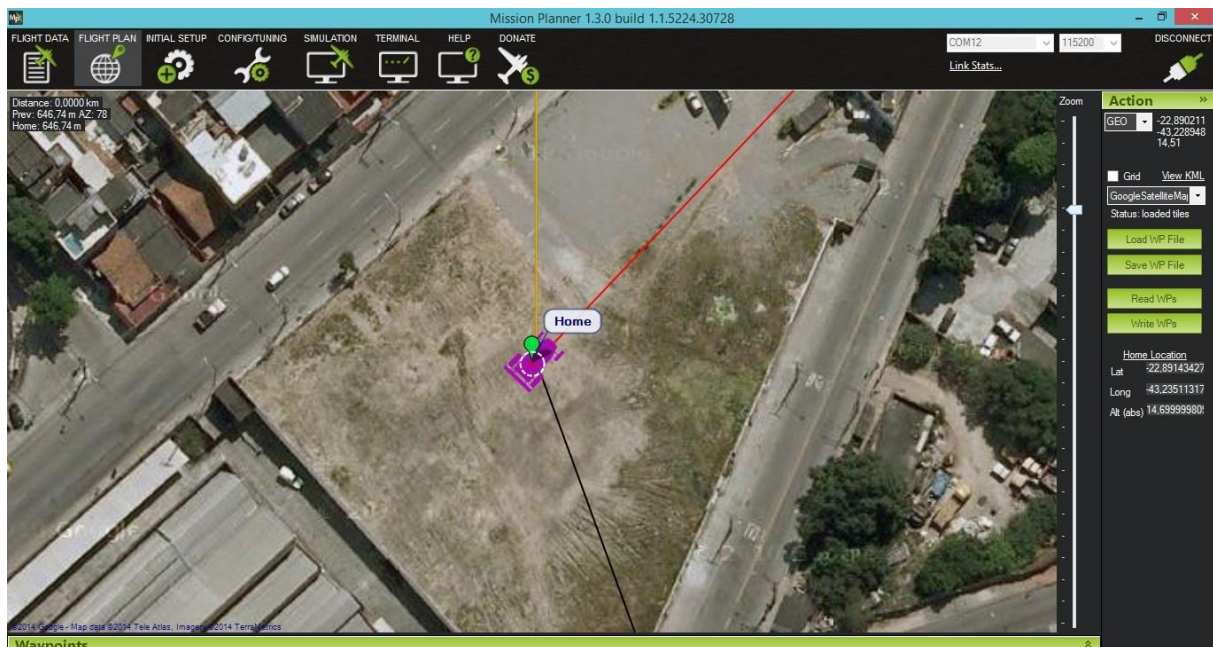


Figura 7.3 – Posicionamento do veículo

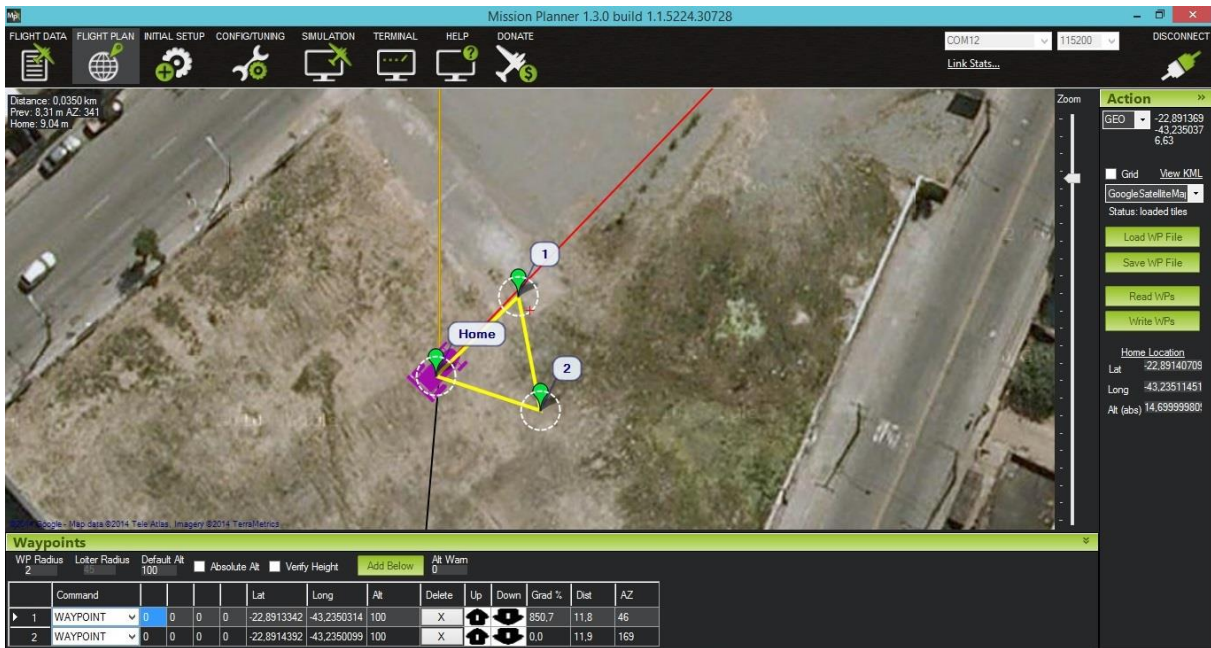


Figura 7.4 – Trajetória triangular realizada pelo veículo

Na figura 7.5 tem – se o trajeto trapezoidal também pré – definido sendo executado o trajeto com as coordenadas obtidas. A distância do Home até o waypoint 1 é de 6,75 m, do waypoint 1 até o 2 é de 12,25 m, do waypoint 2 até o 3 a distância é de 5,27 m, do waypoint 3 até Home é de 8,55 m.



Figura 7.5 – Trajetória trapezoidal realizada pelo veículo

Ao definir a trajetória, o veículo realizou o percurso pré – definido e apresentou o seguinte comportamento, em cada trajetória realizada. Na figura 7.6 mostra o veículo sendo utilizado pelo controle remoto, fazendo um percurso aleatório.

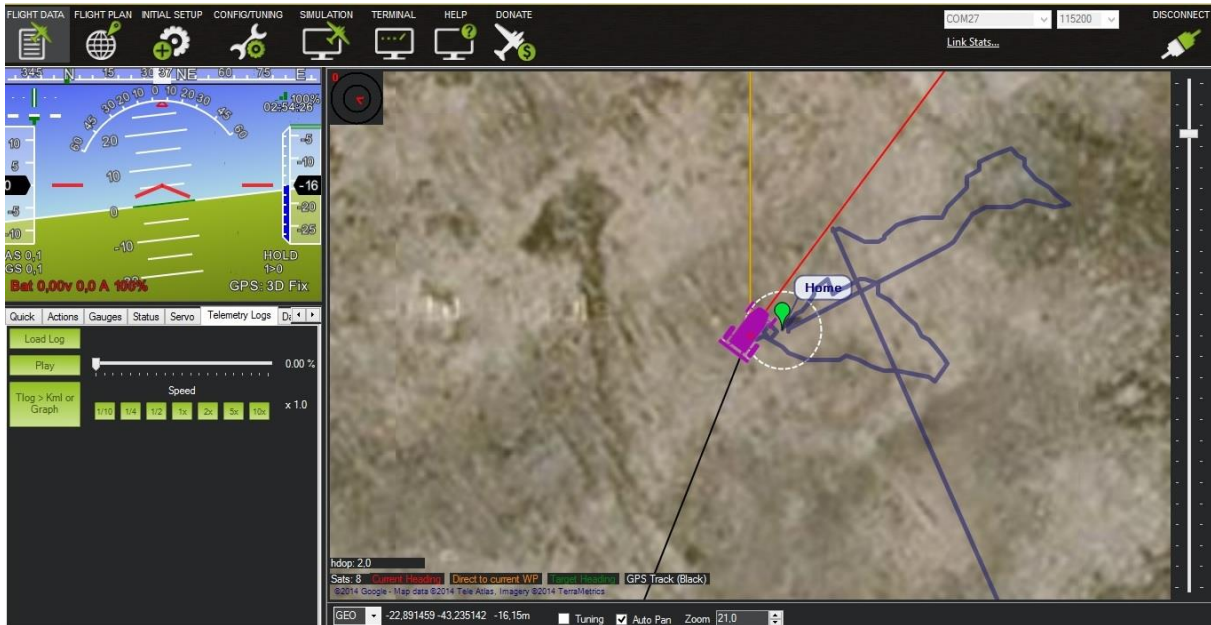
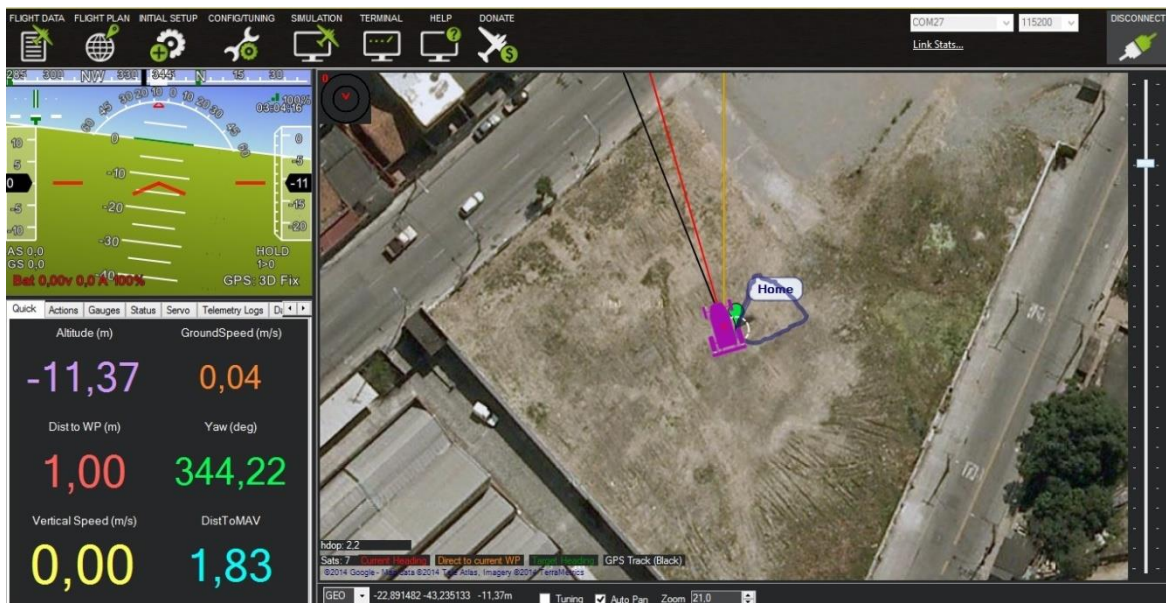
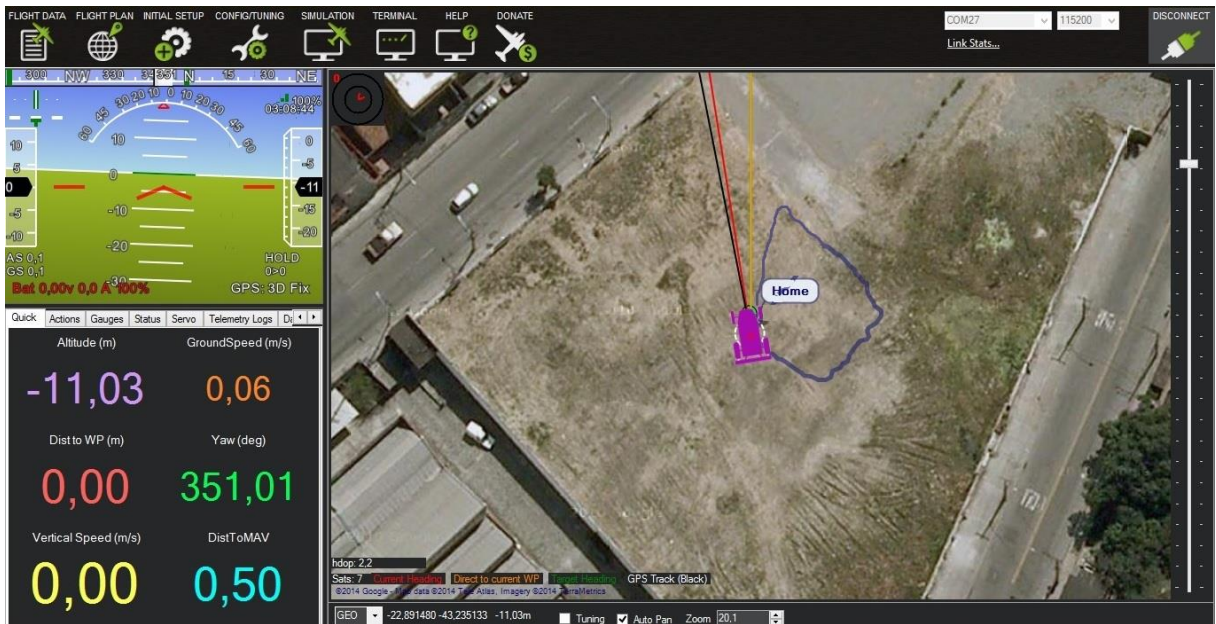


Figura 7.6 – Percurso real do veículo com controle remoto

Nas figuras 7.7 e 7.8 tem – se o percurso do veículo em relação a trajetória pré – definida.



7.7 – Percurso real do veículo com trajetória pré – definida triangular



7.8 – Percursos reais do veículo com trajetória pré – definida triangular

Após as trajetórias executadas, o veículo fez o percurso de forma autônoma, com toda a instrumentação como GPS, bússola, acelerômetro, giroscópio, sempre em comunicação com o computador recebendo as correções NTRIP.

Com o funcionamento do motor, começam a surgir vibrações. Os movimentos do motor criam forças, divididas basicamente em três: força inercial, provocada pelo movimento alternado e a força centrífuga, provocada pelo movimento rotatório. A terceira força é criada pela variação de pressão dentro da câmara de combustão. Na figura 7.9 tem – se o gráfico da vibração quando em movimento. Quando não havia aceleração o gráfico ficava próximo de zero, mas ao acelerar, havia uma variação.



Figura 7.9 – Vibração apresentada ao acelerar

Para que diminuísse a vibração e a coleta de dados fosse a mais confiável possível, o sistema embarcado foi projetado para estar no centro de gravidade do veículo, numa plataforma conforme a figura 7.10.

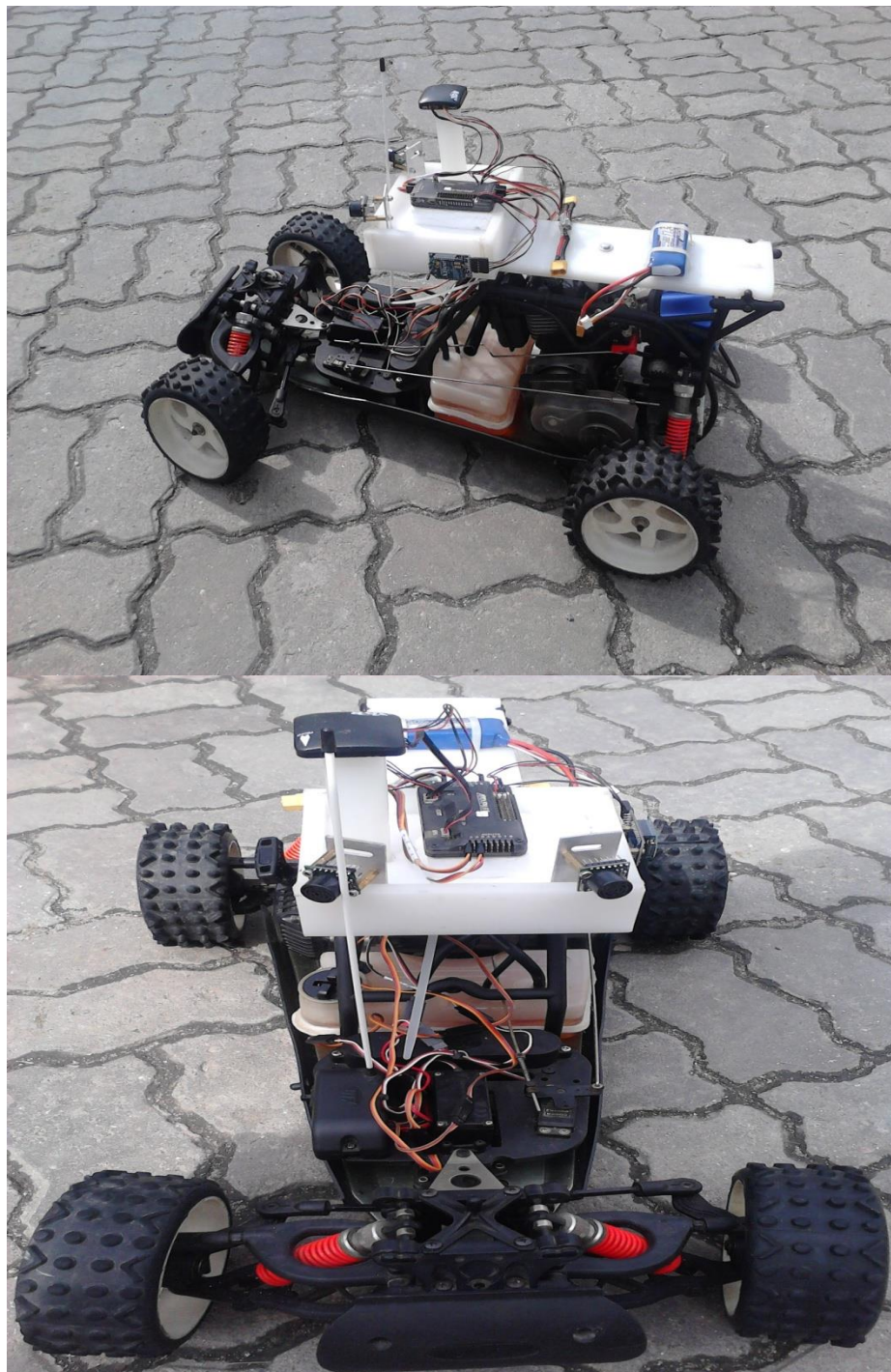


Figura 7.10 – Plataforma projetada para o sistema embarcado

Os experimentos foram realizados inicialmente na Praça General Tibúrcio, em frente ao Instituto Militar de Engenharia (Figura 7.11). Porém estava apresentando interferências, prejudicando assim os resultados obtidos e o trajeto do automodelo. Além da dificuldade com a comunicação com o rádio, o GPS não tinha um bom desempenho e a XBee estava oscilando constantemente.

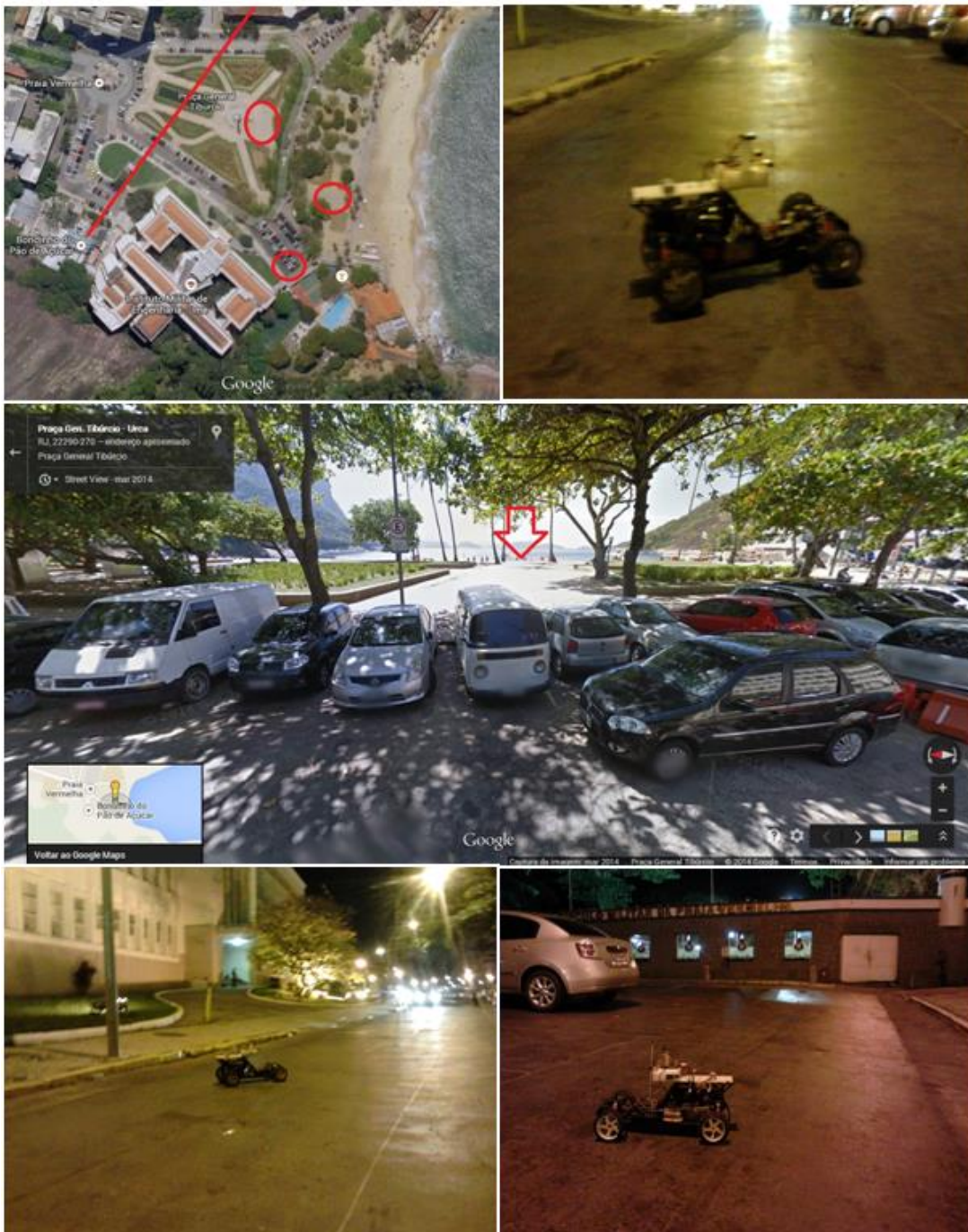


Figura 7.11 – Testes na Praça General Tibúrcio

Em seguida foi realizado testes dentro de um condomínio, em Benfica/Rio de Janeiro, com a regularidade do solo e a ausência de qualquer tipo de interferência à visada do céu, tendo assim o melhor lugar dentre os disponíveis para a realização dos testes (Figura 7.12).



Figura 7.12 – Vista terrestre do local dos testes

7.2 – DADOS COLETADOS PELA CORREÇÃO

Para que seja avaliado o sinal coletado, se faz necessário conhecer suas coordenadas com melhor precisão possível do local realizado os testes.

Para realizar o DGPS foi utilizada a estrutura do NTRIPCaster localizado no IBGE, onde as estações utilizadas foram RIOD e ONRJ, ambas no Rio de Janeiro. O NTRIPCaster se encarrega de distribuir os dados via internet das estações conectadas. No DGPS as correções são enviadas ao usuário, o qual se aplica às suas observações e realiza o posicionamento.

A figura 7.13 mostra o fluxo dos dados nessa aplicação. Os dados das estações de referência são enviados para o NTRIPCaster que por sua vez também utiliza a internet para levar os dados até o veículo. Como o automodelo é utilizado nessa pesquisa como estação móvel, os dados também são transmitidos via NTRIPCaster e recebidos pelo BNC. Os dados da estação móvel são utilizados na geração da correção final.

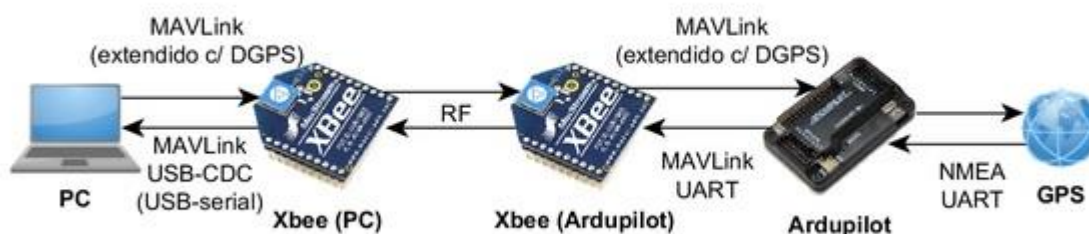


Figura 7.13 – Fluxo dos dados

Foi utilizado o programa NTRIP BNC, onde adaptações e alterações foram realizadas. As bibliotecas utilizadas nas alterações foram a bncrinex e a bncwindows. No BNC, há os fluxos necessários para a realização do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) em tempo real, onde é possível selecionar na barra inferior, opção “Add stream” (Figura 7.14). Os fluxos das órbitas transmitidas e das correções são obtidos no servidor caster do IBGE.

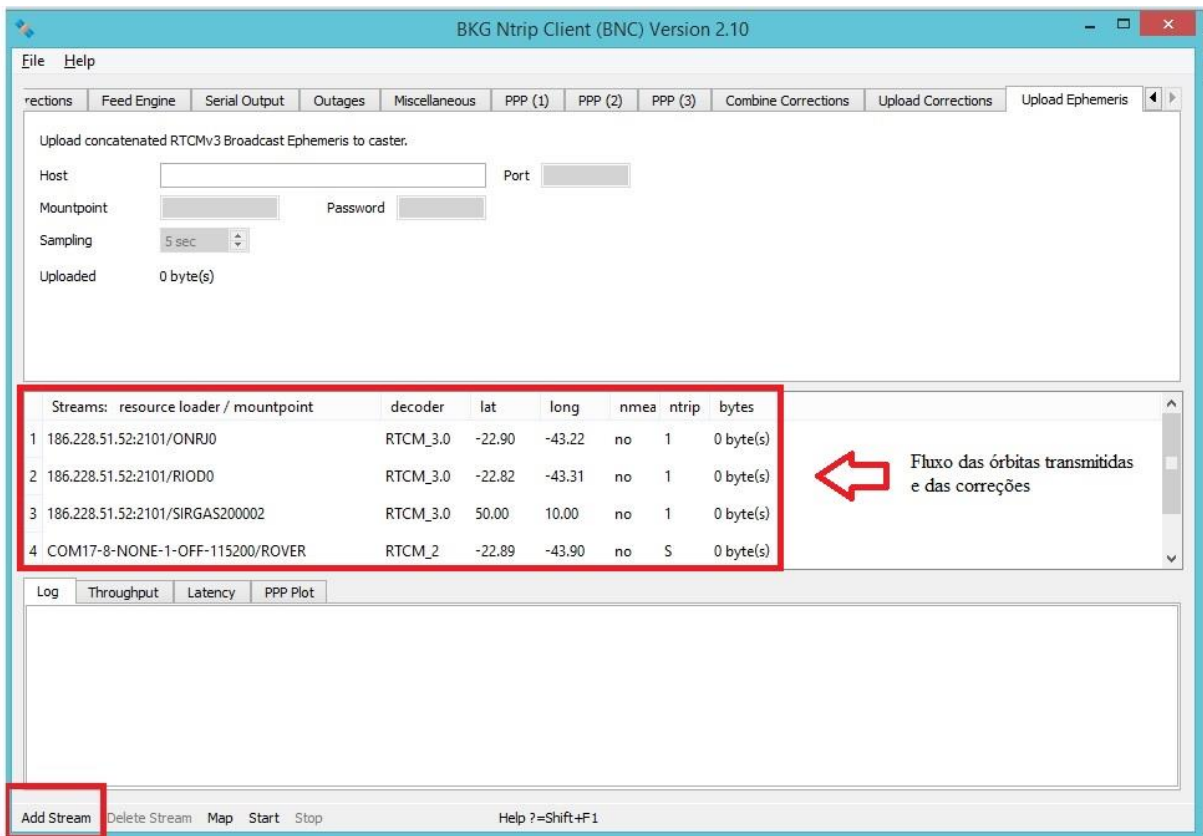


Figura 7.14 – Tela principal do BNC

Para obter as streams, primeiro é necessário o usuário preencher um cadastro e registrar como usuário de serviço, no site do IBGE. Após esse procedimento, terá acesso a essas informações, onde no programa BNC, após o procedimento descrito acima, será encaminhado para uma outra tela, conforme figura 7.15.

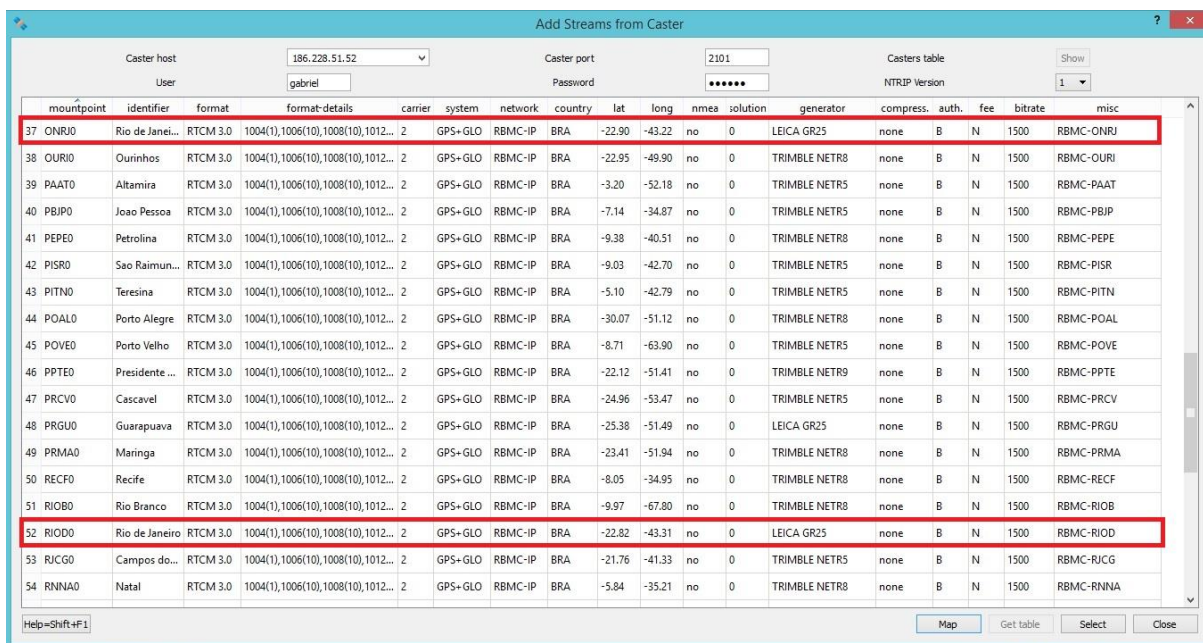


Figura 7.15 – Selecionando as estações do servidor do IBGE

Ao realizar o cadastro, o servidor pode ser acessado pelo endereço IP 186.288.51.52 e opera na porta 2101. Essa porta é reservada para a transmissão das correções diferenciais obtidas pelo programa cliente NTRIP. É gerado um usuário e senha que, após os procedimentos acima, obtém – se o streams do servidor do IBGE. Em seguida, seleciona – se o stream da porta serial (Figura 7.16), para obter as informações vindas do automodelo sendo transmitidas pela XBee.

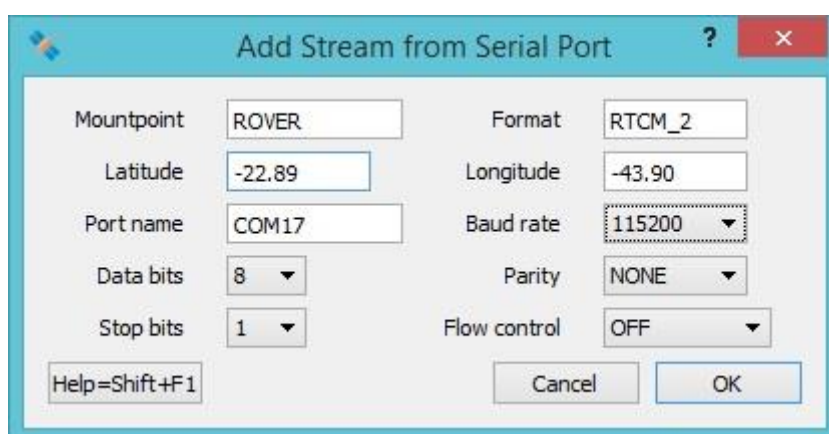


Figura 7.16 – Configuração da porta serial

Ao utilizar o programa desenvolvido em Java, é possível que se escolha o valor da latência a ser simulada, permitindo assim a determinação da acurácia (precisão e tendência), para cada valor de latência. Na figura 7.18 tem – se o resultado da distribuição planimétrica das coordenadas obtidas com as estações RIOD e ONRJ. Em cada situação houve uma latência de 0 (1), 5 (2), 10 (3), 15 (4), 20 (5) e 25 (6) segundos.

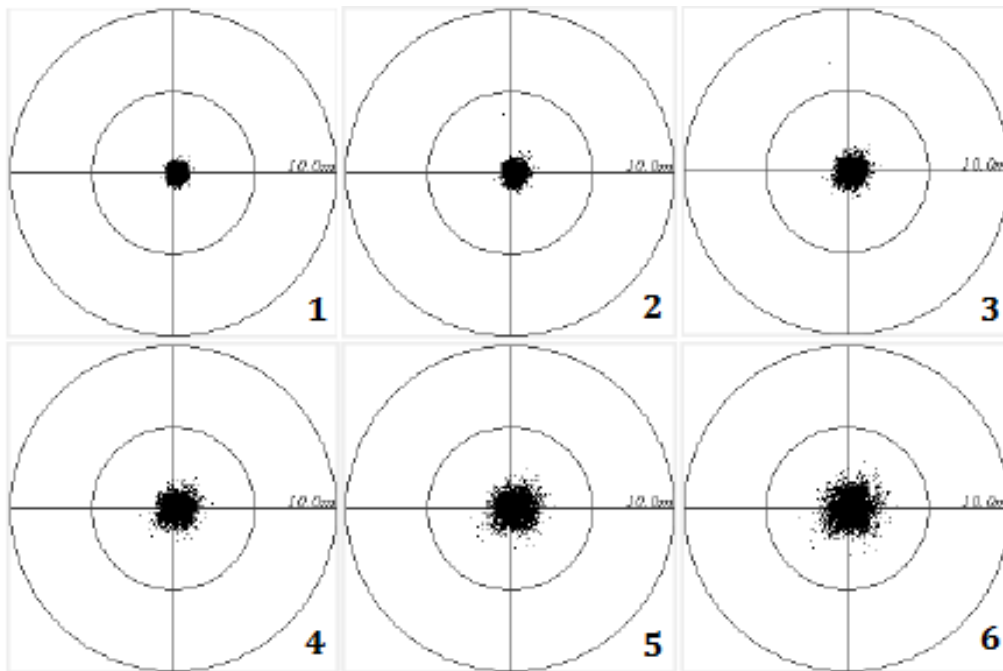


Figura 7.18 – Dispersão planimétrica das coordenadas DGPS ONRJ

Foi calculado as distâncias entre cada ponto coletado e o ponto definido pelo IBGE onde, posteriormente, foi extraído uma média dessa distância. O GPS U-blox trabalha com frequência de até 5 Hz, conforme mostra a figura 7.19.

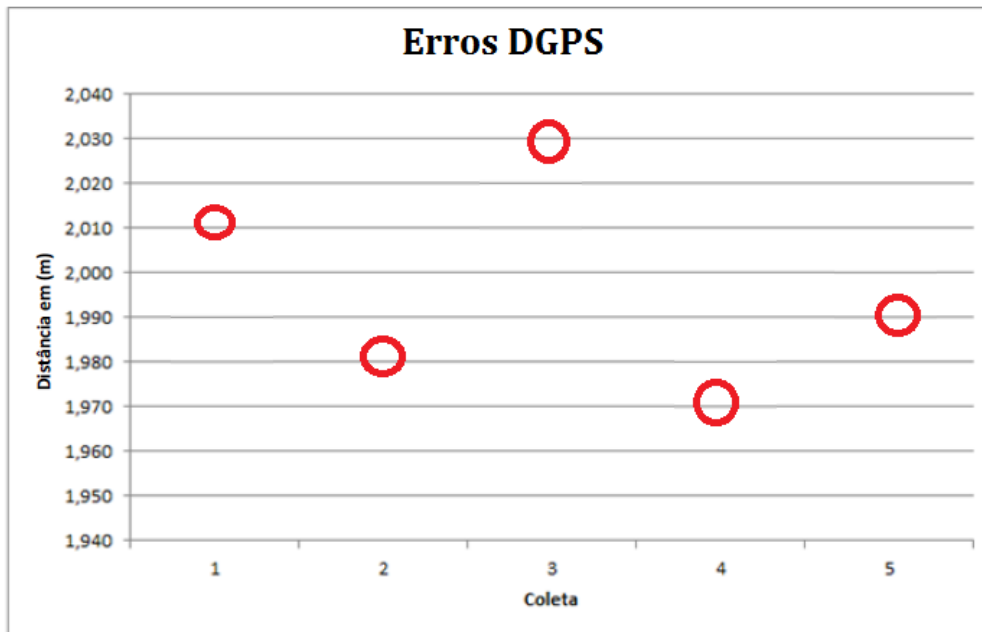


Figura 7.19 – Erro médio calculado em coleta de DGPS

8 - CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de GPS, DGPS, conceitos que são utilizados para descrever cálculos envolvidos no DGPS. Foi apresentado ainda o método de configuração para obtenção da correção para a posição do automodelo.

O principal foco desta pesquisa foi a utilização da internet para realizar a transmissão de dados do DGPS. Através de uma eletrônica de baixo custo, com um sistema totalmente controlado e com GPS, e comunicação sem fio via XBee para obtenção da correção dos dados obtidos, foi possível fazer com que o automodelo realizasse uma trajetória pré – definida com acuraria e precisão. Através dessa metodologia é possível a obtenção da geração de correções DGPS através de observáveis transmitidas pela internet. É possível serem geradas pelo usuário ou por qualquer outro computador que esteja conectado a internet e serem retransmitidas, através de enlaces de rádio.

8.1 – SUGESTÕES FUTURAS DA PESQUISA

Além de ser possível a implementação de vários outros sensores, é possível a modificação no algoritmo de fusão sensorial.

O uso de câmera é possível fazer todo o processamento de imagem, identificando o ambiente e realizando o trajeto sem falhas e sem problemas. Sensores ultrassônicos para desviar de obstáculos ou fazer com que a plataforma móvel venha diminuir a velocidade até parar. Um sistema onde seja possível o veículo trafegar em lugares como túneis e próximos a morros, pois dificultam com que o sistema embarcado tenha um ótimo sinal dos satélites.

A aplicação de uma placa onde acesse a internet direta do sistema embarcado, facilitando assim a comunicação e não se limitando em seu alcance, pois a XBee tem uma limitação de alcance. Sensores que verifiquem o desempenho do motor a combustão, assim coletando informações necessárias para que se tenha um ótimo funcionamento.

9 - BIBLIOGRAFIA

ABADIE, A. K. **Acelerômetro MEMS para Navegação Inercial**, 2011. 106f. (Dissertação de Mestrado) Engenharia Eletrônica e Computação, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.

AXELSON, J. **Embedded Ethernet and Internet Complete**. 1ª Edition. Lakeview Research LLC, Madison – USA, 2003.

BAJRACHARYA, M.; MAIMONE, M.W.; HELMICK, D.. **Autonomy for Mars Rovers: Past, Present and Future**. IEEE Computer, Vol. 41, Issue 12, Dec. 2008 p. 44-50.

BINJAMMAZ, T.; AL-BAYATTI, A.; AL-HARGAN, A. **GPS Integrity Monitoring for an Intelligent Transport System**. 10th Workshop on Positioning Navigation and Communication (WPNC), 2013, p. 1 – 6.

BROWNING, B.; DESCHAUD, J. E.; PRASSER, D.; RANDEP, P. **3D Mapping for high-fidelity unmanned ground vehicle lidar simulation**. The International Journal of Robotics Research, p. 1349 – 1376, 2012.

BUENO, S. S.; AZEVEDO, H.; MIRISOLA, L. G. B.; PAIVA, E. C.; RAMOS, J. J. G. **UMA PLATAFORMA PARA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM ROBÓTICA TERRESTRE DE EXTERIOR**. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Brasília: [s.n.]. 2009.

BURKE, J. F. **Moonlight in Miami: A field study of human-robot interaction in the context of an urban search and rescue disaster response training exercise**. Graduate School Theses and Dissertations, 2004.

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; JÚNIOR, N. J. M.; ABREU, M. A.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S.. **RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS**. *II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*.
http://www.ibge.gov.br/canal_artigos/pdf/2008_RBMC_em_Tempo_Real_via_NTRIP_e_seus_beneficios_nos_levantamentos_RTK_e_DGPS.pdf Acesso: 25 de outubro de 2012.

CEUB /ICPD. Curso de GPS e cartografia básica.

DAMMALAGE, T. L.; SRINUANDEE, P.; SAMARAKOON, L.; SUSAKI, J.; RISAHAKIT, T. **Potential Accuracy and Practical Benefits of NTRIP Protocol Over Conventional RTK and DGPS Observation Method**. Disponível em http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/ma06_102.htm . Acesso: 25 de outubro de 2012.

DIYDRONES (2009). <http://www.diydrones.com/notes/ArduPilot> (Acesso em 01/03/2013)

FONG, T.; THORPE, C. **Vehicle Teleoperation Interfaces**. Autonomous Robots, v. 11, p. 9 – 18, 2001

FUALDES, T. D.; BARROUIL, C. J.. **Perception planning for an Unmanned Ground Vehicle**. Robotics and Autonomous Systems, v. 11, p. 87 – 96, 1993.

GIBBS, W.. **Innovations from a robot rally**. Scientific American. Vol. 294, January 2006, p. 64-71.

GINGICHASHVILI, S. (2007). **Darpa's urban challenge 2007**.
<http://www.thefutureofthings.com> . Acessado em 05/06/2013.

HASANAN, K.; SAESAR, L. B.; HERAWAN, T. **A Hardware-In-the-Loop Simulation and Test for Unmanned Ground Vehicle on Indoor Environment**. International Workshop on Information and Electronics Engineering (IWIEE), 29, p. 3904 – 3908, 2012.

HELTON, W. S.; HEAD, J.; BLASCHKE, B. A. **Cornering Law: The Difficulty of Negotiating Corners With an Unmanned Ground Vehicle**. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2013

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS Theory and Practice**. 4 ed. Wien: Springer-Verlage, 1997. 326p.

HONEYWELL, **Datasheet HMC5883L**, 2013.

IEEE 802.15.4 Standard Report: **Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS)**. The Institute of Electrical Electronic Engineers, Inc. New York, USA, 2003.

JIN, W.; ZHAN, X. **A Modified Kalman Filtering via Fuzzy Logic System for ARVs Location.** International Conference on Mechatronics and Automation. Harbin, China: IEEE. 2007. p. 711 – 716.

JONES, K. S.; JOHNSON, B. R.; SCHMIDLIN, E. A. **Teleoperation Through Apertures: Passability Versus Driveability.** Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, v. 5, n. 1, p. 10 – 28, March 2011.

JFR (2008, a, b, c) **Special Issues on the 2007 DARPA Urban Challenge.** Journal of Field Robotics, Part I – Aug. 2008 (25) nº 9; Part III, Oct. 2008 (25) nº 10.

JUNG, C. R.; OSÓRIO, F. S.; KELBER, C.; HEINEN, F. (2005) “**Computação embarcada: Projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes**”, In: **Anais do CSBC’05 XXIV Jornada de Atualização em Informática (JAI).** São Leopoldo, RS: SBC, v. 1, p. 1358 – 1406.

<http://osorio.wait4.org/palestras/jai2005.html> (Acesso em 21/01/2014).

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down.** 3ª Ed., São Paulo: Person Addison Weseleys, 2006.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying.** Wiley & Sons, Incorporated, John, 1995, 584 p.

LIMA, T. C. B. **Desenvolvimento de um sistema de custo reduzido para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS.** Universidade Estadual de Campinas, 2006.

LIN, W. C.; TSUI, H. R. **On dual ultrasound sensor technique for unmanned vehicles.** Automation in Construction I, p. 153 – 165, 1992.

LUMELSKI, V. J.; STEPANOV, A. A. **Dynamic Path Planning for a Mobile Automaton with Limited Information on the Environmet.** IEEE Transactions on Automatic Control, v. AC-31, n. 11, p. 1057 – 1063, Nov 1986.

MANOHARAN, S. **On GPS Tracking of Mobile Devices**. IEEE Computer Society Washington, DC, USA, p. 415 – 418, April 2009.

Manual Duratrax Firehammer.

MASON, G. L.; GATES, B. Q.; MOORE, V. D. **Determining forces required to override obstacles for ground vehicles**. Journal of Terramechanics, v. 49, p. 191 – 196, 2012.

MCROBERTS, Michael. **Beginning Arduino**. TIA – Technology in Action, NewYork, USA, 2010, pp.1-3.

MESSIAS, A. R. **Controle Remoto e Aquisição de Dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4)**. Artigo On-Line, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm> (Acesso em 15/07/2013).

MIHAI, H.; CLAUDIU, D. **GPS Based Road Monitoring System**. IEEE International Conference on Automation Quality and Testing Robotics (AQTR), 2010, p. 1 – 4.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS – Descrição, fundamentos e aplicações**. Editora Unesp, 2000, São Paulo-SP.

MURPHY, R. **Human-Robot Interaction in Rescue Robotics**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. 34, n. 2, May 2004.

OLSON, C. F. **Probabilistic Self-Localization for Mobile Robots**. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 16, p. 55 – 66, Feb. 2000.

PARK, C. H.; KIM, Y. D.; JEONG, B. **Heuristics for determining a patrol path of an unmanned combat vehicle**. Computers & Industrial Engineering, 63, p. 150 – 160, 2012.

SALES, D.; SHINZATO, P.; PESSIN, G.; WOLF, D.; OSÓRIO, F. **Vision-based Autonomous Navigation System Using ANN and FSM Control.** Latin American Robotics Symposium and Intelligent Robotics Meeting, p. 86 – 90, 2010.

SANTOS, M.M. **Desenvolvimento de um sistema de localização e reconstrução de trajetórias para um veículo terrestre.** Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, p. 136. 2009.

SCHWARZ, K. P.; CHAPMAN, M. A.; CANNON, M. E.; GONG, P. **An integrated INS/GPS approach to the georeferencing of remotely sensed data.** *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 59, nov., 1993.

SCHWARZ, Klaus-Peter; EL-SHEIMY, Nasser. **Future positioning and navigation technologies.** Calgary, 1999. Report from Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary (UofC).

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications.** Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003.

STENTZ, A. **Optimal and Efficient Path Planning for Partially-known Environments.** Proc. Of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 1994.

SUNDARAMURTHY, M. C.; CHAYAPATHY, S. N.; KUMAR, A.; AKOPIAN, D. **Wi-Fi Assistance to SUPL-based Assisted-GPS Simulators for Indoor Positioning.** Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE, p. 918 – 922.

TEIXEIRA, Luis Marcelo. **Desenvolvimento de uma aplicação com o protocolo Zigbee aplicado em instrumentação de ensaio de voo.** 162f. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

THRUN, S. et al. (2006) “**Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge,**” Journal of Field Robotics, Vol. 23, No 9, June 2006, p.661-692.
<http://robots.stanford.edu/papers.html> (Acesso em 08/09/2013).

VASCO, LUCIANA S. T.; PEREIRA, KÁTIA DUARTE. **Introdução ao sistema de posicionamento global – GPS;** 2007, 39P.

THRUN, S. et al. **Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge.** Journal of field robotics, Vol. 23, Nº 9, June 2006, p. 661-692.
<http://robots.stanford.edu/papers.html> (Acesso em 12/06/2013)

TITTERTON, D.H.; WESTON, J. L. **Strapdown Inertial Navigation Technology.** IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 5, London, 1997.

URMSON, CHRIS et al. **Autonomous driving in urban environments: Boss and the Urban Challenge.** In: Journal of field Robotics. Vol. 25, Issue 8 (august 2008). Special Issue on the 2007 DARPA Urban Challenge. Part I Pages 425-466.

WOLF, D. F.; SIMÕES, E. D. V.; OSÓRIO, F. S.; TRINDADE JUNIOR, O. **Robótica Inteligente: Da Simulação às Aplicações no Mundo Real.** [Tutorial] In: André Ponce de Leon F. de Carvalho; Tomaz Kowaltowski. (Org.). *JAI – Jornada de Atualização em Informática da SBC.* Rio de Janeiro: SBC – Editora da PUC. RJ, 2009, v. 1, p. 279 – 330.

WOLF, D. F.; et al. **CaRINA Intelligent Robotic Car: Architectural Design and Applications.** Journal of Systems Architecture, p. 1 – 25, 2013.

ZUCATO, FÁBIO L. **Rede Zigbee gerenciada por sistema de monitoramento remoto utilizando TCP/IP e GPRS.** Tese de mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.