SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito 19 / 3 / 99

Assinatura:

**Sistemas Alternativos para Obtenção de Imagem
Aérea e sua Aplicação na Agricultura**

Nilda Pessoa de Souza

Orientador: Prof. Dr. Onofre Trindade Junior

*Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de
Computação – USP, como parte dos requisitos para a obtenção do título de
Mestre em Ciências – Área de Ciências de Computação e Matemática
Computacional*

**USP– São Carlos
Março de 1999**

A minha mãe que sempre lutou para que seus filhos tivessem oportunidade de estudar e assim ter um futuro melhor.

A Deus e ao meu Anjo da Guarda que sempre me acompanharam ao longo da minha jornada.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Onofre Trindade Junior, pelo imenso apoio, orientação, confiança, dedicação e amizade durante todo o desenvolvimento deste trabalho. E, principalmente, pela escolha de um projeto que será de grande utilização prática na empresa onde trabalho.

À minha família, em especial ao meu irmão José e as minhas irmãs Nilva e Maria, e aos meus amigos que mesmo distantes me incentivaram e apoiaram nas horas difíceis.

Ao Dr. Francisco J. P. Zimmermann, meu amigo e conselheiro acadêmico, pela confiança e incentivo sempre demonstrados.

Aos amigos Garga, Omar, Cláudia, Maristela, Tatiana, Juliana, Magnus pela amizade e ajuda na concretização deste projeto.

Ao Emílio e ao Lisandro pela amizade e colaboração durante o desenvolvimento deste projeto.

Ao Prof. Armando pela amizade, incentivo e boa vontade no esclarecimento de dúvidas.

Ao Dr. Lúcio (CNPDIA/EMBRAPA), pela amizade, sugestões e apoio técnico.

Ao Prof. Trevelin e sua esposa Cristina, pelo incentivo e amizade.

Ao Dr. Cruvinel (CNPDIA/EMBRAPA), por acreditar na minha capacidade profissional.

Aos amigos e colegas do ICMC, especialmente às Maringirls pelos momentos de estudo e lazer.

A todo pessoal do suporte: bibliotecárias, técnicos e em especial à Luiza do protocolo e às secretárias Marília, Beth e Laura pela atenção e disponibilidade.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o desenvolvimento deste projeto.

Ao CNPAF/EMBRAPA, que me proporcionou o apoio financeiro, sem o qual não seria possível a realização deste projeto e a oportunidade do meu crescimento profissional e pessoal.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	4
2.2. SENSORIAMENTO REMOTO	5
2.3. INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS AÉREAS.....	5
2.4. PROBLEMAS AGRÍCOLAS DETECTADOS POR IMAGENS AÉREAS.....	7
2.5. MEIOS PARA A OBTENÇÃO DE IMAGENS AÉREAS.....	8
2.5.1. <i>Aeronaves Convencionais</i>	8
2.5.2. <i>Satélites</i>	10
2.5.3. <i>Torres de Filmagem</i>	12
2.5.4. <i>Aeronaves sem Tripulação</i>	13
2.6. TIPOS DE AERONAVES SEM TRIPULAÇÃO.....	14
2.6.1. <i>Instrumentação para Voo</i>	16
2.7. SISTEMAS PARA TRANSMISSÃO DE DADOS VIA RÁDIO.....	17
2.7.1. <i>Protocolos – A Camada de Enlace de Dados</i>	18
2.7.2. <i>Protocolos para a Transmissão de Dados Via Rádio</i>	22
2.7.3. <i>Técnicas para Compressão e Transmissão de Dados</i>	28
2.7.4. <i>Equipamentos de Comunicação Disponíveis Comercialmente</i>	31
2.8. OUTROS PROJETOS DE PESQUISA RELACIONADOS.....	36
2.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
3. SISTEMAS PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS AÉREAS COM AERONAVES SEM PILOTO.....	41
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	41
3.2. ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA.....	42
3.3. SISTEMA DO TIPO I – AEROMODELOS CONVENCIONAIS.....	45
3.3.1. <i>Definição do Sistema do Tipo I</i>	46
3.4. SISTEMA DO TIPO II - VÔO NÃO VISUAL	47
3.4.1. <i>Definição do Sistema do Tipo II</i>	48
3.4.2. <i>Definição de um Protocolo Simplex para Transmissão de Dados</i>	51
3.5. SISTEMA DO TIPO III - VÔO AUTÔNOMO	53
3.5.1. <i>Definição do Sistema do Tipo III</i>	54
3.6. CORRELAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS E SUAS APLICAÇÕES	55
3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
4. PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DO TIPO I.....	58
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	58
4.2. DIAGRAMA DE BLOCOS DETALHADO DE UM SISTEMA DO TIPO I.....	58
4.3. SELEÇÃO DOS COMPONENTES	60
4.3.1. <i>Aeromodelo</i>	60
4.3.2. <i>Motor</i>	61
4.3.3. <i>Sistema de Rádio Controle</i>	62
4.3.4. <i>Transmissor de Áudio e Vídeo</i>	62
4.3.5. <i>Câmera de Vídeo</i>	62
4.3.6. <i>A Câmera Fotográfica Digital</i>	63
4.3.7. <i>O Sistema de Controle da Câmera Fotográfica</i>	71
4.4. ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	75
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76

5. RESULTADOS OBTIDOS NA OPERAÇÃO DO SISTEMA IMPLEMENTADO	77
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	77
5.2. DESCRIÇÃO DOS AMBIENTES DE TESTE E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS.....	77
5.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	78
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
6. CONCLUSÕES.....	88
6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	88
6.2. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	89
6.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS E CONTINUIDADE DA PESQUISA	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
APÊNDICE I - ESQUEMA ELÉTRICO DO CONTROLADOR DA CÂMERA	95
APÊNDICE II - ALGORITMO DE CONTROLE DA CÂMERA	96
APÊNDICE III - PROGRAMA DE CONTROLE DA CÂMERA.....	99
GLOSSÁRIO	122

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTAÇÃO <i>PACKET RADIO</i>	25
FIGURA 2 - <i>FRAME</i> DO PROTOCOLO AX.25.....	27
FIGURA 3 - COMPONENTES DO PROJETO AURORA	37
FIGURA 4 - AEROSONDE.....	38
FIGURA 5 - UAV (<i>UNINHABITED AERIAL VEHICLES</i>)	39
FIGURA 6 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DO TIPO I	46
FIGURA 7 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DO TIPO II.....	48
FIGURA 8 - PACOTE DE DADOS	52
FIGURA 9 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DO TIPO III.....	55
FIGURA 10 - DIAGRAMA DE BLOCOS DETALHADO DO SISTEMA DO TIPO I	59
FIGURA 11 - ÂNGULO DE VISÃO DA CÂMERA.....	65
FIGURA 12 - DESLOCAMENTO ANGULAR NO EIXO DE ROLAMENTO DA AERONAVE.....	69
FIGURA 13 - EQUIPAMENTO DE INTERFACE.....	72
FIGURA 14 - DIAGRAMA DE ESTADOS DO SOFTWARE DA INTERFACE	74
FIGURA 15 - ASPECTO GERAL DO AEROMODELO E DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DA CÂMERA.....	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - <i>MODEMS</i> DE RF - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	35
TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE O TIPO DE APLICAÇÃO E AS ÁREAS DE TESTE DE CADA IMAGEM	44
TABELA 3 - DADOS DA INSTRUMENTAÇÃO DE BORDO	52
TABELA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE AS APLICAÇÕES PREVISTAS E A APLICABILIDADE DOS TIPOS DE SISTEMAS DEFINIDOS.....	56

RESUMO

Este trabalho apresenta meios alternativos para a obtenção de imagens aéreas e sua utilização na agricultura. Imagens aéreas representam uma ferramenta importante na avaliação de diversos aspectos da atividade agrícola moderna, principalmente aqueles que não podem ser avaliados ao nível do solo. Três tipos de sistemas são definidos com níveis crescentes de complexidade e funcionalidade. Diversos critérios são propostos para a avaliação do sistema e para a determinação da sua adequação às principais aplicações na agricultura. Foi construído um protótipo de sistema do Tipo I baseado em aeromodelos que foi utilizado na avaliação da tecnologia e validação do projeto. Foram utilizados componentes facilmente encontrados no mercado, existindo potencial para a evolução técnica do sistema construído em cada um dos seus componentes básicos: a aeronave, o método de controle e o meio de captação das imagens. Os resultados obtidos mostram que o sistema pode substituir, a baixo custo, os meios convencionais utilizados até então para a obtenção dessas imagens.

ABSTRACT

This work presents alternative methods to take aerial pictures and their use in agricultural applications. Aerial pictures represent an important tool to evaluate several parameters in modern agricultural practice, especially those that cannot be detected at ground level. In this text, three types of system are defined with increasing levels of complexity and usability. A Type I system is further detailed and implemented, allowing for an evaluation of the technology. It was based almost entirely on model airplanes and commercially available parts. There is plenty of room for further improvements in the system, especially on the performance of the airplane, on the flight control mechanism and on the quality of the pictures taken. The results show that the approach is an effective low-cost alternative to other procedures carried out conventionally for agricultural evaluation purposes.

Capítulo 1

1. Introdução

A agricultura ocupa um papel importante na economia do Brasil e para que ela continue crescendo é necessário que exista um gerenciamento apropriado das suas informações. Para alcançar esse objetivo têm sido utilizados novos métodos de acompanhamento e monitoramento dos problemas agrícolas, tais como, a fotografia aérea e o sensoriamento remoto por satélite.

O avanço tecnológico verificado nos últimos anos resultou na redução de custo e no aumento do poder computacional, na proliferação de software para processamento de dados georeferenciados, na disponibilidade de controladores de tempo real e de sistemas de navegação de precisão e no desenvolvimento de sensores eletrônicos. Estes fatores tornaram mais fácil e confiável a aquisição de dados em tempo real necessária na atividade de sensoriamento remoto.

O objetivo deste trabalho é estudar meios para obtenção de imagens aéreas e sua utilização na agricultura. Na fotografia aérea convencional são utilizados aviões comerciais de 2 ou 4 lugares com baixa velocidade de voo e equipamentos convencionais de fotografia. O custo desse sistema incluindo o custo do equipamento, da manutenção e do piloto é elevado, tornando seu uso impraticável na maioria das propriedades rurais. Entretanto, o sistema descrito pode ser substituído por um outro baseado em uma aeronave rádio controlada. Uma aeronave desse tipo nada mais é que um avião convencional em escala reduzida. Essas aeronaves são conhecidas por aeromodelos, principalmente quando são utilizadas para entretenimento.

Com a diminuição do tamanho físico dos equipamentos de rádio, da instrumentação e dos equipamentos de fotografia convencional ou digital, é possível a substituição do avião convencional pelo aeromodelo com grande economia no custo inicial do sistema. Mais que isso,

os custos de manutenção e do piloto são reduzidos consideravelmente, pois no caso de um aeromodelo qualquer pessoa pode ser treinada para operá-lo em um curto espaço de tempo.

Diversas possibilidades de implementação do sistema são investigadas e definidas neste trabalho, com níveis crescentes de complexidade e funcionalidade. Nessa definição, é revisto cada um dos subsistemas componentes, inclusive aqueles que podem ser obtidos comercialmente. Também é definido um protocolo de comunicação via rádio entre o aeromodelo e um computador situado na base de operação em solo para a transmissão de dados da instrumentação de bordo.

Um sistema baseado em aeromodelos e equipamentos de rádio controle convencionais foi desenvolvido para a avaliação do emprego da tecnologia no monitoramento de problemas agrícolas. Os resultados obtidos são altamente adequados à utilização do sistema em várias aplicações, embora algumas delas necessitem de características especiais que podem ser atendidas em futuras implementações do sistema.

1.1. Organização do Texto

Este trabalho está dividido em seis capítulos. No segundo capítulo são apresentados os conceitos básicos envolvidos no projeto proposto, bem como uma revisão dos seus subsistemas componentes, possibilidades de implementação e áreas de aplicações.

No terceiro capítulo são definidos três tipos de sistemas (Tipo I, Tipo II e Tipo III) para obtenção de imagens aéreas, incluindo-se a correlação da aplicação de cada um desses sistemas com as aplicações revistas no capítulo 2 e a definição de um protocolo simplex para transmissão de dados.

No quarto capítulo são apresentados o projeto e a implementação de um sistema do Tipo I, bem como a descrição dos componentes utilizados.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos na operação do sistema implementado, a descrição dos ambientes de teste e os procedimentos operacionais.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões finais do trabalho, enfatizando-se as contribuições feitas e sugestões para trabalhos futuros e continuidade da pesquisa até aqui realizada.

Nos apêndices são apresentados o esquema elétrico do controlador da câmera, o algoritmo de controle e o programa de controle.

E por fim, tem-se o glossário contendo as palavras cujo sentido é de uso específico das áreas afins.

Capítulo 2

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Considerações Iniciais

Este capítulo tem por objetivo apresentar os diversos tópicos relacionados com a obtenção de imagens aéreas e sua utilização na agricultura. Nesse sentido, na seção 2.2 é discutida a importância do sensoriamento remoto na agricultura e na seção 2.3 são discutidas as técnicas para a interpretação dessas imagens. Os problemas na agricultura que podem ser detectados por imagens aéreas são apresentados na seção 2.4 e os diversos aspectos envolvidos na obtenção de imagens aéreas são discutidos na seção 2.5. Na seção 2.6 são revistos alguns conceitos relacionados com aeronaves sem tripulação, em particular, e sua adequação ao projeto proposto. Para que seja possível pilotar e obter imagens aéreas com referência geográfica, é necessário que o aeromodelo disponha de instrumentação de bordo. As informações coletadas pelo aeromodelo podem ser transmitidas para terra em tempo real através de um enlace de dados via rádio. Alguns meios físicos e protocolos que podem ser utilizados para isso são apresentados na seção 2.7. Na seção 2.8 são apresentados outros projetos que utilizam aeronaves rádio controladas para a obtenção de imagens aéreas. Finalmente, na seção 2.9 são apresentadas as considerações finais pertinentes aos tópicos abordados neste capítulo.

2.2. Sensoriamento Remoto

“É a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, uma área, ou um fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, a área ou o fenômeno sobre investigação” [LLI87].

O sensoriamento remoto aplicado na agricultura é usado como um recurso de informação suplementar para o planejamento e análise de problemas. Essa abordagem tem-se tornado operacional em alguns países. Neste contexto, o sensoriamento remoto é considerado como uma ferramenta suplementar, apesar de ser um substituto para os sistemas de coleta de dados convencionais [KAD94 et al.].

Uma das principais formas de sensoriamento remoto é a obtenção de imagens aéreas obtidas através de satélites, aviões, torres de filmagem, etc. Imagens aéreas têm sido largamente utilizadas pela comunidade agrícola para documentar e identificar muitos problemas e soluções na agricultura que poderiam passar despercebidos se examinados ao nível do solo. Alguns exemplos desse uso são: avaliação de danos causados por doenças, por insetos, pela ação dos ventos e do fogo, problemas de aplicação de herbicidas e fertilizantes, avaliação da uniformidade na irrigação, avaliação de novos produtos e mapeamento sistemático dos solos de caráter: geológico, topográfico e hidrológico [AER99].

Imagens aéreas constituem um meio eficaz para avaliar o desempenho da área de terra cultivada. Juntamente com o levantamento e teste de solo e da exploração de campo, a imagem aérea prova ser uma contribuição valiosa para qualquer programa de gerenciamento de produção de culturas.

2.3. Interpretação de Imagens Aéreas

A interpretação de uma imagem aérea é uma habilidade desenvolvida com treinamento e prática. É feita utilizando-se elementos interpretativos e desenvolvendo-se relacionamentos possíveis a partir de experiências anteriores. A interpretação da imagem requer uma confirmação pela avaliação em campo e pelo uso de todas as informações disponíveis da área de terra sob análise [REI97 et al.].

A interpretação começa com a inspeção visual das diferenças em 4 elementos fotográficos: tom, textura, padrão e forma. Essas diferenças podem ser causadas por características do solo, ambientais, padrões da vegetação e tipo da cultura, entre outras.

A interpretação exata determina o valor final da imagem aérea como meio de auxílio no gerenciamento da cultura [REI97 et al.]. São citadas a seguir algumas características que necessitam ser observadas:

- **Tom** é a cor ou o brilho relativo de um objeto. Essa é a característica mais visível para a distinção de culturas diferentes e a identificação de uma área com problemas dentro de uma mesma cultura. Uma cultura de soja, por exemplo, reflete mais radiação de cor verde e infravermelha do que uma cultura de milho. Portanto, em fotos coloridas, a cultura da soja aparece com uma tonalidade verde escuro e a cultura de milho com a tonalidade verde amarelado. Em fotos infravermelhas, a cultura de feijão aparece com uma tonalidade vermelho escuro e a cultura de milho apresenta uma cor alaranjada. Enfraquecimento, clorose e necrose são evidências de plantas com problemas de estresse e produzem diferenças de tonalidade na cor do filme infravermelho. A cor vermelha indica uma planta saudável, ao passo que as cores vermelhas claras, rosa e rosa azulado indicam plantas sob condições de estresse;
- **Textura** é o grau de aspereza ou suavidade na impressão visual. Normalmente reflete a densidade e variação da altura de uma planta em uma cultura. Por exemplo, uma cultura de soja tem uma textura aveludada, macia, enquanto fileiras de milho largamente espaçadas parecem muito mais ásperas;
- **Padrão** é a repetição das características de tom ou de textura. Por exemplo, padrões lineares podem ser causados pela compactação do solo, resultantes da aração, tráfego no solo ou pela técnica empregada na aplicação de calcário ou fertilizante;
- **Forma** é configuração geométrica usualmente definida por diferentes tons. A forma mais visível em um campo é aquela causada por alterações no tipo de solo. A forma é vista no contraste entre as cores escuras e as cores claras do solo. São mais visíveis no solo pouco drenado do que no mais drenado. Um mapa de estudos de solo de áreas fotografadas pode ser usado para identificar os diferentes solos presentes.

2.4. Problemas Agrícolas Detectados por Imagens Aéreas

Uma imagem aérea providencia um excelente “mapa base” para a determinação da eficácia de um sistema de cultivo, a qual deve ser avaliada considerando-se o tipo de solo e as condições do campo quando as operações de preparo do solo foram executadas. Imagens aéreas podem também mostrar os padrões de compactação do solo os quais são quase impossíveis de se ver ao nível do solo. Comparando-se com os padrões e o crescimento irregular das culturas, as áreas com problemas de compactação do solo são facilmente identificáveis [REI97 et al.].

Imagens aéreas podem ser utilizadas também para localizar e medir áreas precisas da cultura com crescimento de plantas reduzido ou irregular, consequência de problemas de clima, de solo, e ou de plantio. Outra utilização de imagens aéreas é na detecção e medição de áreas de estresse na cultura causado pelo excesso ou falta de precipitação ou por drenagem inadequada.

Apesar da dificuldade de se ver ao nível do solo, a falta ou excesso de calcário ou de fertilizante pelo mau funcionamento do equipamento de aplicação, ou erro do operário, são facilmente detectados em imagens aéreas.

O estresse da cultura resultante da infestação por insetos ou doenças pode frequentemente ser detectado em imagens aéreas. A investigação no campo é necessária para confirmar a infestação e sua extensão, para identificar a peste, e determinar o potencial de opções de tratamento.

A infestação por ervas daninhas é muito fácil de ser vista em imagens aéreas. Usualmente pode ser detectado um controle insuficiente na aplicação do herbicida devido às irregularidades na aplicação, ao clima desfavorável, ao desvio ou ao espectro inadequado do herbicida selecionado.

Uma imagem aérea também pode ser utilizada para a avaliação do problema de ervas daninhas perenes. Com o monitoramento, pode-se observar uma infestação sendo contida ou em crescimento e quais herbicidas estão funcionando melhor nas áreas com problemas. Prejuízos na cultura causados por uma sobrecarga de herbicidas também podem ser observados em imagens aéreas.

2.5. Meios Para a Obtenção de Imagens Aéreas

As imagens aéreas podem ser feitas a partir de aviões leves ou helicópteros, satélites, aeronaves e também por torres de filmagem. Nas seções seguintes são apresentados maiores detalhes desses meios para a obtenção de imagens aéreas.

2.5.1. Aeronaves Convencionais

A dificuldade de obtenção de imagens aéreas não difere da dificuldade de obtenção de imagens ao nível do solo. A maior diferença está no planejamento. Programar um voo com o avião apropriado e com as condições de tempo apropriadas pode ser um pouco complicado. A comunicação piloto/fotógrafo é essencial, ou seja, é necessário instruir o piloto exatamente sobre o que se pretende fazer [TRE98].

Para se obter uma boa imagem aérea são necessárias boas condições atmosféricas. Pode-se usar filtros, mas é preferível que o céu não esteja coberto por nuvens.

Os melhores aviões para a obtenção de imagens aéreas são os de tamanho médio e estáveis. Normalmente os mais utilizados são do tipo Cessna modelo 172 porque eles possuem asa alta e habilidade para voar lentamente (144 Km/h), permitindo vôos a baixas altitudes (152m acima do nível solo) [TRE98].

O valor da imagem aérea para monitoramento da cultura depende de uma combinação de fatores, incluindo a câmera, as lentes, os filtros, o filme, a altitude, o ângulo da câmera e as condições de tempo [REI97 et al.].

Dois tipos de filme podem ser usados para a monitoramento aéreo de uma cultura: o filme colorido e o colorido infravermelho, cada um apresentando vantagens e desvantagens. Um grande número de produtores elegeu o uso de ambos através da montagem de duas câmeras que são operadas simultaneamente [REI97 et al.].

O filme colorido mostra a cultura na sua cor familiar (folhas normais são verdes e as folhas com clorose são amarelas), mas ele não pode detectar estresse na cultura tão bem quanto o filme colorido infravermelho. O processamento do filme colorido é comum, barato e rápido.

O filme colorido infravermelho pode tornar visível através de tonalidades e cores diferentes o que é invisível aos olhos. Ele produz alto nível de contraste entre objetos que não têm vida e folhagens naturais. Pode também detectar mudanças súbitas que ocorrem quando as plantas são afetadas por algum tipo de estresse ou estão doentes.

Alterações na concentração da clorofila, na estrutura interna e na orientação das folhas de uma planta estressada alteram a refletância da onda de luz infravermelha. Plantas estressadas geralmente refletem menos radiação infravermelha do que plantas não estressadas. Essa diferença é captada pelo filme colorido infravermelho.

As desvantagens do filme colorido infravermelho são seu custo (compra e processamento) e, o mais importante, o tempo de processamento. O custo do filme e do processamento é de menor importância em relação ao custo total da imagem aérea. O tempo de processamento comercial (duas ou mais semanas) torna o seu uso impraticável para decisões de gerenciamento de curto prazo.

Praticamente qualquer boa câmera de 35mm pode ser utilizada para a obtenção de imagens aéreas [MOD97]. Uma câmera com sistema de medição de luz incorporada tem vantagem quando é utilizado filme colorido. Para o filme infravermelho, é necessário que a câmera tenha ajuste manual do sistema medidor de luz, uma vez que os medidores de luz convencionais não fazem medidas corretas na região espectral para a qual o filme infravermelho é sensível [REI97 et al.].

A qualidade das lentes é crítica, pois imagens de boa qualidade são muito importantes na imagem aérea. Para registrar boas imagens as lentes devem ser cuidadosamente selecionadas. Elas não devem ter comprimento focal maior do que 50mm, caso contrário a área coberta por cada fotografia é muito reduzida [REI97 et al.].

Um fator que pode afetar a qualidade das imagens aéreas é a bruma atmosférica que pode causar distorção nas imagens. A bruma é a dispersão dos raios ultravioleta e da luz azul de ondas curtas pela umidade e partículas microscópicas de poeira e poluição no ar. Um tom avermelhado freqüentemente aparece nos slides ou fotos tiradas nas condições normais de verão sem o uso de um filtro de bruma. Este tom diminui a visibilidade e a resolução da imagem. O filtro de bruma

absorve os raios ultravioletas e a luz azul, proporcionando um melhor balanceamento de cor e resolução na imagem.

Quando o filme colorido infravermelho é utilizado, é necessário um filtro de lente amarelo para absorver toda luz azul que entra na câmera. A densidade do filtro e a quantidade de luz filtrada afetam o balanceamento de cor da imagem.

A altitude em que um avião deve voar depende da área a ser coberta e do comprimento focal da lente. Usualmente varia de 914m a 1828m de altitude [REI97 et al.].

O ângulo da câmera para imagem aérea pode ser vertical ou oblíquo. O ângulo vertical é tomado com a câmera apontada diretamente para baixo no solo, freqüentemente através de uma vigia no fundo do avião. O ângulo oblíquo é tomado com a câmera apontando usualmente para fora de uma janela. Imagens do horizonte exigem um ângulo oblíquo elevado [OBL97].

Para monitoramento de culturas, a imagem vertical tem algumas vantagens importantes sobre a oblíqua:

- A resolução é melhor porque cada parte da imagem fotográfica é equidistante (na oblíqua a parte superior da imagem é mais distante, o que faz com que ela branqueie e perca a cor);
- Padrões delicados podem ser mais facilmente visualizados;
- Cada foto cobre a mesma área de solo, se o avião voar em uma altura constante;
- A estimativa da área coberta é mais exata. A desvantagem da imagem vertical é que ela requer um maior grau de planejamento e preparação do que a imagem oblíqua [RSR97].

2.5.2. Satélites

Tanto a fotografia aérea quanto as imagens obtidas por satélites têm suas vantagens e desvantagens. As vantagens da fotografia aérea são: a alta resolução, técnicas bem estabelecidas, simplicidade no processamento e visibilidade de pequenos detalhes. Como desvantagens podem-se citar: cada fotografia cobre áreas pequenas, existe a possibilidade de confisco das imagens pela segurança militar e baixa possibilidade de automação [KAD94 et al.].

A resolução das imagens obtidas por satélites é um fator importante na identificação de suas características, análise e classificação [MAR81 et al.]. Geralmente a resolução influencia fortemente na exatidão da interpretação feita da imagem [LIN76].

Quatro tipos de resolução da imagem são geralmente estabelecidos: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e resolução temporal [ASP83]. Os dois tipos mais importantes no estudo de culturas são a resolução espacial e a resolução espectral.

A resolução espacial refere-se ao nível dos detalhes que aparecem na imagem fotográfica. A resolução espacial descreve o tamanho mínimo dos objetos sobre o solo que podem ser distinguidos ou mensurados separadamente. Em sistemas fotográficos a resolução espacial é expressa pelo número de pares de linhas por milímetro que podem ser identificados na imagem em um filme fotográfico.

A resolução espectral refere-se à largura das regiões do espectro eletromagnético que são sensoriadas e o número de canais usados [LIN76]. O número e a largura das bandas espectrais disponíveis para processamento são fatores importantes que definem a qualidade e a quantidade de dados que podem ser obtidos da imagem.

Em uma análise espectral convencional de uma imagem, cada *pixel* é associado com uma certa classe de uso da terra, por exemplo: cultura, área urbana, vegetação natural, deserto, etc. Cada *pixel* contém informações espectrais médias sobre a área coberta pelo *pixel*. Se cada *pixel* compreende mais de uma classe, por exemplo: arroz, algodão e um pedaço de terra desocupado, a informação espectral a partir dessas classes é registrada como uma mistura de todas as três. Tal *pixel* é chamado de *pixel* de fronteira ou de *pixel* misto. O número de *pixels* de fronteira na classificação de uma imagem é dependente da resolução do sensor do satélite e da complexidade da paisagem. No caso de estudos agrícolas, o tamanho médio do campo, a variabilidade do calendário de plantio das culturas e a data da aquisição da imagem influenciam no nível de detalhe e na exatidão da análise. Campos pequenos e um calendário dinâmico de culturas contribui para aumentar o número de *pixels* de fronteira em uma imagem. Uma alta porcentagem de *pixels* de fronteira na classificação de uma imagem limita o número de classes distintas de uso da terra que podem ser identificadas e a exatidão dessa classificação. Os seguintes fatores influenciam a análise das imagens obtidas por satélite [KAD94 et al.]:

- Complexidade da paisagem:
 - ◇ Número de culturas;
 - ◇ Tamanho de cada cultura;
 - ◇ Variabilidade das datas de plantio das culturas;
 - ◇ Condições desfavoráveis de clima e solo na cultura;
 - ◇ Quantidade de culturas intermediárias;
 - ◇ Uniformidade das condições do solo;
 - ◇ Número de classes a serem distinguidas;
- Data da aquisição das imagens;
- Resolução espacial da imagem;
- Larguras de banda do sensor disponíveis para processamento.

As vantagens das imagens obtidas por satélites incluem a existência de mais de sete bandas multi-espectrais disponíveis para processamento, alta capacidade de automação, baixo custo por unidade de área e rápida interpretação. As principais desvantagens são: baixa resolução multi-espectral, alta porcentagem de *pixels* de fronteira em áreas de paisagem complexa e incapacidade para indicar problemas na cultura, consequência da baixa resolução espacial.

2.5.3. Torres de Filmagem

Uma outra possibilidade para a obtenção de imagens aéreas de culturas agrícolas é a utilização de torres de filmagem. Uma torre de filmagem é constituída de três partes: um tripé, uma haste e um braço. O tripé possui um mancal, onde se apoia a estrutura da haste e um rolamento através do qual é possível girar a mesma. O braço é fixado na haste e suporta a câmera fotográfica ou de vídeo. Girando-se a haste, gira-se o braço podendo-se fotografar uma região de cultura ao redor do tripé. A haste é composta de tubos galvanizados de 1" de diâmetro, conectados por luvas de

união e estirados por meio de cabos de aço. A altura, incluindo o tripé, é de 8m e o comprimento do braço de 3,5m [JOR96].

As condições de luz devem ser observadas, pois a intensidade dos raios solares e o horário do dia em que são feitas as tomadas de imagens podem causar reflexos e efeitos de sombra da planta no solo. Pode-se utilizar sombreamento na área a ser filmada. Os dias nublados são os mais propícios para se fazer a filmagem, devendo-se evitar os horários com o sol a pino.

A câmera fotográfica ou filmadora deve ser selecionada de maneira que possa ser fixada na ponta da torre sem problemas e, para isso, as filmadoras portáteis são as mais práticas. Tanto na filmadora quanto na câmera é conveniente a utilização de disparadores automáticos ou por controle remoto. No caso da filmadora, pode-se levantá-la ligada, descartando-se a parte filmada na subida da haste.

A grande vantagem das torres de filmagem é a alta resolução das imagens proporcionada pela baixa altitude de operação. Por outro lado, o sistema tem operação complicada, exigindo operações de montagem e desmontagem freqüentes. Outra desvantagem é a pequena área coberta por cada imagem, tornando o sistema adequado apenas para aplicações específicas.

2.5.4. Aeronaves sem Tripulação

Aeronaves sem tripulação (UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*) incluem as aeronaves de voo autônomo e as aeronaves pilotadas remotamente. Imagens aéreas têm sido obtidas em larga escala através do uso de aeronaves rádio controladas, que fazem parte da classe dos veículos pilotados remotamente (RPV - *Remotely Piloted Vehicle*). Os problemas mais importantes na utilização de aeronaves são o seu pequeno peso e vibração, o que dificulta a tomada de fotos nítidas utilizando filmes de alta resolução [KAT98].

As câmeras utilizadas em aeronaves precisam ser escolhidas utilizando-se alguns critérios. O critério mais importante é o peso. O peso de uma aeronave determina parcialmente o quão lento ela poderá voar e quanto mais lenta ela voar, mais nítidas serão as imagens obtidas. A câmera utilizada deve ter um sistema de disparo eletrônico e motor para avanço automático do filme. Câmeras que não dispõem desses recursos podem ser adaptadas, embora essa operação possa não ser simples. Também é bastante útil a existência de controle automático de exposição.

Outro desafio na tomada de imagens aéreas a partir de aeronaves rádio controladas é saber para onde a câmera está apontando. Alguns métodos são necessários para o posicionamento da aeronave sobre o alvo. Alternativamente, pode-se realizar um número maior de fotos e fazer a seleção das imagens adequadas para a análise que se pretende realizar após o processamento do filme.

2.6. Tipos de Aeronaves sem Tripulação

Aeronaves sem tripulação seguem os mesmos princípios de operação que os de aeronaves convencionais. Normalmente esse tipo de aeronave é construído em tamanho pequeno, algumas vezes uma réplica em escala reduzida de uma aeronave convencional. Ela contém todos os elementos da versão em tamanho real do sistema, incluindo motor, superfícies de controle, etc. Os três tipos mais comuns de aeronaves são: aviões, helicópteros e balões. Todos esses tipos podem ser utilizados com sucesso na obtenção de imagens aéreas. Neste trabalho será focado o uso de aviões pela sua maior simplicidade de construção e operação, embora os balões e helicópteros apresentem melhores características de voo a baixas velocidades e altitudes.

Os principais componentes de um avião rádio controlado são a estrutura do avião, o motor e o sistema de rádio. A estrutura do avião varia quanto ao seu tamanho, o perfil aerodinâmico, forma e posição das asas, a carga alar, o número e tipo de superfícies de controle, etc. Esses fatores influenciam bastante a forma de voar do avião, tornando-o mais rápido ou lento, mais ou menos fácil de pilotar, com maior ou menor capacidade de carga, etc. [NIC79].

Existem três tipos básicos de motores que equipam as aeronaves: os motores do tipo *glow*, os motores elétricos e os motores a gasolina [EWI98]. Os motores do tipo *glow* são os mais comuns e utilizam um elemento resistivo (*glow plug*) aquecido para provocar a explosão do combustível, que é uma mistura, basicamente, de metanol e óleo lubrificante. Esse elemento é aquecido por uma bateria para dar partida ao motor e se manter aquecido durante o funcionamento do motor pela temperatura e pressão da câmara de combustão. Os motores elétricos funcionam com a energia obtida de um conjunto de baterias do tipo níquel cádmio. Os motores a gasolina são motores convencionais, normalmente adaptações de motores que equipam serras elétricas e cortadores de grama. Exceto para os motores elétricos, existem versões de 2 e 4 tempos.

A grande vantagem dos motores elétricos sobre os outros tipos é o seu funcionamento silencioso, limpo e com baixa vibração. A grande desvantagem é a menor potência específica desenvolvida e o menor tempo de voo proporcionado pelas baterias, normalmente na faixa de 5 a 10 minutos.

Os motores a gasolina tem como principais vantagens a economia de combustível, resultando em maior autonomia de voo, que pode atingir mais de uma hora, e a maior confiabilidade de funcionamento. Como desvantagens, eles são normalmente mais pesados e desenvolvem menos potência que os motores do tipo *glow*.

Os equipamentos de rádio controle que equipam as aeronaves são bastante sofisticados e apresentam grande confiabilidade de operação [BOD78]. O alcance desses equipamentos está restrito, entretanto, a um círculo com raio de aproximadamente 1 quilômetro, o que é mais que suficiente quando o piloto controla a aeronave observando o seu comportamento em voo visualmente. Para efeito neste trabalho, este tipo de voo será denominado voo visual. Por voo não visual ou voo por instrumentos, entende-se o voo que é controlado por um piloto ou sistema de controle onde não é necessário que a aeronave esteja visível. Deve-se observar que essa definição é diferente da definição utilizada em aeronaves convencionais onde voo não visual se refere ao voo realizado apenas com o auxílio de instrumentos de navegação [PRO96].

As imagens aéreas para uso na agricultura exigem certas características da aeronave. Para a obtenção de imagens nítidas é importante que a aeronave possa voar em baixas velocidades e com baixa vibração. Aeronaves com baixa carga alar equipadas com motores elétricos atendem perfeitamente esses requisitos. Por outro lado, se for necessária uma alta autonomia de voo, os motores a gasolina são os mais indicados.

Quanto ao tipo e características da câmera para a obtenção de imagens fotográficas ou de vídeo, não existem grandes problemas. Podem ser encontradas no mercado câmeras leves e portáteis que satisfazem todos os requisitos necessários.

O posicionamento da câmera representa, entretanto, um problema. Como ela está fisicamente fixada ao aeromodelo, determinar o seu posicionamento significa determinar o posicionamento da aeronave, o que inclui sua altitude e atitude. A altitude é a distância do solo enquanto a atitude é a posição da aeronave em relação a um plano horizontal que passa pelo

cruzamento dos seus três eixos de controle. Nos casos mais simples, pode-se estimar o posicionamento da câmera pela observação visual da aeronave. Nos casos mais específicos, onde é necessária a precisão de posicionamento, deve-se utilizar uma instrumentação de bordo. A instrumentação de bordo também permite o voo não visual da aeronave, podendo-se atingir lugares inacessíveis para voo visual e maior cobertura geográfica.

2.6.1. Instrumentação para Voo

Para a realização de voo não visual em aeronaves são necessários diversos instrumentos de bordo. Normalmente esses instrumentos são equivalentes aos que equipam os aviões de tamanho real. É interessante notar que os primeiros aviões da era da aviação dispunham de pouquíssimos ou nenhum instrumento além dos 5 sentidos do piloto. Para a realização de voo não visual em aeronaves, são necessários, entretanto, alguns instrumentos que dependem das características do voo que se deseja realizar.

Os instrumentos de voo podem ser divididos em duas categorias: os que indicam as condições operacionais do avião e os que indicam as características do voo e posição da aeronave no espaço [PRO96].

Entre outros, os seguintes instrumentos indicam a condição operacional da aeronave:

- Instrumentos do motor:
 - ◊ Indicador de rotação;
 - ◊ Indicador de temperatura do motor;
 - ◊ Indicador da pressão do óleo;
 - ◊ Indicador da temperatura dos gases do escapamento;
 - ◊ Indicador de combustível.
- Instrumentos que indicam as características do voo e a posição da aeronave:

- ◇ Altimetro;
- ◇ Horizonte artificial ou indicador de atitude;
- ◇ Indicador de coordenação em curvas;
- ◇ Bússola;
- ◇ Indicador de velocidade do ar;
- ◇ Bússola giroscópica;
- ◇ Variômetro;
- ◇ GPS (*Global Positioning System*);
- ◇ ILS (*Instrumented Landing System*);
- ◇ Radiogoniômetro;
- ◇ *Transponder*.

Muitos desses instrumentos são desnecessários na aplicação prevista neste trabalho e outros foram substituídos funcionalmente por instrumentos mais modernos. O GPS, por exemplo, substitui com vantagens muitos instrumentos mais antigos utilizados na navegação aérea.

Em um caso típico de aplicação, o voo pode ser feito transmitindo-se para a terra a imagem observada pelo “piloto” com instrumentos adicionais para a sua localização espacial, tal como, bússola, GPS, altímetro e indicador de atitude.

2.7. Sistemas Para Transmissão de Dados Via Rádio

A transmissão sem fio e a comunicação digital tiveram início no Havaí, onde os usuários ficavam separados por ilhas e o sistema de telefonia era inadequado. O primeiro sistema de computador a utilizar rádio no lugar de ligações ponto a ponto por cabo foi o sistema Aloha da

Universidade do Havai em 1971 [TAN96]. O Aloha é o ancestral de todos os sistemas de difusão por rádio. A transmissão sem fio é baseada na instalação de uma antena de tamanho apropriado e um circuito eletrônico, onde as ondas eletromagnéticas podem ser transmitidas e recebidas eficientemente até uma certa distância.

As ondas de rádio são fáceis de gerar, podem percorrer longas distâncias e são largamente utilizadas na comunicação tanto no interior como entre edifícios. As ondas de rádio podem trafegar em todas as direções a partir da fonte, sendo que o transmissor e o receptor não precisam estar cuidadosamente alinhados fisicamente.

As propriedades das ondas de rádios dependem da frequência. Em baixas frequências as ondas de rádio atravessam bem os obstáculos, mas a potência cai rapidamente com o aumento da distância entre o transmissor e o receptor. Em altas frequências, as ondas de rádio tendem a percorrer linhas retas e são refletidas por obstáculos. As ondas de rádio também são absorvidas pela chuva. Em todas as frequências, as ondas de rádios estão sujeitas a interferências de motores e outros equipamentos elétricos. Existe também a interferência entre usuários e por essa razão, é necessário ter uma licença do governo para o uso de rádio transmissores.

2.7.1. Protocolos – A Camada de Enlace de Dados

A arquitetura de uma rede de computadores é um sistema complexo que envolve subsistemas de hardware e software. Uma tentativa de padronização de tais sistemas é representada pelo modelo de referência ISO/OSI [TAN96]. Esse modelo é dividido em sete camadas que se comunicam através de uma interface bem definida. Tudo se passa como se camadas de mesmo nome em computadores diferentes se comunicassem diretamente através de um conjunto de primitivas de serviço e protocolos de comunicação. As funções de cada uma das sete camadas do modelo são sumarizadas a seguir:

1. **Camada Física** – a camada física cuida da transmissão de um fluxo bruto de bits de uma máquina até outra. Os bits são representados por uma tensão/corrente elétrica ou tempo de duração de um pulso. Nessa camada são definidas as direções da transmissão (simplex, duplex, half-duplex), assim como são iniciadas e liberadas as conexões e a distância máxima do canal de comunicação;

2. **Camada de Enlace de Dados** – a camada de enlace de dados provê uma interface bem definida para a camada de rede, os bits são agrupados em *frames* e os algoritmos utilizados na implementação dos serviços de comunicação permitem que se obtenha uma comunicação eficiente e confiável entre dois computadores que estejam fisicamente conectados por um canal de comunicação que atua como se fosse um fio. A função principal da camada de enlace de dados é a de transferir dados da camada de rede do computador fonte para a camada de rede do computador destino, tratando os erros de transmissão e regulando o fluxo de *frames*. A camada de enlace de dados provê comunicação ponto a ponto entre os computadores fonte e destino;
3. **Camada de Rede** – a camada de rede controla a operação da subrede, fazendo o roteamento dos pacotes entre subredes. As rotas são baseadas em tabelas estáticas (inseridas na rede e raramente modificadas) ou dinâmicas, normalmente gerenciadas por um protocolo de roteamento dinâmico. A camada de rede trata também dos problemas de congestionamento (quando existem muitos pacotes na subrede). Ela implementa serviços de contabilidade de custos no envio de pacotes, bytes ou bits. Resolve ainda problemas de pacotes trafegando por redes heterogêneas, permitindo que elas possam ser interconectadas;
4. **Camada de Transporte** – a camada de transporte recebe os dados da camada de sessão, divide esses dados em unidades menores, se necessário, e entrega os dados para a camada de rede. A camada de transporte estabelece uma conexão distinta para cada conexão de transporte solicitado pela camada de sessão. Ela permite a multiplexação de várias conexões de transporte em uma mesma conexão de rede;
5. **Camada de Sessão** – a camada de sessão permite que usuários em máquinas distintas estabeleçam sessões entre eles. Permite também uma série de serviços, entre eles o estabelecimento de sessões remotas e transferência de arquivos. Permite gerenciar o controle de diálogos, por exemplo, em duas direções ou em turnos. Faz o gerenciamento de *tokens* e provê serviço de sincronização;
6. **Camada de Apresentação** – a camada de apresentação cuida da sintaxe e da semântica das informações transmitidas, ou seja, os dados são codificados/decodificados em um padrão preestabelecido. Ela também se preocupa com a compressão dos dados, sendo utilizada para

reduzir o número de bits transmitidos e utiliza a criptografia para garantir a privacidade e autenticação;

7. **Camada de Aplicação** – a camada de aplicação fornece uma variedade de protocolos necessários na utilização diária do sistema. Nessa camada, os usuários podem definir os serviços a serem incluídos. Por exemplo: um editor de tela usado em milhares de terminais físicos distintos (terminal virtual de rede). A camada de aplicação permite a transferência de arquivos entre sistemas diferentes, serviço de correio eletrônico e consultas remotas a diretórios.

A comunicação entre uma aeronave e o solo é caracterizada por ser uma comunicação ponto a ponto. A camada de enlace de dados oferece esse tipo de serviço em diversas modalidades: serviço sem conexão e sem confirmação, serviço sem conexão e com confirmação e serviço com conexão e com confirmação [TAN96].

No serviço sem conexão e sem confirmação nenhuma conexão é estabelecida antecipadamente ou liberada posteriormente, a fonte transmite *frames* independentes para o destino e não há confirmação. Essa classe de serviço é adequada quando a taxa de erros é pequena e a recuperação é feita pelas camadas superiores. Também é utilizada para tráfego em tempo real, por exemplo, voz, onde o recebimento de dados com atraso excessivo é pior que o recebimento de dados com erros.

No serviço sem conexão e com confirmação não há conexão entre a fonte e o destino, cada *frame* é individualmente confirmado e, se a confirmação não chegar dentro de um intervalo de tempo especificado, o *frame* é retransmitido. Esse tipo de serviço é mais utilizado quando os meios de comunicação não são confiáveis, por exemplo, enlaces via rádio ou microondas.

O serviço com conexão e com confirmação é o serviço mais sofisticado da camada de enlace de dados. As máquinas precisam estabelecer previamente uma conexão antes de transmitir qualquer dado. Cada *frame* enviado é numerado e a camada de enlace de dados garante que cada *frame* enviado é recebido corretamente e sem duplicação. Este serviço tem 3 fases: conexão, onde existe a preparação do ambiente, ou seja, a conexão é estabelecida e ambos os lados iniciam as variáveis e os contadores necessários para o controle dos *frames*; transmissão, onde os

frames são efetivamente transmitidos e; finalmente, liberação, onde se encerra a conexão, liberando as variáveis, *buffers* e outros recursos utilizados.

A comunicação entre a camada de rede e a camada de enlace de dados pode utilizar as primitivas de serviço do modelo OSI: pedido, indicação, resposta e confirmação [TAN96]. A primitiva de pedido é utilizada pela camada de rede para fazer uma solicitação para a camada de enlace de dados, tal como liberar uma conexão ou enviar um *frame*. A primitiva de indicação é utilizada para indicar para a camada de rede que aconteceu algum evento como, por exemplo, uma outra máquina querendo estabelecer ou desfazer uma conexão ou o recebimento de um *frame*. A primitiva de confirmação permite que a camada de enlace de dados possa indicar ao solicitante se o seu pedido foi executado corretamente e, caso contrário, qual foi o motivo.

Os métodos mais utilizados para assinalar o início e o fim de cada *frame* são: contagem de caracteres, caracteres de início e final de *frame*, preenchimento de caracteres, *flags* de início e final, preenchimento de bits e violações de codificação da camada física.

O controle de erros na camada de enlace de dados é feito pela introdução de *timers* (sincronização). Quando o transmissor emite um *frame*, ele inicia um *timer*, que é ajustado para disparar após um intervalo de tempo longo o suficiente para que o *frame* chegue ao destino, seja processado e a confirmação de recebimento seja enviada de volta ao transmissor. Se o *frame* for recebido corretamente, a confirmação será obtida de volta antes que o *timer* dispare e ele é cancelado. Se o *frame* ou a confirmação se perderem, o *timer* irá disparar, alertando o transmissor quanto ao problema. Nesse caso é necessário retransmitir o *frame*, correndo-se o risco de que esse *frame* seja entregue à camada de rede mais de uma vez. Para evitar que isso aconteça é necessário que sejam atribuídos números de sequência aos *frames* para que o receptor possa distinguir as retransmissões dos *frames* originais.

O controle de fluxo é outro ponto importante tanto na camada de enlace de dados como nas camadas superiores. Muitas vezes o transmissor quer transmitir *frames* de modo mais rápido do que o receptor pode aceitá-los. O controle desse fluxo requer um mecanismo de realimentação onde o transmissor seja informado se o receptor está apto ou não para receber novos dados.

A camada de enlace de dados utiliza códigos para detectar e corrigir erros. Por exemplo, o bit de paridade pode indicar a presença de erros em um número ímpar de bits. Códigos de

correção e detecção de erros mais avançados como o de Hamming e CRC (*Cyclic Redundancy Check*) podem detectar erros em múltiplos bits e corrigir automaticamente alguns tipos de erros.

Diversos protocolos podem ser definidos para regulamentar a troca de dados entre a camada física e a de enlace de dados. Os protocolos de janelas deslizantes são altamente robustos e funcionam apropriadamente mesmo sob condições desfavoráveis. Eles diferem entre si em termos de eficiência, complexidade e necessidades de *buffer*, permitindo o controle de fluxo e de erros na transmissão. Eles podem ser associados com a técnica conhecida por *pipelining*, permitindo aumentar a eficiência de utilização de canais com tempo de latência elevado.

2.7.2. Protocolos para a Transmissão de Dados Via Rádio

Um protocolo de controle de acesso ao meio é necessário em uma rede de acesso múltiplo. Tais protocolos são projetados para endereçar o problema de como compartilhar um canal de transmissão comum. As técnicas que têm sido utilizadas para redes via rádio podem ser qualificadas de técnicas de acesso randômico ou técnicas de disputa. Existe acesso randômico no sentido de que não existe prognóstico ou programação de tempo para qualquer estação transmitir, as estações geram pacotes para transmissão em tempos randômicos. Elas disputam no sentido de que não existe um controle central para definir o momento em que cada uma pode utilizar o canal de comunicação para transmitir. Existem três meios para acesso ao meio em redes *packet radio* que está descrita na seção 2.7.2.1: ALOHA, slotted ALOHA, e CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*). A utilização máxima do canal é de 37% utilizando-se slotted ALOHA. A razão deste desempenho baixo é que o ALOHA e o slotted ALOHA falham quando não aproveitam uma propriedade de redes *packet radio*, a demora de propagação entre as estações é insignificante comparada ao tempo de transmissão do pacote [MOH95 et al.].

Se o tempo de propagação de estação-para-estação é extremamente pequeno comparado com o tempo de transmissão do pacote, então quando uma estação transmite um pacote, todas as outras estações tomam conhecimento disso quase imediatamente. Neste caso, a colisão deve ser rara, e só deve ocorrer se duas estações começam a transmitir simultaneamente. Em outras palavras, um tempo pequeno de propagação permite que as estações tenham um conhecimento melhor do estado do sistema.

Esta observação levou ao desenvolvimento de uma técnica conhecida como CSMA ou escuta antes de transmitir LBT (*Listen Before Talking*). Se uma estação deseja transmitir, primeiro ela escuta o meio para determinar se outra transmissão está em progresso. Se o meio está ocupado, a estação espera algum tempo antes de tentar transmitir novamente.

Com o CSMA, é necessário um algoritmo para especificar o que a estação deve fazer se o meio estiver ocupado. Os três algoritmos mais comuns são [MOH95 et al.] :

- **CSMA não persistente** - quando a estação deseja transmitir, ela escuta o canal. Se ninguém mais está transmitindo, a estação começa a transmitir imediatamente. Se o canal estiver em uso, a estação espera um intervalo aleatório de tempo para repetir o algoritmo;
- **CSMA 1-persistente** - a estação escuta o canal e transmite assim que estiver desocupado. Se ocorrer uma colisão, a estação espera um intervalo de tempo aleatório para repetir o algoritmo;
- **CSMA p-persistente** - esse protocolo se aplica a sistemas onde o tempo é dividido em intervalos. A estação escuta o canal e se ele estiver desocupado, ela transmite com probabilidade p . Com probabilidade $q=1-p$ ela espera até o próximo intervalo de tempo. Se esse intervalo estiver desocupado, ela novamente transmite com probabilidade p e espera o próximo intervalo com probabilidade $q=1-p$. O processo continua até que o quadro seja transmitido ou outra estação utilize o canal. Neste último caso, o protocolo considera que houve uma colisão e um intervalo de tempo aleatório é esperado antes que o algoritmo seja repetido. Se inicialmente o canal estiver ocupado, a estação simplesmente aplica o algoritmo novamente. se a abertura estiver desocupada haverá transmissão ou novo adiamento da transmissão.

2.7.2.1. Packet Radio

O *packet radio* é um modelo de comunicação digital por computador que utiliza o serviço de radioamador. O *modem* de telefone convencional é substituído por um transceptor de radioamador e as linhas telefônicas são substituídas por ondas de rádio.

O *packet radio* foi introduzido anos 80 e é a utilização de radioamador de crescimento mais rápido. Esse modelo de comunicação tem três grandes vantagens: transparência, correção de erro e controle automático [HAC95]. A operação de uma estação é transparente ao usuário final, o usuário conecta a uma outra estação, digita sua mensagem, e ela é enviada automaticamente. O nó controlador de terminal - TNC (*Terminal Node Controller*) automaticamente divide esta mensagem em pacotes, chaveia o transmissor, e então envia o pacote. Enquanto está recebendo pacotes, o TNC automaticamente decodifica, verifica os erros e, exibe o recebimento das mensagens. Um pacote é aceito somente se estiver correto. Além disso, qualquer TNC pode ser utilizado como uma estação de transmissão de pacotes, algumas vezes chamada de *digipeater* (repetidor digital). Outra vantagem do *packet radio* é a possibilidade de muitos usuários utilizarem simultaneamente a mesma frequência.

Para fazer uso do *packet radio* é necessária uma licença de radioamador. O equipamento necessário para criar uma estação de *packet radio*, Figura 1, inclui um computador, um TNC, um transceptor de radioamador, uma antena, cabos próprios para conexão e software de comunicação. Para a instalação do equipamento e do software é necessário o conhecimento básico de operação do *packet radio* [MAR98].

A comunicação entre o computador e o TNC é feita por uma interface RS-232. A comunicação entre o TNC e o transceptor é feita através da entrada e saída de áudio. O chaveamento entre transmissão e recepção é feito através do controle da chave transmite/recebe do transceptor.

Figura 1 - Estação *Packet Radio*

Equipamentos Necessários:

- **TNC** - Nó Controlador de Terminal - contém um *modem*, um processador (CPU) e circuitos necessários para a comunicação com o computador (RS-232) e o transceptor. O processador executa o protocolo de *packet radio*. A maioria dos radioamadores utiliza a velocidade de 1200 bits/s para comunicação VHF/UHF local e 300 bps para longas distâncias. Velocidades mais altas podem ser utilizadas em VHF/UHF utilizando-se hardware especial;
- **Rádio** - consiste em um transceptor de radioamador (transmissor e receptor juntos) capaz de operar em uma frequência apropriada, a mais comum é a VHF (*Very High Frequency*), 144 a 148 Mhz (2m de comprimento). Velocidades de 300 bits/s podem utilizar modulação SSB (*Single Side Band*). Para pacotes de alta velocidade (iniciando a 9600 bps), é necessário utilizar rádios especiais ou rádios FM modificados;
- **Computador ou Terminal** - é a interface do usuário. Para acessar uma rede *packet radio* podem ser utilizados um computador executando um programa emulador de terminal, um programa específico para acesso ao *packet radio*, ou um terminal burro. Qualquer programa de comunicação de *modem* pode ser adaptado para ser usado com *packet radio* (por exemplo, Procomm+, Bitcomm, X-Talk). Um terminal burro é a opção mais barata, mas tem muitas

limitações. A maioria dos terminais burros não permite rolar a tela para trás, armazenar informações e enviar ou receber arquivos;

- **Uma antena apropriada** - de acordo com o transceptor utilizado;
- **Cabos** - cabeamento próprio para conectar o computador ao TNC, o rádio ao TNC e o rádio à antena;
- **Software de Comunicação** - alguns pacotes de software de comunicação disponíveis incluem: crosstalk communicator, crosstalk MK.4 2.0, micromm 911 (MAC), microphone II (MAC), Procomm, Procomm Plus 2.0, Smartcom II (MAC), white knight (MAC). Muitos programas de domínio público e comunicação *shareware* estão disponíveis, tais como: Boyan, kermit, Procomm 2.4.3, Qmodem, Quicktalk, Temate, e Unicom.

O alcance de uma conexão *packet radio* na faixa de VHF é um pouco limitada. Ele é influenciado pela potência do transmissor e pela localização e tipo da antena. Outro fator que influencia no alcance da transmissão é a existência de obstruções (montanhas, grupos de edifícios, etc.). Para um transceptor operando na faixa de 2m (144-148 Mhz), o alcance pode ser de 16 até 160 Km, dependendo dos fatores mencionados acima.

O *packet radio* permite várias conexões na mesma frequência, utilizando o protocolo AX.25 para realizar o compartilhamento do canal de comunicação.

2.7.2.2. Protocolo AX.25

O AX.25 (Amateur X.25) é um protocolo de comunicação utilizado por redes *packet radio*. O AX.25 foi projetado para ser utilizado entre duas estações de radioamador em uma rede de comunicação ponto a ponto. Ele foi desenvolvido nos anos 70 e foi baseado no protocolo X.25 para redes por cabo. Por causa da diferença do meio físico de transporte (rádio versus cabo) e por causa da diferença no esquema de endereçamento, o X.25 foi modificado para satisfazer as novas necessidades. O AX.25 inclui um campo *digipeater*, permitindo que outras estações automaticamente reproduzam pacotes para ampliar o alcance dos transmissores. Uma vantagem do AX.25 é que cada pacote enviado contém o prefixo do radioamador transmissor e do receptor, providenciando assim a identificação das estações em cada transmissão. O protocolo AX.25

especifica o modo de acesso ao meio. Se uma estação necessita transmitir, o seu TNC monitora o canal para verificar se alguém está transmitindo. Se ninguém está transmitindo, então o TNC chaveia o rádio, e envia um pacote (CSMA). Todas as outras estações escutam o canal e não transmitem até que o canal esteja desocupado. Pode ocorrer que duas estações acidentalmente transmitam ao mesmo tempo ocorrendo uma colisão. Se a colisão ocorrer, nenhum TNC recebe uma resposta do último pacote que foi enviado. Cada TNC espera uma quantidade randômica de tempo e logo após retransmite o pacote. O padrão AX.25 não especifica a frequência de transmissão a ser utilizada. Uma rede típica pode utilizar a faixa de 220 MHz, utilizando FSK (*Frequency Shift Keying*), com uma largura de banda (*bandwidth*) de 20 KHz ou 100 KHz. A taxa típica de transmissão dos dados é de 4800 bps e é utilizado um esquema de roteamento fixo. Neste caso, a rota a ser seguida é especificada pela estação transmissora [MOH95 et al.].

A Figura 2 apresenta os campos do *frame* do protocolo AX.25.

Flag	Address	Control	Protocol Id	Information	FCS	Flag
1	14-70	1	1	M	2	1

Figura 2 - *Frame* do Protocolo AX.25

- **Flag (1 octeto)** - igual ao HDLC (*High-level Data Link Control*), o campo *flag* é usado para delimitar *frames*, isto ocorre no início e no final de cada *frame*, e tem um valor de 7E hexadecimal ou 01111110 em binário. Não é permitido ocorrer esta sequência em qualquer outro lugar dentro de um *frame* completo;
- **Address (14-70 octetos)** - o campo de endereço do AX.25 tem comprimento entre 14 e 70 octetos, dependendo se e quantos repetidores são usados entre a fonte e o destino. Se a estação transmissora e a receptora estão no mesmo grupo, então somente é necessário especificar a fonte e o endereço da estação destino. Cada um é especificado usando 7 octetos, o qual contém um prefixo (*callsign*) com até 7 caracteres. Se um *frame* é roteado através de um repetidor, um endereço adicional é acrescentado no final do campo de endereço;
- **Control (1 octeto)** - igual ao HDLC, o campo de controle é usado para identificar o tipo de *frame* que está sendo passado e o controle de muitos atributos de uma conexão nível 2;

- **Protocol identifier** (1 octeto) - especifica qual o tipo de protocolo da camada de rede (camada 3), se existe e se está em uso;
- **Information** (até 256 octetos) - igual ao HDLC, o campo de informação é usado para transmitir os dados do usuário. Qualquer informação é transmitida de forma transparente, exceto pela inserção de bits 0 para prevenir o aparecimento de *flags* no campo de informação;
- **Frame Check Sequence** (2 octetos) - igual ao HDLC, o *frame check sequence* é calculado por ambos, o transmissor e o receptor de um *frame*. Ele é usado para assegurar que o *frame* não foi corrompido no processo de transmissão. Ele deve ser calculado de acordo com as recomendações da ISO 3390.

Existem duas diferenças entre o formato do *frame* AX.25 e do HDLC: o campo *protocol identifier* (PID) e o campo *address*. O campo PID é usado para designar o protocolo de camada 3 que usa o protocolo AX.25. A diferença mais importante entre o AX.25 e o HDLC é a técnica de endereçamento. No HDLC, existem duas configurações possíveis: um enlace ponto-a-ponto com duas estações e um enlace *multi-drop* com uma estação primária e múltiplas secundárias. Em ambos casos, um único endereço não é suficiente em redes *packet radio* por duas razões:

1. Uma vez que a rede é distribuída e opera com pares de estações, as estações fonte e destino devem ser identificadas. Para controle de fluxo, controle de erro e sequência de numeração, ambos os endereços são necessários;
2. Se a rede possui repetidores, esses repetidores precisam ser especificados. É responsabilidade da estação transmissora especificar o repetidor ou repetidores que serão utilizados para transmissão entre fonte e destino.

2.7.3. Técnicas para Compressão e Transmissão de Dados

A maioria das aplicações de vídeo e imagens envolve transmissão ou armazenamento de dados que requerem alguma forma de compressão para reduzir a largura de banda e o espaço de armazenamento necessários. O princípio da compressão de dados é baseado na existência de

elementos redundantes. Os dados podem ser comprimidos pela eliminação desses elementos utilizando-se diversos métodos de compressão.

A compressão de vídeo é um dos elementos chave na distribuição da informação visual. Novas aplicações no campo da comunicação, da transmissão multimídia e da televisão digital requerem alta eficiência, compressão de vídeo digital robusta, flexível e técnicas adequadas de codificação.

A integração de vídeo em movimento como parte de ambientes multimídia sempre foi tecnicamente uma das tarefas mais exigentes, devido à alta taxa de dados e restrições em tempo real. Por outro lado a taxa requerida para codificar um sinal de vídeo em movimento em qualidade VHS caiu de 20 Mbits/s para 1 Mbits/s de 1980 para os dias atuais. Para aplicações típicas de vídeo conferência as taxas podem ser substancialmente mais baixas.

Existem dois tipos de técnicas de compressão [RGG96]:

- *Lossless* - é uma técnica de compressão na qual os arquivos comprimidos podem ser restaurados exatamente para a forma original sem a ocorrência de perda nos dados. A compressão *Lossless* é utilizada tipicamente em aplicações nas quais qualquer alteração nos dados originais os torna inúteis;
- *Lossy* - é uma técnica de compressão usada principalmente em imagens imóveis e arquivos de imagens de vídeo, criando arquivos comprimidos, os quais após a descompressão produzem um efeito visual similar ao do arquivo original. O arquivo obtido não é, entretanto igual ao original. Essa perda de informação permite taxas de compressão que variam entre 2:1 até 300:1.

Atualmente os padrões de compressão mais utilizados são: JPEG, H.261, CU-SeeMe, INDEO, MPEG, MPEG1, MPEG2 e MPEG4.

- **JPEG (*Joint Photographic Experts Group*)** - é um padrão de codificação para imagens estáticas. No entanto, com a utilização de um hardware especial são possíveis a codificação e decodificação de uma série de imagens JPEG em tempo real com a velocidade requerida para vídeo em (MJPEG ou *Motion JPEG*) movimento [RET95].

- **MPEG (*Moving Picture Experts Group*)** - é o nome de um grupo que pertence a ISO (*International Organization for Standardization*) e a IEC (*International Electronic Commission*). Este grupo tem realizado esforços para desenvolver padrões internacionais de compressão tais como [CHI98]:

- ◊ **MPEG1** - é o primeiro padrão MPEG - ISO 11172. Foi desenvolvido para armazenar figuras em movimento com associação de áudio e vídeo com taxas de transmissão de até 1.5 Mbps. O MPEG1 é otimizado para codificação de vídeo associado a áudio para um meio de armazenamento digital tal como o CD-ROM. O MPEG1 tem três partes: sistema que trata da sincronização de endereços e aspectos relacionados com a multiplexação de múltiplas correntes de áudio e vídeo comprimidos; vídeo que trata da codificação do vídeo e áudio que trata da compressão da informação digital de áudio;
- ◊ **MPEG2** - a compressão de vídeo MPEG2 é um padrão internacional ISO/IEC o qual define a sintaxe e a semântica de uma corrente de bits na qual áudios digitais e dados visuais são multiplexados. O MPEG2 é utilizado em DVD (*Digital Video Disk*), transmissão por satélite e CATV (*Cable Television*) e está apto a comprimir 100 minutos de imagens em movimento em 4 minutos.

O Sistema MPEG2 providencia duas camadas de multiplexação. A primeira é dedicada a assegurar o sincronismo entre o vídeo e o áudio. Esta camada é chamada de PES (*Packetized Elementary Stream*). A segunda camada é dependente do meio de comunicação utilizado. A MPEG2 *Program Stream* é utilizada em ambientes livres de erro, tais como, no armazenamento local de dados, enquanto a MPEG2 *Transport Stream* é utilizada em ambientes propensos a erros.

As principais aplicações do MPEG2 são em TVs digitais e HDTV (*High Definition TV*). O MPEG2 descreve um grupo de perfis e níveis que definem os parâmetros de codificação para um grupo de aplicações. Um perfil especifica um conjunto particular de características de codificação. Dentro de cada perfil, um ou mais níveis especificam um subconjunto de resoluções espaciais e temporais que podem ser manuseadas;

- ◊ **MPEG3** - o objetivo do MPEG3 era a compressão e descompressão de HDTV, mas foi abandonado em favor do MPEG2 que apresenta bons resultados para essa aplicação;
- ◊ **MPEG4** - o objetivo do MPEG4 é a redução da taxa de transmissão. Originalmente a taxa considerada era de 64 Kbps. Atualmente, as taxas variam entre 10 Kbps e 1 Mbps. O MPEG4 é apropriado para utilização em computação móvel, com comunicação sem fio a baixas taxas de transmissão. Suas características principais são: compressão é mais alta do que a do MPEG2 e mecanismo de tolerância a falhas melhorado. O MPEG4 é apropriado para aplicações de videoconferência e videofone;
- **H.261** - é um padrão de compressão de vídeo para redes que trabalham com taxas de transferência entre 6 Kbits/s e 2 Mbits/s. O H.261 utiliza codificação temporal (*interframe*) e codificação espacial (*intraframe*) [RET95];
- **CU-SeeMe** - é uma ferramenta utilizada para videoconferência na Internet que foi desenvolvida pela Universidade de Cornell. Trabalha utilizando o método de compressão temporal (*interframe*) e espacial (*intraframe*). A taxa de compressão é de 60% [RET95];
- **INDEO** - esta técnica foi projetada pela Intel e envolve a tecnologia DVI (*Digital Video Interactive*). Esta técnica especifica que a codificação de uma corrente de bits deve resultar no máximo em 60% dos bits de entrada, resultando em uma taxa de compressão melhor que 1.7:1 [RET95].

2.7.4. Equipamentos de Comunicação Disponíveis Comercialmente

Os dispositivos de comunicação adequados para a utilização neste projeto devem apresentar as seguintes características:

- Dimensões e peso pequenos;
- Baixo consumo de energia;
- Utilização de antenas pouco ou não direcionais;

- Alcance da ordem de 1 Km;
- Taxas de transmissão da ordem de 1 Mbits/s, caso sejam transmitidas imagens digitalizadas em tempo real (caso contrário, isto é, para a transmissão somente dos dados coletados na instrumentação de bordo, as necessidades de transmissão são não restritivas).

Diversos equipamentos podem ser encontrados no mercado para o estabelecimento de comunicação ponto a ponto no nível da camada de enlace de dados. Muitos desses equipamentos utilizam antenas unidirecionais operando na faixa de microondas, sendo inadequados para o projeto proposto. Para a transmissão de imagens de vídeo, fica ainda mais difícil encontrar equipamentos com todas as características necessárias. As principais limitações encontradas são o peso ou dimensões do equipamento, alto consumo de energia, transmissão com antenas direcional ou baixa taxa de transmissão de dados.

Abandonando-se algumas restrições mencionadas acima, tal como, a alta taxa de transmissão de dados, os equipamentos encontrados que mais atendem às necessidades do projeto são conhecidos como *modems* de RF (Rádio Frequência). Os *modems* de RF ou *modems wireless* possibilitam comunicação de dados sem meios físicos de transmissão. Os sistemas *wireless* são suscetíveis a ruído, o que pode resultar em erros na transmissão. Um *modem wireless* inteligente garante dados livres de erros do transmissor até o receptor. Um microprocessador incorporado no equipamento empacota e endereça os dados, verifica erros nos pacotes recebidos e requisita automaticamente a retransmissão dos pacotes caso seja necessário. Todas essas operações são transparentes ao usuário. A utilização de *modems* de RF é similar à utilização de *modems* convencionais. Outra vantagem da utilização de *modems* de RF é que os pacotes endereçados para mais de dois *modems* podem compartilhar uma única frequência.

Existem duas categorias principais de *modems* de RF relacionadas com a frequência de rádio utilizada: *spread spectrum* (não necessita licença de operação) e VHF/UHF (necessita uma licença de operação).

A tecnologia SST (*Spread Spectrum Technology*) é uma técnica de modulação de frequência de rádio realizada com a difusão do sinal em uma banda de 26 MHz de largura (902-928 MHz) e requer que o receptor conheça onde, dentro da banda, ele deve procurar os fragmentos do sinal. Como em qualquer tecnologia de transmissão digital via sinais de rádio, a

comunicação *spread spectrum* requer uma componente de RF e uma componente digital. A porção de RF é responsável por mover o sinal a partir de uma localização para outra enquanto a componente digital realiza a interface com o sinal digital do sistema do usuário, provendo as funções de roteamento e detecção/correção de erros. A tecnologia *spread spectrum* é projetada para minimizar a força do sinal em uma frequência específica, obtendo confiabilidade pelo aumento da redundância. A redundância tem o benefício adicional de minimizar os efeitos da interferência de paredes e estruturas.

Alguns dos dispositivos para transmissão de sinais digitais via rádio disponíveis no mercado trabalham bem, alguns trabalham razoavelmente bem e outros trabalham mal o tempo todo [MEC97]. Alguns necessitam de software especial que deve ser desenvolvido para o equipamento com o qual eles estão conectados, outros não requerem software adicional. Em *modems* portáteis, a distância de transmissão pode ser de apenas alguns metros. Alguns trabalham bem em ambientes abertos, mas têm sua operação rapidamente degradada quando existem obstáculos. Nos itens seguintes são descritas as características de diversos *modems* de RF disponíveis no mercado:

- **Monicor** - foi projetado para ser conectado com uma interface serial de um terminal de computador, *scanner*, ou qualquer outro dispositivo que utiliza o padrão RS-232. O *modem* de RF Monicor tem operação transparente para o dispositivo ao qual ele está conectado, não exigindo alterações no software utilizado. A transmissão dos dados é executada dentro de um pacote no formato do protocolo X.25, com detecção e correção de erros. Opera na banda UHF de 450 até 470 MHz, a uma taxa de 2400 ou 4800 bits/s, utiliza bateria interna ou fonte externa e a saída de RF tem potência entre ¼ watt a 2 watts [MEC97].
- **Comrad CCL901 Wireless Data Link** - utiliza a interface serial RS-232 providenciando um enlace de dados entre dois dispositivos. Opera com taxas de transmissão entre 2400 *baud* e 38.4K *baud*. A frequência de transmissão é de 900 MHz, não necessita de licença no Dentel para operar e a sua comunicação é full duplex. A sua capacidade operacional é de 500m de distância, que pode ser estendida através do uso de repetidores adicionais. Pode utilizar bateria em aplicações portáteis [RAD97].
- **GINA 6000N** - utiliza a tecnologia *spread spectrum* e interface serial RS-232, podendo ser utilizado com taxas acima de 38.4 *Kbaud*. Recebe e transmite dados em uma faixa de

frequência de 902 a 928 MHz, emulando um *link* full duplex. Ele pode ser configurado para ser usado como um dispositivo de comunicação ponto a ponto e ponto para multiponto. Podem ser utilizados mais de 3 repetidores para estender o alcance da comunicação. O GINA 6000N implementa pacotes com verificação de redundância cíclica (CRC). O protocolo utilizado é o X.25 modificado [GRE96].

- **Micrilor T1221 R1221** - utiliza uma interface serial RS-232 e opera na faixa de 902 a 928 MHz. Provê conectividade simplex e half-duplex para comunicação digital, dependendo do modelo. Não é necessário licença do Dentel para sua operação. A taxa de dados é de até 64 *Kbaud*. Possui alcance de até 66m em ambientes fechados e 660m em ambientes abertos com visão direta [MWW98].
- **Apex SS-200** - é um *modem* pequeno, de baixo custo, utiliza frequências de 902 a 928 MHz, interface RS-232, detecção de erros e retransmissão. O modo de operação pode ser ponto a ponto, ponto para multiponto e *broadcast*. O alcance em recinto fechado é de 150 a 450m e em lugares abertos é de 35 Km [APEs.d.].
- **ARC Eletronics SR900** – o *modem* de rádio SR900 foi projetado para ser de uso fácil. Os comandos para controlar as unidades são um subconjunto modificado de comandos populares AT utilizados em *modems*. Utiliza o protocolo HDLC para controle de erros e de fluxo. Tem detecção automática de erros e retransmissão. Totalmente transparente ao usuário da aplicação. É compatível com programas populares de terminais, tais como: ProComm, Bitcom, etc. Utiliza a interface RS-232 assíncrona, protocolo half-duplex. Opera na faixa de 902-928 MHz e tem alcance em linha reta de 150m [ARC98].
- **Pacific Crest Corporation RFM96** - *modem wireless*, projetado para aplicações de alto desempenho e confiabilidade, multi-protocolo, comunicação de dados assíncrona, ideal para uso portátil. Utiliza interface RS-232 e opera a uma taxa de 38400 *baud* [CRE97].

A Tabela 1 resume as características mais importantes dos *modems* revistos para este projeto. Observa-se nesta tabela que alguns *modems* são adequados para este trabalho, desconsiderando-se a taxa de transmissão necessária para a transmissão de imagens de vídeo. Apesar de não constar o peso na tabela, alguns *modems* são bastante pequenos e sugerem baixo peso como, por exemplo, os de números 5, 6 e 7. O *modem* 6 apresenta alta potência de transmissão e longo alcance.

Tabela 1 - *Modems de RF - Características Principais*

<i>Modem</i>	<i>Fabricante/ Modelo</i>	<i>Protocolo Utilizado/ Taxa de transmissão (bauds)</i>	<i>Frequência (MHz)</i>	<i>Tamanho (cm)</i>	<i>Tipo de Antena</i>	<i>Peso (gramas)</i>	<i>Tensão (Vdc) / Consumo (W)</i>	<i>Alcance (metros)</i>
1	Monicor IC-15	X.25 4800 – 2400	450 - 470 406 - 420	17,5 x 7,4 x 4,3	Direcional/ Omnidirecional	454	7,5 1,35	1600
2	Monicor IC-100	X.25 4800	450 - 470 406 - 420	13,2 x 7,4 x 2,2	Direcional/ Omnidirecional	170	7,5 1,35	1600
3	Comrad CCL901	- 2400- 38400	905,05 - 908,95	-	Omnidirecional	567	6,5 1,04	530
4	GRE America, Inc. GINA 6000N	X.25 1200 – 38400	902 - 928	3,9 x 10,6 x 12,7	Omnidirecional	454	10,5 – 13,8 10	19200
5	Micrilor T1221 R1221	- 64 K	902 - 928	2,5 x 9,1 x 5,72	Omnidirecional	-	3,0 0,11	600
6	Apex SS-200	- 166K	902 - 927	8,4 x 10,4 x 2,8	Omnidirecional	-	5,0 2,5	35000
7	ARC Eletronics SR900	- 1920	902 - 928	5,7 x 8,26 x 2,2	Omnidirecional	-	9 1,35	150
8	Pacific Crest Corporation RFM96	- 9600 – 4800	Diversas	7,0 x 2,9 x 13	Omnidirecional	260	10-15 -	-

2.8. Outros Projetos de Pesquisa Relacionados

A obtenção de imagens aéreas utilizando-se aeronaves não tripuladas não é novidade, mesmo sem considerar as iniciativas de uso militar não documentadas [SIU91]. Atualmente, existem diversas iniciativas não militares para a utilização dessas aeronaves em diversas aplicações. Algumas dessas iniciativas são descritas nos itens seguintes.

- **Projeto Aurora** - é um projeto que está sendo desenvolvido pelo Laboratório de Robótica e Visão do CTI (Centro Tecnológico para Informática) em Campinas, São Paulo. Este projeto tem a finalidade de disponibilizar um dirigível não tripulado, semi-autônomo, para aquisição de dados e imagens, para o monitoramento aéreo de áreas de interesse, monitoramento de tráfego, planejamento urbano, inspeções arqueológicas, pesquisa ambiental, monitoramento e sensoriamento de florestas, estudos agrícolas, caracterização de plantas e identificação de poluentes da atmosfera. O projeto utiliza um dirigível que é equipado com um controle de bordo e um sistema de navegação, incluindo sensores internos, hardware, software, e um sistema de comunicação composto de *links* de rádio, os quais transmitem dados e comandos entre o dirigível e a estação base, conforme ilustra a Figura 3. Inclui também *links* de vídeo para transmissão das imagens capturadas pelas câmeras montadas a bordo. Uma estação móvel composta de uma infra-estrutura de processamento e comunicação, um mastro de arrasto e um veículo móvel para transporte complementam o equipamento [ELF98 et al.].

Figura 3 - Componentes do Projeto Aurora

A fase inicial do projeto Aurora inclui vôos não tripulados e controlados remotamente. Estão sendo desenvolvidas técnicas para que os vôos sejam semi-autônomos e sistemas de inteligência artificial para a realização de tarefas pré-definidas sem intervenção humana direta;

- **Aerosonde** - este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma aeronave robótica em miniatura para o monitoramento de ambientes em longas distâncias. O Aerosonde apresentado na Figura 4, foi desenvolvido em conjunto pelo *Environmental Systems and Services* em Melbourne, pelo *The Insitu Group* no estado de Washington e pelo *Australian Bureau of Meteorology* na Austrália. Uma das tarefas principais do Aerosonde é o reconhecimento meteorológico e ambiental de grandes áreas remotas ou sobre oceanos. O Aerosonde combina alto desempenho com os benefícios do seu tamanho pequeno, incluindo baixos custos de fabricação e uso e, promete realizar missões em larga escala, que antes eram

consideradas economicamente impraticáveis. Sua navegação é através de GPS e a comunicação com a base é através de ondas de rádio UHF e por satélite;

Figura 4 - Aerosonde

- **UAV (*Uninhabited Aerial Vehicles*)** - é um projeto de veículos aéreos sem tripulação para a realização de missões aéreas de baixo risco e custo. Este projeto está sendo desenvolvido pela Universidade de Michigan e possui três modos de operação por controle remoto, semi-autônomo e completamente autônomo [UAVs.d.]. O projeto tem como objetivo a criação de uma bancada de testes para conduzir pesquisas em UAVs envolvendo voo com controle adaptativo e reconfigurável e algoritmos para o cumprimento de missões automáticas e planejamento de trajetória. Também é objetivo do projeto a demonstração do uso da tecnologia UAV de baixo custo desde o projeto até a operação autônoma.

As principais aplicações previstas este projeto são:

- Obtenção de imagens para a agricultura;
- Monitoramento de tráfego;
- Obtenção de dados meteorológicos;
- Missões de reconhecimento para coleta de informações.

A Figura 5 mostra uma das aeronaves utilizadas no projeto.

Figura 5 - UAV (*Uninhabited Aerial Vehicles*)

2.9. Considerações Finais

Neste capítulo foram revistos os diversos conceitos envolvidos neste projeto, enfatizando-se a motivação do seu desenvolvimento e possibilidades de realização. Nesse sentido, foi analisada a utilização de imagens aéreas para a identificação e solução de problemas agrícolas e as possibilidades para a sua obtenção.

As imagens obtidas do monitoramento por satélites disponíveis para uso civil não apresentam a resolução necessária para a observação de pequenas áreas como, por exemplo, uma microbacia. Torres de filmagem são usadas na tentativa de monitorar pequenas áreas, mas são de difícil manuseio e apresentam uma cobertura geográfica muito pequena. A utilização de aeronaves convencionais é limitada devido ao seu alto custo. A utilização de aeronaves sem tripulação é a mais promissora, não somente em relação ao baixo custo de aquisição/manutenção, mas também quanto à versatilidade de operação que oferece.

Para que seja possível a utilização de uma aeronave na atividade proposta é necessária a comunicação de dados da instrumentação de bordo para o solo, tendo sido apresentados aspectos gerais dos protocolos para enlace de dados. Também foram apresentados os equipamentos para enlace de dados via rádio disponíveis no mercado mais indicados para o projeto. A possibilidade de transmissão de imagens digitalizadas envolve a utilização de algoritmos de compressão de dados, que também foram revistos.

Finalizando, foram apresentados de forma resumida alguns projetos relacionados com aeronaves. A enorme variedade de aplicações desse tipo de sistema motiva o aparecimento de versões com características mais adequadas para cada caso envolvendo o comportamento em voo da aeronave, a forma de controle de voo e o tipo de equipamento e sensores instalados a bordo.

No próximo capítulo são definidos três tipos de sistema para obtenção de imagens aéreas para a agricultura. Também são descritas com detalhes algumas aplicações previstas e como essas aplicações podem ser atendidas pelos tipos de sistema definidos.

3. Sistemas para Obtenção de Imagens Aéreas com Aeronaves sem Piloto

3.1. Considerações Iniciais

A obtenção de imagens aéreas é uma forma eficaz para o gerenciamento da produção agrícola através do monitoramento de doenças, estresse hídrico, estudo de erosão e conservação do solo. Constitui também uma técnica importante para a preservação do meio ambiente através do monitoramento de desmatamentos, de rios, de encostas e de áreas preservadas.

Um dos grandes problemas para o emprego em larga escala de imagens aéreas é o seu custo, que envolve a manutenção de uma aeronave e condições para operá-la. Várias possibilidades existem para contornar esse problema. Aeromodelos representam uma alternativa eficaz porque eles podem dispor a mesma funcionalidade de um avião em escala real. Na verdade, diversas simplificações em relação ao avião em escala real podem ser adotadas em aeromodelos de acordo com a aplicação, reduzindo de forma drástica o seu custo e a complexidade de manutenção e operação.

Neste capítulo são apresentadas algumas possibilidades de implementação do sistema para obtenção de imagens aéreas utilizando aeronaves sem tripulação. Na seção 3.2 é apresentada a análise de requisitos do sistema mostrando-se os principais subsistemas envolvidos na sua implementação. Na seção 3.3 é definido o sistema do Tipo I, baseado em aeromodelos convencionais e, seu campo de aplicação. Na seção 3.4 é definido o sistema do Tipo II, para vôo não visual e uma descrição de todos os equipamentos adicionais para que os vôos sejam

possíveis. Também é descrito o campo de aplicação desse tipo de sistema e a definição de um protocolo simplex para transmissão de dados entre a aeronave e o solo. Na seção 3.5 é definido o sistema do Tipo III para vôo autônomo e suas aplicações. A correlação entre algumas aplicações de interesse neste trabalho e a aplicabilidade dos tipos de sistemas definidos é feita na seção 3.6. Finalmente, na seção 3.7, são apresentadas as considerações finais deste capítulo.

3.2. Análise de Requisitos do Sistema

Um sistema de aeronave sem tripulação possui muitas aplicações relevantes. Neste trabalho, considera-se apenas as aplicações relacionadas diretamente com as atividades agrícolas ou as atividades de preservação do meio ambiente que têm reflexo direto nas atividades agrícolas.

O sistema pode ser utilizado para o estudo detalhado de uma fazenda como um todo ajudando na tarefa de administração, realizando o mapeamento sistemático dos solos e das diferenças de características geológicas, topográficas e hidrológicas. Na área de florestas pode-se verificar o efeito da drenagem do solo e das doenças sobre o crescimento das árvores. Inventários fotográficos em áreas de reflorestamento, feitos antes e depois do plantio e após uma ou duas estações de crescimento permitem a avaliação do crescimento. Na área de geologia, pode-se registrar a ocorrência de uma série de transformações naturais, tais como, erosão de penhascos, crescimento de dunas de areia, migração do leito de rios e deslizamentos progressivos de terra. A utilização desse sistema é muito importante também para órgãos governamentais na área de preservação ambiental.

Para facilitar a análise de requisitos do sistema, são definidas seis aplicações consideradas mais relevantes:

1. **Estudo de Erosão e Conservação do Solo** - neste estudo observa-se a vegetação e os resíduos de colheita que ficam sobre o terreno. A vegetação e os resíduos são fatores importantes na conservação do solo porque impedem o transporte de partículas pela chuva e pela enxurrada, reduzindo as perdas de terra [JOR93 et al.];
2. **Caracterização de uma Área Geográfica** - estudo de uma microbacia, levantando-se todas as características topográficas, leito de rios, matas ciliares, etc;

3. **Análise de Culturas** - através de imagens pode-se observar o comportamento das plantas quanto a doenças, pestes, produtividade, estresse hídrico, etc;
4. **Áreas de Reflorestamento e Preservação Ambiental** - através de imagens aéreas consegue-se acompanhar a evolução de reflorestamentos, desmatamentos, queimadas, etc;
5. **Poluição Ambiental** - estudos de impacto ambiental com bioindicadores na identificação dos níveis de poluição próximos a indústrias. Esta aplicação é importante em áreas altamente industrializadas ou com indústrias altamente poluentes onde são necessários o monitoramento e controle contínuo dos níveis de poluição;
6. **Agricultura de Precisão** - “é a prática de utilização racional do solo, com a redução na utilização de fertilizantes, fungicidas e herbicidas no sentido de evitar impactos ambientais, considerando a heterogeneidade existente nos sistemas agrícolas, bem como uma prática agrícola que visa a redução dos custos, levando em conta as características espaciais das variáveis consideradas no processo de produção, como por exemplo, a disponibilidade de mais água e nutrientes” [BEV96]. Está centrada na informação espacial e, para isso necessita de ferramentas capazes de coletar, tratar e mostrar esta informação a nível puntual.

Cada uma dessas aplicações exige uma série de características particulares do sistema de captação de imagens utilizado. As principais características consideradas são:

- **Área de Solo Coberto pela Imagem** - está relacionada diretamente com o nível de detalhes necessário nas imagens. Tem implicações na seleção do tipo de elemento captador da imagem, sua resolução, altitude de voo, velocidade e estabilidade do avião;
- **Tamanho da Área de Captação das Imagens** - tem relação direta com a autonomia de voo e o alcance do sistema de controle e transmissão de dados. A Tabela 2 relaciona essas áreas com as aplicações anteriormente definidas. Os dados constantes nessa tabela foram obtidos junto a pesquisadores do CNPDIA/EMBRAPA – São Carlos, que utilizam imagens para esse tipo de análise;
- **Resolução Necessária** - depende da altura e condições de estabilidade de voo e do tipo de elemento captador da imagem;

- **Altitude de Vôo** - depende das condições do relevo, tamanho da área de solo coberta por cada imagem e do tipo de elemento captador;
- **Relevo da Área de Captação das Imagens** - influencia fortemente nas condições de vôo;
- **Características Especiais** - pode incluir diversos aspectos tais como o uso de sensores de imagem infravermelhos, vôo silencioso, etc.

Tabela 2 - Relação Entre o Tipo de Aplicação e as Áreas de Teste de cada Imagem

Tipo de Aplicação	Área de Solo Coberta (metros)	Área Geográfica (hectares)
1	5 x 5 a 1000 x 1000	50 a 200
2	> 500 x 500	> 200
3	5 x 5 a 10 x 10	50 a 200
4	500 x 500	> 200
5	> 100 x 100 metros	50 a 200
6	5 x 5	50 a 200

Os elementos de captura de imagens mais comuns incluem as câmeras fotográficas com filme químico convencional, as câmeras fotográficas digitais e as câmeras de vídeo. O peso e a facilidade de interface desses equipamentos permitem que eles possam ser utilizados em aeronaves de pequenas dimensões. Conforme descrito no capítulo anterior, o uso de imagens infravermelhas tem se revelado um método muito mais eficaz para a detecção de problemas que o uso de imagens coletadas na região visível do espectro.

Mesmo restringindo o campo de aplicação do sistema, conforme as seis aplicações consideradas anteriormente, percebe-se claramente pelas características citadas, uma grande quantidade de diferentes cenários de utilização do equipamento dentro de uma mesma aplicação. Uma análise de requisitos generalizada do sistema fica bastante dificultada.

Nas seções seguintes, são apresentadas e avaliadas três diferentes configurações do sistema procurando-se adequar a complexidade de cada configuração com as diferentes condições de utilização.

A configuração proposta do sistema é dividida em três tipos com complexidade e campo de aplicação crescente.

3.3. Sistema do Tipo I – Aeromodelos Convencionais

Um sistema do Tipo I deve incorporar o mínimo de funcionalidade e apresentar o menor custo com a máxima facilidade de implementação. Para isso devem ser utilizados componentes convencionais de aeromodelismo, câmeras convencionais ou digitais e câmeras de vídeo para obtenção de fotografias ou imagens aéreas. Nesse sistema os vôos são visuais e controlados por rádios convencionais com alcance de aproximadamente 1 Km.

As grandes limitações desse tipo de sistema são:

- Autonomia e alcances limitados pelos equipamentos utilizados e pelo modo de controle – normalmente os aeromodelos são projetados para uma autonomia de vôo entre 10 e 20 minutos. O alcance do equipamento de rádio não chega a ser limitante uma vez que a 1 Km e distância é quase impossível ver o aeromodelo para que se possa controlá-lo;
- A operação em culturas de grande porte ou áreas com relevo acidentado torna impossível ou dificultada a operação em baixas altitudes;
- Nenhum equipamento é utilizado para determinar o posicionamento geográfico do avião e a obtenção de imagens com referência geográfica.

Apesar dessas limitações, um sistema do Tipo I pode ser utilizado com sucesso em um número muito grande de aplicações, algumas das quais dificilmente realizáveis por aviões tripulados. Dependendo do tipo de cultura o piloto poderá controlar visualmente o comportamento do vôo ao nível do solo, mas no caso de culturas perenes é necessária a utilização de uma plataforma ou de uma escada para possibilitar um ângulo de visão mais adequado.

O pouso e a decolagem convencionais do aeromodelo podem ser dificultados no local de utilização do sistema. Pode-se, entretanto, fazer a decolagem lançando-se o avião manualmente ou através de uma catapulta, que no caso mais simples pode ser constituída de uma corda elástica

amarrada no solo com um laço encaixando-se em um gancho sob a fuselagem do aeromodelo. O pouso pode ser feito, após o motor ter sido desligado, por uma rede estendida a alguns metros do solo ou por um pára-quedas disparado por controle remoto.

3.3.1. Definição do Sistema do Tipo I

A Figura 6 mostra o diagrama de blocos proposto para o sistema do Tipo I.

Figura 6 - Diagrama de Blocos do Sistema do Tipo I

Descrição do Diagrama de Blocos:

- **Transmissor RC** - transmissor de rádio controle;
- **Receptor RC** - receptor de rádio controle;
- **Equipamentos RC** - equipamentos auxiliares de rádio controle do aeromodelo, incluindo os servos mecanismos;

- **Câmera Fotográfica Convencional** - câmera fotográfica convencional acionada por rádio controle para a obtenção de fotografias coloridas convencionais ou infravermelhas. Para facilitar a instalação, a câmera deve dispor de um disparador elétrico e avanço automático do filme;
- **Câmera Fotográfica Digital** - a interface para o acionamento da câmera fotográfica digital pode ser difícil em certos casos (vide capítulo 4);
- **Câmera de Vídeo** – utilizada para a obtenção de imagens em movimento em adição ou substituição à câmera fotográfica ;
- **Transmissor de Bordo** - utilizado para a transmissão de imagens para um receptor de TV ou equipamento gravador de videocassete no solo. Existem diversas opções no mercado, alguns projetados especificamente para essa função, outros utilizados em equipamentos para espionagem.

O aeromodelo utilizado é convencional, podendo ser adquirido pronto para voar ou na forma de *kit* em qualquer loja de artigos para aeromodelismo. Deve-se dar preferência para modelos com baixa carga alar, de dimensões médias e com características de voo estáveis. Uma réplica do avião Piper Cub em escala 1:5 ou 1:4 é bastante adequada para essa aplicação.

3.4. Sistema do Tipo II - Vôo Não Visual

No sistema do Tipo II, os vôos são não visuais. São utilizados instrumentos de bordo para que seja possível pilotar e obter fotografias e imagens aéreas com referência geográfica. Uma câmera de vídeo é utilizada especificamente para a coleta de imagens da visão do piloto em tempo real, permitindo o vôo não visual da aeronave.

A grande desvantagem operacional desse tipo de sistema é o alcance limitado se forem utilizados equipamentos de rádio controle convencionais. Com equipamentos mais potentes, a área de operação pode ser estendida para algumas centenas de quilômetros quadrados, suficiente para a maioria das aplicações.

Esse sistema pode ser utilizado em lugares de difícil acesso, em culturas de grande porte, em grandes áreas geográficas, em áreas com relevo acidentado e onde seja importante a obtenção de imagens com referência geográfica.

3.4.1. Definição do Sistema do Tipo II

A Figura 7 mostra um diagrama de blocos do sistema do Tipo II.

Figura 7 - Diagrama de Blocos do Sistema do Tipo II

Descrição do Diagrama de Blocos:

Alguns blocos foram descritos nas seções anteriores e não serão descritos novamente nesta seção.

- **Câmera do Piloto** - utilizada para obtenção de imagens em tempo real da visão do piloto, permitindo o voo não visual do aeromodelo;

- **Instrumentação de Bordo** - conjunto de instrumentos para verificação das condições operacionais do aeromodelo, fornecimento de dados para a navegação aérea e referência geográfica das imagens;
- **Microcomputador de Bordo** - utilizado na coleta de dados dos equipamentos de bordo e transmissão para o computador na base de operação em solo;
- **Microcomputador** - utilizado para a visualização das imagens e dados, tornando a operação do equipamento semelhante a operação de um simulador de voo, a exemplo do *Flight Simulator* da Microsoft [FSI98];
- **Transmissor de Bordo** - utilizado para a transmissão de imagens e dados. Diversas opções podem ser usadas para essa função, incluindo transmissores analógicos de som e imagem e *modems* de RF (ou uma combinação desses dispositivos);
- **Receptor de Dados** - utilizado para a recepção de imagens e dados do transmissor de bordo.

Os seguintes instrumentos de navegação foram considerados:

- **Altímetro Convencional Baseado em Sensores Piezelétricos de Pressão Diferencial** - o altímetro é o instrumento que indica a altitude do avião. O princípio de funcionamento mais comum do altímetro é pela medida da pressão atmosférica [PRO96] [PAL81];
- **Radar Ultra-sônico ou Sonar** - é um sistema ultra-sônico que mede a distância ou a presença de objetos enviando ondas de som pulsadas para o objeto e medindo o tempo de retorno do eco. Conhecendo-se a velocidade do som consegue-se determinar a distância em que o objeto se encontra sem a necessidade de contato [ACR98];
- **Bússola Magnética** - a bússola é o instrumento principal e mais primitivo de análise de voo, servindo para indicar a direção. Consiste basicamente numa barra ou “agulha” magnetizada, montada sobre uma bóia imersa em querosene. Esta agulha indicará sempre o norte magnético (pólo magnético) da Terra. Sobre a bóia está montado um cartão dividido de 0° a 360°. Qualquer que seja a direção seguida pelo avião, a agulha magnética apontará o norte magnético. Como resultado, o cartão numerado indicará um número, cujo valor em graus equivale ao ângulo formado pela trajetória do avião e o meridiano da terra que passa pelo norte magnético. Assim, o piloto saberá a direção que está seguindo [PRO96] [PAL81];

- **Horizonte Artificial** - é um instrumento que mostra a figura de um avião em miniatura, relacionado com uma barra horizontal que representa a linha do horizonte natural. Esse instrumento permite conhecer a posição (atitude) do avião em relação à linha do horizonte sem que o piloto tenha referências visuais externas [PRO96] [PAL81];
- **GPS (*Global Positioning System*)** - é um sistema eletrônico de navegação baseado em uma rede de satélites, que permite ao usuário localizar-se instantaneamente em qualquer ponto no globo terrestre com uma precisão que depende do equipamento utilizado e variando entre centímetros e algumas dezenas de metros [DOT97]. O GPS pode substituir a maioria senão todos os outros instrumentos de navegação convencionais.

Os seguintes instrumentos para a verificação das condições de operação da aeronave foram considerados:

- **Rotação do Motor** - mede a rotação do motor, que é proporcional a rotação da hélice [PAL81];
- **Temperatura do Motor** - mede a temperatura do motor, normalmente no cabeçote perto da vela de ignição [PAL81];
- **Temperatura dos Gases do Escapamento** - mede a temperatura dos gases do escapamento do motor. Essa medição é importante para que se possa ajustar a relação da mistura ar-combustível e proporcionar o melhor regime de funcionamento do motor, evitando-se seu sobre-aquecimento ou parada [PAL81];
- **Temperatura Ambiente** - a medição da temperatura ambiente é importante para a correção das leituras de outros instrumentos que variam com esse parâmetro [PAL81];
- **Medidor do Nível de Combustível** - indica a quantidade de combustível disponível e, conseqüentemente, o tempo restante de voo [PAL81];
- **Medidor de Velocidade do Ar** - indica a velocidade do avião em relação ao ar. Os mais comuns fazem essa medida utilizando um tubo de *pitot* [PAL81].

A aeronave utilizada em um sistema do Tipo II também pode ser um aeromodelo convencional a exemplo dos sistemas do tipo I. Entretanto, o projeto de uma aeronave específica

pode trazer grandes benefícios tais como uma definição das características de voo mais apropriadas para a aplicação, capacidade de transporte de carga adequada e uma configuração mais apropriada para esse tipo de sistema. Em relação à configuração do sistema, será adotado o posicionamento do grupo propulsor na parte traseira e uma cauda em V invertido, conforme mostrado na seção 2.8 (projeto Aerosonde).

O microcomputador é utilizado para a recepção de dados e imagens que são apresentadas na tela de forma realista, tal como em um simulador de voo. O controle do avião pode ser feito por um equipamento convencional de rádio controle ou um equipamento de maior potência de transmissão, permitindo aumentar consideravelmente o alcance de controle do sistema. Nos dois casos, o controle pode ser feito por *joysticks* acoplados diretamente ao equipamento transmissor. Uma opção mais interessante é o controle através do computador, que deve ser acoplado ao equipamento transmissor. Essa última opção permite operação semi-autônoma do sistema além de permitir a realização de testes para a operação totalmente autônoma.

O microcomputador de bordo é utilizado para realizar as leituras dos sensores da instrumentação de bordo, convertê-las para um formato apropriado, empacotá-las e enviá-las para o computador em solo através de um protocolo de comunicação apropriado tal como é definido na seção seguinte.

Dependendo da configuração do sistema, o computador de bordo também pode realizar a digitalização e compressão de imagens para transmissão para o computador em solo. Por exemplo, uma configuração típica poderia incluir um canal analógico para a transmissão de imagens de alta resolução e um canal de áudio para a transmissão de dados e imagens monocromáticas digitais de baixa resolução e baixa taxa de atualização.

3.4.2. Definição de um Protocolo Simplex para Transmissão de Dados

A comunicação de dados entre a aeronave e o computador em solo caracteriza-se por ser em tempo real. Isso inclui a transmissão de imagens, embora essa análise será reservada para trabalhos futuros.

Em sistemas de transmissão de dados em tempo real é importante dispor-se do dado no momento exato, descartando-o se não estiver correto. A adoção de um protocolo de comunicação

confiável pode atrasar a entrega do dado, tornando-o inútil. Por esse motivo, o protocolo adotado neste trabalho tem operação simplex com detecção de erros.

A Tabela 3 descreve os dados transmitidos da instrumentação de bordo e a Figura 8 mostra um pacote de dados.

Tabela 3 - Dados da Instrumentação de Bordo

Nome do Dado	Faixa	Tamanho	Taxa de Atualização
Combustível	0 a 100 %	Inteiro 8	Contínua
Rotação	0 a 20000 rpm	Inteiro 16	0,1s
Temperatura Gases	0 a 500 °C	Inteiro 16	Contínua
Temperatura Local	-50 a +50 °C	Inteiro 16	Contínua
Velocidade Ar	0 a 300 Km/h	Inteiro 16	Contínua
Altitude	-5000 a +5000 m	Inteiro 16	Contínua
Direção	0 a 359°	Inteiro 16	-
Distância	0 a 15000 mm	Inteiro 16	-
Horizonte Artificial			
Tangagem	0 a 359°	Inteiro 16	-
Rolamento	0 a 359°	Inteiro 16	-
GPS			
Velocidade	0 a 300 Km/h -	Inteiro 16	1s
Latitude	/+6,48E8 ms°	Inteiro 32	
Longitude	-/+3,24E8 ms°	Inteiro 32	
Altitude	-/+5E5 cm	Inteiro 32	
Tempo	0 a 863999 ds	Inteiro 32	

Os campos mostrados na Figura 8 representam as seguintes características:

<i>Header</i> (1)	Dados (37)	<i>Checksum</i> (2)
-------------------	------------	---------------------

Figura 8 - Pacote de Dados

- **Header** - por definição esse campo sempre apresenta o valor 01111110;
- **Identificação dos pacotes** - cada pacote transmitido começa por um padrão especial de bits, o *header*, permitindo a separação dos pacotes. Sempre que ocorrer cinco valores 1 consecutivos no campo de dado ou *checksum*, automaticamente é inserido um bit 0 para que o padrão de bits do *header* não apareça no restante do pacote. Quando o receptor encontra cinco bits 1 em sequência seguidos de um 0, ele automaticamente retira o bit 0 que foi inserido;
- **Checksum** - a soma (sem *carry*) de todos os bytes do pacote, desprezando-se o *header*, deve ser igual a zero.

Os dados transmitidos são utilizados para a atualização dos instrumentos na tela de controle. A taxa de atualização dos mostradores selecionada foi de 1s para permitir sua fácil visualização. A taxa selecionada para a transmissão dos dados é o dobro da taxa máxima de atualização dos mostradores, ou seja, 2 pacotes/s. Os dados apresentados nos mostradores poderão ser a média dos últimos “n” pacotes recebidos sem erro, onde “n” deve ser definido experimentalmente.

$$\text{taxa transmissão} = 2 \text{ pacotes/s} = 80 \text{ bytes/s} = 640 \text{ bits/s}$$

Essa taxa de transmissão permite a utilização de *modems* simples de 1200 bps, tais como o Baycom [BAY98] utilizado em *packet radio*. O diagrama elétrico desse *modem* é disponível gratuitamente. Seu custo, implementação, peso e consumos de energia são muito baixos.

Para a utilização em controle de voo semi-autônomo, são necessárias taxas de transmissão mais elevadas, que podem ser obtidas com a utilização de *modems* mais rápidos.

3.5. Sistema do Tipo III - Voo Autônomo

No sistema de Tipo III, os vôos são autônomos. Este sistema utiliza os mesmos equipamentos do sistema do Tipo II com algumas diferenças, que são os equipamentos computacionais e o software de controle de voo adequados para realizar missões de forma totalmente automática. A missão deve ser programada previamente na aeronave incluindo a rota a ser seguida, as

coordenadas e a altitude onde devem ser captadas as imagens. A decolagem e pouso podem ser convencionais, embora a decolagem por catapulta e pouso por pára-quedas ou redes de coleta permitam maior flexibilidade de operação. O grande desafio no desenvolvimento de um sistema do Tipo III está no software de controle de voo e navegação aérea.

Neste sistema, o transmissor RC, o receptor de dados e o microcomputador da base são opcionais, já que o sistema é autônomo. A disponibilidade desses elementos, entretanto, permite maior flexibilidade ao sistema, podendo-se avaliar as imagens obtidas e modificar a missão programada durante a sua execução.

O sistema do Tipo III é o mais versátil de todos e pode ser utilizado em todas as aplicações, embora possa não apresentar a melhor relação custo/benefício em todos os casos. A programação da missão também pode ser uma operação desnecessária nas aplicações mais simples, dificultando a operação do equipamento em relação ao modo de operação dos sistemas do Tipo I e II.

O sistema do Tipo III é muito útil em áreas remotas e inacessíveis como pântanos com grande extensão geográfica. Seu maior nível de usabilidade é obtido no monitoramento sistemático de forma automática de grandes áreas geográficas, tais como, na fiscalização de desmatamentos e recomposições ambientais, onde a Lei 4771 de 1965 do Código Florestal estipula que deve ser mantida uma área de preservação de 30m à margem dos rios de até 10m de largura.

3.5.1. Definição do Sistema do Tipo III

A Figura 9 mostra o diagrama de blocos do sistema de Tipo III. Os equipamentos utilizados são os mesmos do sistema do Tipo II e estão descritos na seção 3.4.1.

Figura 9 - Diagrama de Blocos do Sistema do Tipo III

3.6. Correlação entre os Sistemas e suas Aplicações

A Tabela 4 mostra um resumo dos tipos de aplicações e possibilidade de utilização dos três tipos de sistemas definidos, o custo estimado, o tipo de voo, a dificuldade de utilização e os tipos de aplicação de cada um dos sistemas.

Tabela 4 - Correlação entre as Aplicações Previstas e a Aplicabilidade dos Tipos de Sistemas Definidos

Tipo de Sistema	Custo Estimado	Área Geográfica de Operação	Vôo não Visual	Dificuldade de Utilização	Tipo de Aplicação
I	Baixo (< US\$ 2000)	Pequena	Não	Pequena	1,3,5,6
II	Médio (< US\$ 7000)	Média a Grande	Sim	Média	1,3,4,6
III	Médio (< US\$ 10000)	Grande	Sim	Pequena	1,2,3,4,5,6

3.7. Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentada a análise de requisitos do sistema, a definição dos três sistemas propostos, o campo de aplicação de cada um dos sistemas, a definição de um protocolo simplex para transmissão de dados e uma correlação entre os sistemas e suas aplicações.

Os três tipos de sistemas de obtenção de imagens propostos possuem aplicações importantes tanto para a agricultura quanto para outras áreas. Para serem implementados depende-se do tipo de aplicação desejada e do tamanho da área geográfica a ser monitorada.

O sistema do Tipo I pode ser utilizado para áreas pequenas onde o vôo pode ser controlado visualmente e não seja necessária a obtenção de imagens com referência geográfica. Devido ao seu baixo custo e facilidade de utilização, o sistema do Tipo I pode ser utilizado em pequenas propriedades onde a utilização dos outros dois tipos de sistemas se torna inviável economicamente.

Os sistemas do Tipo II e III são mais úteis para projetos maiores e onde se tenha necessidade de imagens com referência geográfica, monitoramento de grandes áreas e imagens em tempo real.

No próximo capítulo será apresentado o projeto e a implementação do sistema do Tipo I, com um diagrama de blocos detalhado do sistema, seleção dos componentes e aspectos da implementação.

Capítulo 4

4. Projeto e Implementação de um Sistema do Tipo I

4.1. Considerações Iniciais

No capítulo anterior foram apresentadas as principais aplicações previstas para o sistema de obtenção de imagens aéreas baseado em aeronaves sem tripulação. Em função dessas aplicações, foi feita uma análise de requisitos que resultou na definição de três tipos diferentes de sistema com níveis crescentes de complexidade e aplicabilidade.

Neste capítulo são descritos o projeto e a implementação de um sistema do Tipo I. Desta forma, na seção 4.2 é apresentado um diagrama de blocos detalhado do sistema, identificando cada um dos seus componentes. O estabelecimento de critérios para a seleção desses componentes é apresentado na seção 4.3 juntamente com a escolha feita para a implementação do sistema. Na seção 4.4 são cobertos diversos detalhes da implementação do sistema, com ênfase no subsistema de controle da câmera fotográfica digital utilizada. Finalmente, na seção 4.5 são apresentadas as conclusões alcançadas nesta etapa do projeto.

4.2. Diagrama de Blocos Detalhado de um Sistema do Tipo I

A Figura 10 mostra o diagrama de blocos detalhado do sistema. Neste diagrama, os blocos em linhas tracejadas não foram implementados. O pára-quedas não foi necessário para a realização dos testes e não foi possível a instalação do transmissor de vídeo na aeronave devido ao processo de importação. Na seção seguinte são descritos cada um dos componentes apresentados no diagrama de blocos.

Figura 10 - Diagrama de Blocos Detalhado do Sistema do Tipo I

4.3. Seleção dos Componentes

O receptor de TV de UHF e o gravador de vídeo cassete no diagrama de blocos da seção anterior são triviais e não requerem maior detalhamento. O único aspecto a ser discutido nesse caso é a fonte de energia necessária para a sua operação. Enquanto podem ser obtidos no mercado aparelhos de TV pequenos que podem ser alimentados por baterias, o mesmo não ocorre com os aparelhos de vídeo cassete. Nos locais onde não tiver disponível uma tomada da rede elétrica é necessário um inversor para gerar a tensão alternada necessária para a alimentação desses equipamentos a partir de uma bateria. Alternativamente, pode-se utilizar um grupo motogerador a gasolina ou diesel.

Nos itens seguintes, descreve-se cada um dos demais componentes do diagrama de blocos.

4.3.1. Aeromodelo

Alguns aspectos para a seleção do aeromodelo foram discutidos anteriormente nas seções 2.6 e 3.3. Para os testes iniciais do sistema foi selecionado um aeromodelo que apresenta maior durabilidade que os aeromodelos convencionais normalmente construídos de balsa, isopor e filme plástico. O aeromodelo utilizado (marca U.S. Aircore, modelo trainer 40) é um *kit* de aeromodelo comercial fabricado de material plástico do tipo poliondas (utilizado em pastas escolares). Este tipo de material é extremamente resistente a quedas como se confirmou durante os testes realizados e descritos no capítulo 5.

O aeromodelo apresenta um comprimento de asa de 1,625m e uma área alar de 46 dm² (704 polegadas quadradas). A carga alar básica é de 57g/dm² para um peso de 2610g (92 onças). O peso com a câmera e acessórios atingiu 3 Kg (106 onças), elevando a carga alar para 65g/dm². Essa carga alar ainda é bastante adequada para garantir voo estável e em baixa velocidade do aeromodelo [ACA96]. A velocidade de estol pode ser estimada pela expressão [LEN96]:

$$V_s = \sqrt{\frac{P * 3519}{C_{smax} * SA * Da}}$$

Onde:

V_s = velocidade de estol em milhas/hora;

P = peso da aeronave em onças;

SA = área da asa em polegadas quadradas;

Da = densidade do ar no nível do mar =1; a 1500 m = 0.8616;

C_{smax} = coeficiente de sustentação máximo, normalmente próximo de 1.

Para o aeromodelo foram utilizados:

$P = 106$ onças; $SA = 704$ polegadas quadradas; $Da = 0.9$; $C_{smax} = 1$.

Resultando em:

$V_s = 24,3$ milhas/h = $38,9$ Km/h = $10,8$ m/s.

4.3.2. Motor

Diversas considerações foram feitas na seção 2.6 sobre a adequação de uso dos tipos de motores disponíveis para aeromodelos nas aplicações previstas neste projeto. Para os testes iniciais foi selecionada a opção mais comum, um motor tipo *glow* a metanol com potência adequada.

O motor utilizado é da marca OS modelo OS MAX-40FX, de alto desempenho, movido a metanol. Sua capacidade é de 6,47 cc, a potência de 1,36 PS @ 16000 rpm, trabalhando na faixa de 2.000 a 17.000 rpm e o seu peso é de 386g [OSE95].

A hélice utilizada tem dimensões 11" x 5" possibilitando grande empuxo estático e baixa velocidade de voo, características importantes para a operação do sistema.

4.3.3. Sistema de Rádio Controle

Para um sistema do Tipo I, o único requisito do sistema de rádio é o número de canais disponíveis, uma vez que não são necessárias as funções adicionais de configuração existentes nos equipamentos de rádio controle mais sofisticados. O equipamento de rádio selecionado possui seis canais de transmissão PPM/FM, modelo Focus 6, marca Hitec. O consumo de corrente é de 150mA e o suprimento de energia é de 9.6V (oito pilhas Ni-Cad). O alcance especificado pelo fabricante é de 985m ou maior [HITs.d.]. Quatro canais de controle são utilizados para o aeromodelo (potência do motor, ailerons, leme e profundor), um canal é utilizado para o controle da câmera digital e um canal foi previsto para o acionamento do pára-quedas. O receptor utilizado é da marca Hitec, modelo RCD 3500 com oito canais. Ele é alimentado por uma tensão de 4,8 volts proveniente de quatro pilhas de Ni-Cad. Os servomecanismos utilizados são também da marca Hitec, modelo HS-422, apresentam mancais com buchas, velocidade de 0,21s para 60° de deslocamento e torque de 3 Kg/cm.

4.3.4. Transmissor de Áudio e Vídeo

O transmissor de vídeo selecionado para o projeto é o Kit ATV-2 fabricado pela Supercircuits, operando na faixa de TV de UHF. Ele possui dois níveis de potência de saída: 30 milliwatts e 2 watts. No nível de potência mais elevado, o alcance é acima de 3 Km. O padrão de vídeo utilizado é o NTSC e ele dispõe de entrada de áudio.

A entrada de áudio desse transmissor será utilizada na futura implementação de um sistema do Tipo II para a transmissão de dados da instrumentação de bordo. O transmissor não foi utilizado neste trabalho devido ao atraso no processo de importação do mesmo.

4.3.5. Câmera de Vídeo

Embora não tenha sido instalada para os testes pela não disponibilidade do transmissor, mencionada na seção anterior, a câmera selecionada apresenta as seguintes características:

- Marca Genius, modelo VideoCam;
- Sensor LCD de ¼", 270000 *pixels*;

- Comprimento focal da lente de 4,5 mm e F3.4;
- Foco de 8,2 mm até infinito (manual);
- Resolução de 240 linhas verticais e 320 linhas horizontais;
- Controle de balanço de cor automático;
- Controle de íris eletrônico;
- Velocidade de obturador entre 1/60 a 1/80000s;
- Níveis de iluminação entre 15 a 10000 lux;
- Ângulo de Visão horizontal de 57° e vertical de 33,8°;
- Alimentação de 5 Vdc @ 150 mA;
- Peso com a caixa de 150g.

Apesar de não ser uma câmera de alta resolução e de não apresentar uma sensibilidade muito alta, esta câmera pode ser facilmente encontrada no mercado, pois normalmente é utilizada em sistemas de videoconferência em PCs. Adicionalmente, a caixa da câmera pode ser removida e, uma das placas de circuito impresso das três que compõem o seu circuito eletrônico pode ser descartada nesta aplicação. As duas placas restantes apresentam dimensões e peso extremamente reduzidos (3,7x5,4cm; 3,0x2,0cm - incluindo as lentes; 20g) , facilitando bastante a instalação no aeromodelo.

4.3.6. A Câmera Fotográfica Digital

Existem diversas câmeras fotográficas digitais que podem ser utilizadas neste projeto. A câmera selecionada para os testes pode não representar a melhor opção. Ela foi selecionada pela sua fácil disponibilidade, pequeno tamanho e custo reduzido.

As principais características da câmera utilizada são [PAN97]:

- Marca Panasonic, modelo KXL-600A;

- Peso de 140g;
- Dimensões 12,3 x 6,0 x 2,5 cm;
- Armazenamento das imagens em cartão PCMCIA de memória *flash* com 2 ou 4 *Mbytes*;
- Até 48 imagens com 640 x 480 *pixels* e 24 *bits/pixel*;
- Comprimento focal da lente de 5.2mm, F2.8;
- Tempo de processamento da imagem de aproximadamente 1 segundo;
- Velocidade de obturador entre 1/15s a 1/4000s;
- Sensibilidade equivalente ao de um filme fotográfico de 100 ASA;
- CCD (*Charge Coupled Device*) de 1/4", 320000 *pixels*;
- Foco fixo de 1m ao infinito.

O suprimento de energia utilizado consistiu em 5 pilhas de Ni-CAD com capacidade de 1100 mAH (miliampères/h), pesando 115g.

O comprimento focal da lente permite um ângulo de visão horizontal de 47,86° que foi obtido através de ensaio realizado com a câmera. O ensaio foi realizado utilizando uma régua de 1 metro fotografada a uma distância de 1m. A distância horizontal fotografada foi de 88,75 cm, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Ângulo de Visão da Câmera

Dessa figura segue-se que:

$$\operatorname{tg}(\theta/2) = \frac{0,8875}{2} \Rightarrow \theta = 47,86^\circ.$$

A avaliação da altitude na qual as fotografias foram tiradas foi feita através das medidas de dimensões conhecidas encontradas nas fotos, por exemplo, a largura de uma rua e pelo ângulo de visão da câmera. Através das dimensões conhecidas, pode-se calcular facilmente a distância horizontal coberta pela foto. A altura é dada, no caso da câmera utilizada, pela equação:

$$\operatorname{tg}(\theta/2) = \frac{0,8875}{2} = \frac{h}{2 * A}$$

onde:

h = distância horizontal no solo coberta pela foto;

A= altitude de voo.

Ou seja,

$$A = 1,13 * h.$$

Outro aspecto importante relacionado com a câmera fotográfica é a sua habilidade de obter fotos nítidas mesmo com o avião em movimento. Essa habilidade depende dos seguintes fatores:

- Sensibilidade do elemento captador de imagem;
- Abertura do diafragma;
- Condições de iluminação do local;
- Velocidade do obturador;
- Velocidade horizontal da aeronave;
- Vibração linear da aeronave na direção dos eixos de tangagem e rolamento;
- Vibração angular da aeronave em relação aos eixos de tangagem, rolamento e guinada.

A sensibilidade do captador da imagem é fixa, sendo equivalente a 100 ASA no caso da câmera utilizada.

A abertura do diafragma não é importante quanto ao aspecto de profundidade de campo uma vez que, na maioria das aplicações, a altitude do avião é muito maior que a altitude do relevo do solo que está sendo fotografado. Em certos casos, entretanto, ela deve ser considerada, como por exemplo, na fotografia em baixa altitude de matas ou culturas de eucaliptos, onde se deseja ter em foco tanto a copa das árvores quanto o solo. A possibilidade de controle automático da abertura do diafragma é uma característica desejável. Se a câmera dispuser de um modo para fotografia de eventos rápidos, por exemplo, esportes, é possível utilizar a abertura do diafragma como meio básico de controle da exposição, mantendo-se a velocidade do obturador sempre a mais elevada possível. No caso da câmera utilizada, a abertura do diafragma é fixa em F2.8.

As condições de iluminação do local variam com a época do ano e com as condições climáticas. Juntamente com a sensibilidade do elemento captador de imagens, elas determinam qual deve ser a combinação entre a abertura do diafragma e a velocidade de obturador para uma

correta exposição. Os valores de exposição abaixo são recomendados para sensibilidade de 100 ASA e abertura de diafragma F2.8 [FRE84]:

- Tempo claro com sol – 1/4000 s;
- Tempo encoberto – 1/2000 s;
- Tempo bastante encoberto – 1/60 s.

A influência da velocidade horizontal da aeronave sobre a velocidade de obturador para a obtenção de fotos nítidas pode ser estimada como segue.

Para os cálculos seguintes, admite-se que a resolução da câmera é de 640 x 480 *pixels* e que, a aeronave se movimenta no sentido da maior dimensão da imagem, ou seja, 640 *pixels*. Admite-se, também, que o avião pode se movimentar no máximo uma distância de ½ *pixel* durante a exposição para que as imagens permaneçam razoavelmente nítidas.

Neste caso, o espaço de solo coberto por cada *pixel* depende da altitude do avião sendo dado pela seguinte equação:

$$Cp = \frac{h}{640} = \frac{A}{640 * 1,13} = \frac{A}{723,2}$$

onde:

h = distância horizontal coberta pela imagem em metros;

A = altitude do avião em metros;

Cp = comprimento do *pixel*.

A velocidade do obturador deve ser tal que:

$$To = \frac{Cp}{2 * Va} = \frac{A}{1446,4 * Va}$$

onde:

To = tempo do obturador;

Va = velocidade da aeronave em m/s.

Observa-se dessa equação que o tempo de obturador diminui com a velocidade da aeronave e aumenta com a altitude.

Para o caso da aeronave utilizada, na velocidade mínima de vôo calculada anteriormente, tem-se:

$$\text{para } A = 100 \text{ m} \Rightarrow To = \frac{100}{1446,4 * 10,8} = \frac{1}{156,2} \text{ s},$$

$$\text{para } A = 10 \text{ m} \Rightarrow To = \frac{10}{1446,4 * 10,8} = \frac{1}{1562} \text{ s}.$$

O efeito da vibração linear da aeronave em relação aos eixos de tangagem e rolamento sobre a nitidez das fotos pode ser tratada de forma semelhante ao que foi feito para a velocidade horizontal da aeronave. A vibração é caracterizada por um movimento oscilatório linear onde a velocidade cai a zero nos extremos do movimento e atinge um máximo em algum ponto do deslocamento. Esse valor máximo pode ser utilizado na equação anterior para a estimativa da velocidade do obturador. Os ensaios em laboratório para a determinação desses valores estão fora do escopo deste trabalho.

O último aspecto que pode influenciar a nitidez das imagens obtidas é a estabilidade angular do avião em qualquer um dos seus três eixos de controle. Ao girar nesses eixos, o avião muda a direção para onde a câmera está apontada a uma velocidade angular ω°/s . Novamente, a velocidade angular é zero nos extremos do movimento passando por um máximo em algum ponto dele.

A Figura 12 mostra o caso de deslocamento angular no eixo de rolagem da aeronave. Supõe-se, no caso geral, que o avião se desloca do ângulo $\varnothing_1$ até o ângulo $\varnothing_2$ com uma velocidade angular ω radianos/s. Observe que no desenho a aeronave está nivelada, ou seja, $\varnothing_1 = 0$. Ds é o deslocamento linear no solo correspondente à variação no ângulo de visada da câmera.

Figura 12 - Deslocamento Angular no Eixo de Rolamento da Aeronave

Para a figura acima têm-se as seguintes relações:

$$Ds = A * tg(\phi_2) - A * tg(\phi_1) = A * (tg(\phi_2) - tg(\phi_1))$$

$$\phi = \int \omega * dt$$

para $\omega = \text{cte}$ (válido se $\phi_1 \approx \phi_2$) e integrando $\phi = \int \omega * dt$ têm-se:

$$\phi = \omega * t = 2 * \pi * f * t = \frac{2 * \pi * t}{T}$$

onde:

f = frequência em Hertz;

T = período em segundos;

$$\phi_2 = \phi_1 + \omega * t.$$

Supondo que $t_1 = 0$ (instante inicial) e $t_2 = t$ e fazendo o deslocamento Ds igual à metade do comprimento de um pixel, tem-se:

$$Ds = \frac{Cp}{2} = \frac{A}{1446,4} = A(tg(\phi_1 + \omega * t) - tg(\phi_1)) \Rightarrow tg(\phi_1 + \omega * t) = \frac{1}{1446,4} + tg(\phi_1).$$

Observa-se que o tempo não depende da altitude do avião e, para facilitar a análise, suponha-se que o avião está inicialmente nivelado, ou seja, $\phi_1 = 0$. Neste caso,

$$t = \frac{\arctg(1/1446,4)}{\omega},$$

ou seja, o tempo de abertura do obturador depende apenas do inverso do valor da velocidade angular.

No caso $\varnothing 1 = 0$ tem-se o menor deslocamento D_s para um dado valor de ω . Por este motivo deve-se evitar a obtenção de imagens com a aeronave desnivelada.

4.3.7. O Sistema de Controle da Câmera Fotográfica

Algumas características da câmera fotográfica como, por exemplo, o autodesligamento após 4m de operação, o tempo de aproximadamente 6s para a entrada em operação, o tempo de processamento de 1s e a inexistência de uma entrada para um disparador remoto, exigiram a construção de um equipamento de interface com o receptor de rádio controle para que as fotografias pudessem ser obtidas.

Essa interface foi baseada em um microcontrolador PIC 16f84 e desempenha as seguintes funções:

- Medição do pulso do receptor de rádio controle (canal 5) para o acionamento do disparador da câmera;
- Funcionamento em três modos básicos de operação (selecionáveis por *jumper*) para contornar o autodesligamento e permitir a economia da energia das baterias:
 - ◇ **Modo 1** - ao ser acionada a chave para a obtenção de uma fotografia, a câmera é ligada, uma fotografia é tirada e a câmera é imediatamente desligada;
 - ◇ **Modo 2** - ao ser acionada a chave para a obtenção de uma fotografia, a câmera é ligada, uma fotografia é tirada e espera-se 1m por um novo comando de tirar foto. Ao fim desse período, a câmera é desligada caso nenhuma foto seja tirada ou o período é renovado, caso contrário;
 - ◇ **Modo 3** - a câmera é mantida sempre ligada tirando-se automaticamente uma foto antes da expiração do tempo de desligamento de 4m.

Em qualquer um dos modos de operação, até cinco comandos de fotos são armazenados, compensando-se o tempo de processamento das imagens de 1s.

O diagrama de blocos do equipamento de interface pode ser visto na Figura 13. O esquema elétrico do equipamento de interface pode ser observado no apêndice I.

Figura 13 - Equipamento de Interface

Descrição dos Blocos do Equipamento de Interface:

- **Display LCD** - *display* de cristal líquido com duas linhas e vinte colunas. Os caracteres ASCII são mostrados no formato 8 x 5. Esse *display* não é normalmente utilizado (pode ser desligado através de um dos *jumpers*), sendo útil para a depuração do sistema ou verificação do seu estado operacional;
- **Receptor RC** - é utilizado o canal 5 para o acionamento da câmera;
- **Microcontrolador** - circuito integrado PIC 16f84 apresenta arquitetura RISC, possuindo 68 bytes de memória RAM, 64 bytes de dados de memória EEPROM e 13 pinos de I/O, 1 Kbyte

de *flash* ROM e *clock* de 10 MHz. O PIC aciona o controle de liga/desliga da câmera, o disparador (*shutter*), recebe sinais de um conjunto de *jumpers* que definem o modo de operação e o acionamento do *display* de cristal líquido e recebe um sinal do sensor de corrente indicando se a câmera está ligada ou não. Esse sinal é necessário porque o controle de liga/desliga da câmera é do tipo contato momentâneo;

- **Sensor de Corrente** - utilizado para indicar se a câmera fotográfica está ligada ou desligada;
- **L/D** - chave de liga/desliga;
- **Bateria** - bateria utilizada para alimentação da câmera fotográfica.

O diagrama de estados do software da interface é mostrado na Figura 14. Observa-se nessa figura o funcionamento dos modos de operação descritos acima. Foram excluídos desse diagrama os estados correspondentes as funções do *display* de cristal líquido. O algoritmo completo e a listagem do programa podem ser observados nos apêndices II e III, respectivamente.

Figura 14 - Diagrama de Estados do Software da Interface

4.4. Aspectos de Implementação

A construção do aeromodelo selecionado foi feita de acordo com o manual de instruções que acompanha o *kit*. As técnicas utilizadas não são convencionais uma vez que esse aeromodelo não utiliza materiais convencionais de aeromodelismo. Apesar da construção ser rápida e relativamente fácil, o aeromodelo produzido apresenta uma série de problemas aerodinâmicos relacionados principalmente com o alinhamento das superfícies e impossibilidade de obtenção de superfícies de controle perfeitamente planas. O comportamento em voo é melhor que o esperado, conforme descrito no próximo capítulo.

O circuito da interface de controle da câmera fotográfica digital foi implementado utilizando-se uma placa de circuito impresso padrão e a técnica de *wire wrap*, tendo sido alojado internamente no aeromodelo.

A fixação da câmera no aeromodelo foi feita no lado da fuselagem em uma pequena caixa fixada por elásticos do mesmo tipo daqueles utilizados para a fixação da asa, conforme observado na Figura 15. O material utilizado para a construção dessa caixa é o mesmo da construção da aeronave. A caixa foi fixada em uma posição onde o centro de gravidade do aeromodelo não é alterado, possibilitando a realização de vôos de teste com e sem a câmera com o mesmo ajuste de centro de gravidade.

Figura 15 - Aspecto Geral do Aeromodelo e do Sistema de Fixação da Câmera

4.5. Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado a implementação de um sistema do Tipo I para a obtenção de imagens aéreas. Utilizou-se nessa implementação materiais convencionais de aeromodelismo possibilitando-se grande facilidade de construção e baixo custo do sistema.

A seleção dos equipamentos para captação e transmissão de imagens seguiu os mesmos critérios de baixo custo e alta disponibilidade. Para a câmera fotográfica adotada exigiu-se a construção de um circuito de interface para que ela pudesse ser acionada a partir de um comando de rádio emitido do solo.

Alguns cálculos foram feitos para a estimativa da qualidade das imagens obtidas em relação à velocidade de voo do aeromodelo e sua estabilidade. Os testes do sistema são apresentados no próximo capítulo, permitindo-se a verificação dessas estimativas.

5. Resultados Obtidos na Operação do Sistema Implementado

5.1. Considerações Iniciais

O projeto e a implementação de um sistema do Tipo I foram apresentados no capítulo anterior. Neste capítulo é feita uma avaliação dos resultados obtidos na operação do sistema implementado, bem como a descrição dos ambientes de testes e das dificuldades encontradas.

Na seção 5.2 é feita uma descrição dos procedimentos para operação do sistema, tais como as condições de voo do aeromodelo e ambientes onde os testes foram realizados. Na seção 5.3 é feita uma análise dos resultados das imagens aéreas e as situações em que foram obtidas. Finalmente, na seção 5.4 são apresentadas as considerações finais deste capítulo.

5.2. Descrição dos Ambientes de Teste e Procedimentos Operacionais

Inicialmente foram testados as condições de voo do aeromodelo, sua estabilidade, o centro de gravidade e a sua capacidade de carga. Para isso, todos os equipamentos foram pesados e uma placa de chumbo correspondente a esse peso foi transportada para assegurar a capacidade de carga do aeromodelo. Os testes com a câmera e todos os acessórios foram realizados na obtenção das imagens. Dependendo do local de operação do sistema, a decolagem e o pouso do aeromodelo podem requerer técnicas especiais. Nos locais onde o sistema foi testado foram

possíveis pousos e decolagens convencionais. A decolagem exige cerca de 50m de pista e o pouso pode ser realizado em espaços bem menores.

Apesar do seu peso um pouco elevado, o material utilizado na construção do aeromodelo apresenta como principal vantagem uma alta resistência a choques e torções, tornando-o quase indestrutível. Durante os testes, houve um choque com um eucalipto e subsequente queda de 15m de altura, um pouso em uma área de cerrado e um choque frontal a todo motor com uma laranjeira durante uma decolagem mal sucedida. Nenhum dano foi registrado na aeromodelo nesses incidentes.

O posicionamento do aeromodelo sobre a área de interesse revelou ser mais fácil de que o esperado. O voo é suficientemente estável e o aeromodelo pode ser pilotado com segurança em baixas velocidades. A altitude de voo representa um problema se for desejado voo em baixas altitudes sobre culturas de grande porte. Nesse caso, uma plataforma pode ser utilizada para elevar a posição do piloto. No caso da cultura de laranja da fazenda Nova Trento no município de Gavião Peixoto - SP, onde um dos testes foi realizado, um caminhão tanque propiciou esta plataforma, embora qualquer tipo de escada com 2m a 3m de altura possa ser utilizada para essa finalidade. A autonomia de voo de 20 minutos se revelou mais do que suficiente para a obtenção das 24 imagens possíveis com um cartão de memória de 2 Mbytes na câmera.

Uma vez obtidas as imagens, elas podem ser transferidas no local dos testes para um computador portátil, podendo-se realizar uma nova bateria de testes em seguida. Uma opção seria a utilização de vários cartões de memória, podendo-se nesse caso dispensar a utilização do microcomputador. Perde-se com essa última opção a possibilidade de avaliação das imagens no local, o que permite a repetição das imagens caso necessário.

5.3. Análise dos Resultados Obtidos

Nesta seção são apresentadas algumas imagens obtidas com comentários indicando a situação em que foram tiradas e o nível de qualidade das mesmas. Quanto à nitidez, as imagens estão classificadas em nítidas, aceitáveis e borradas. Procurou-se selecionar imagens representativas dos testes realizados.

Para a validação do sistema do Tipo I foram realizados testes em três locais distintos:

1. Pista da ASA (Associação Sãocarlense de Aeromodelismo), que fica situada atrás do parque ecológico na Universidade Federal de São Carlos, próxima à Fazenda Canchim no município de São Carlos. A pista é de terra batida e possui 250m de comprimento x 25m de largura, sendo que a área para decolagem é de 120m de comprimento x 12m de largura e, é rodeada por uma plantação de eucaliptos;
2. Pista do Aeroclube de São Carlos, que fica próxima ao cemitério da cidade. A pista é de terra batida e possui uma área de 700m de comprimento x 40m de largura;
3. Fazenda de Cultura de Citrus Nova Trento, situada no município de Gavião Peixoto – SP. Não possui pista de decolagem. O aeromodelo decolou entre duas fileiras de citrus com espaçamento de 8m. O terreno é completamente irregular e arenoso, dificultando a decolagem.

Nestes testes procurou-se avaliar a facilidade de operação do equipamento e sua adequação para a finalidade proposta, particularmente quanto à adequação e a qualidade das imagens produzidas pela câmera fotográfica digital em função dos níveis de vibração do aeromodelo em voo e dos níveis de luminosidade encontrados.

Apesar de ter algumas características interessantes para esta aplicação, a câmera fotográfica utilizada apresenta alguns inconvenientes, como a impossibilidade de se conhecer os valores da velocidade do obturador de cada imagem obtida. Também não é possível fixar essa velocidade, pois ela é utilizada para o controle da quantidade de luz que incide sobre o elemento CCD de captação das imagens, não existindo controle de diafragma (o valor é fixo em F2.8). O único controle adicional de luz disponível é um filtro de densidade neutra que pode ser superposto à lente da câmera. Outro ponto negativo observado é o aparecimento de estrias coloridas quando o nível de luz ultrapassa o nível máximo permitido pelo CCD.

O grau de nitidez das imagens variou bastante dependendo das seguintes condições de voo:

- Nível de potência do motor;
- Intensidade do vento;

- Posição da aeronave no instante da foto;
- Utilização ou não do filtro de densidade neutra;
- Velocidade do obturador em função da quantidade de luz disponível.

A avaliação da velocidade de obturador foi feita em solo através de um fotômetro manual, tendo variado entre 1/250s e 1/3000s. A correlação dessas velocidades com o grau de nitidez das imagens mostrou que velocidades acima de 1/2000s normalmente resultam em imagens nítidas ou com nitidez aceitável para as aplicações previstas pelo sistema.

O custo estimado de operação do sistema é composto basicamente pelo combustível para a operação do aeromodelo, próximo a R\$ 3,00 por hora, sendo possível nesse período a obtenção de mais de 100 imagens.

Analisando-se as imagens obtidas observa-se que as imagens 3 e 4 estão borradas e foram obtidas com tempo encoberto, sem filtro e com motor ligado. A imagem 5 foi obtida com tempo claro, sem filtro e apesar de nítida, ficou comprometida pela inclinação do aeromodelo. A imagem 6 foi obtida com tempo parcialmente encoberto, com filtro, mas ficou bastante comprometida pela baixa velocidade do obturador. A imagem 10 foi obtida com tempo claro, sem filtro e com motor desligado. Apesar de não ser perceptível, a imagem original está ligeiramente fora de foco. A imagem 14 foi obtida com tempo claro e sem filtro, mas a qualidade da imagem foi prejudicada com o aparecimento de estrias causadas pelo excesso de nível de luz na área fotografada.. A imagem 16 foi obtida com tempo claro, sem filtro e com o motor desligado, a qualidade obtida indica que a vibração aerodinâmica em vôo foi o fator responsável pela sua degradação.

De uma maneira geral, a velocidade do obturador é determinante na qualidade das imagens. Velocidades praticáveis com tempo claro, superiores a 1/200s, normalmente resultaram em imagens nítidas.

A vibração do motor parece ter uma influência somente marginal nos resultados. A vibração causada pelas características da aeronave combinada com a velocidade de vôo certamente são fatores determinantes.

Imagem: 1
Teste: 1-Pista da ASA
Tempo: encoberto
Filtro: sem
Motor: ligado
Altitude: 109m
Nitidez: nítida

Imagem 2
Teste: 1-Pista da ASA
Tempo: encoberto
Filtro: sem
Motor: ligado
Altitude: 105m
Nitidez: nítida

Imagem: 3
Teste: 1-Pista da ASA
Tempo: encoberto
Filtro: sem
Motor: ligado
Altitude: 173m
Nitidez: borrada

Imagem: 4
Teste: 1-Pista da ASA
Tempo: encoberto
Filtro: com
Motor: ligado
Altitude: -
Nitidez: borrada

Imagem: 5
 Teste: 1-Pista da ASA
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 61m
 Nitidez: nítida

Imagem: 6
 Teste: 1-Pista da ASA
 Tempo: parcialmente encoberto
 Filtro: com
 Motor: ligado
 Altitude: -
 Nitidez: borrada

Imagem: 7
 Teste: 1-Pista da ASA
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: -
 Nitidez: nítida

Imagem: 8
 Teste: 1-Pista da ASA
 Tempo: encoberto
 Filtro: com
 Motor: ligado
 Altitude: 45m
 Nitidez: nítida

Teste: 2-Pista do Aeroclube de São Carlos
 Imagem: 9
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: desligado
 Altitude: 146m
 Nitidez: nítida

Teste: 2 – Pista do Aeroclube de São Carlos
 Imagem: 10
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: desligado
 Altitude: 327m
 Nitidez: aceitável

Teste: 2 – Pista do Aeroclube de São Carlos
 Imagem: 11
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: desligado
 Altitude: 245m
 Nitidez: aceitável

Teste: 2 – Pista do Aeroclube de São Carlos
 Imagem: 12
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 90m
 Nitidez: borrada

Imagem: 13
 Teste: 2 - Pista do Aeroclube de São Carlos
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: desligado
 Altitude: 140m
 Nitidez: nítida

Imagem: 14
 Teste: 2 - Pista do Aeroclube de São Carlos
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 90m
 Nitidez: nítida, mas prejudicada pelas estrias azuis.

Imagem: 15
 Teste: 2 - Pista do Aeroclube de São Carlos
 Tempo: claro
 Filtro: com
 Motor: desligado
 Altitude: -
 Nitidez: nítida

Imagem: 2 – Pista do Aeroclube de São Carlos
 Teste: 16
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: desligado
 Altitude: 140m
 Nitidez: aceitável

Imagem: 17
 Teste: 3 - Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 140m
 Nitidez: nítida

Imagem: 18
 Teste: 3 – Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sim
 Motor: ligado
 Altitude: 28m
 Nitidez: nítida

Imagem: 19
 Teste: 3 - Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 19m
 Nitidez: aceitável

Imagem: 20
 Teste: 3 – Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 70m
 Nitidez: nítida

Imagem: 21
 Teste: 3 - Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 41m
 Nitidez: nítida

Imagem: 22
 Teste: 3 – Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 89m
 Nitidez: borrada

Imagem: 23
 Teste: 3 - Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 30m
 Nitidez: nítida

Imagem: 24
 Teste: 3 – Fazenda de Cultura de Citrus N. Trento
 Tempo: claro
 Filtro: sem
 Motor: ligado
 Altitude: 65m
 Nitidez: borrada

5.4. Considerações finais

Apesar da sua simplicidade, o sistema de imagem aérea testado apresentou resultados preliminares bastante satisfatórios. Uma vez conhecidas as características de utilização da câmera e com boas condições de iluminação, a maioria das imagens apresentou qualidade adequada para a aplicação prevista.

A câmera fotográfica digital utilizada se mostrou inadequada para a aplicação. Apesar de apresentar boa velocidade máxima de obturador, a falta de controle de diafragma, um modo de exposição automática com prioridade de velocidade e a presença de estrias coloridas em algumas imagens determinam a sua substituição por uma mais adequada em futuras versões do sistema.

A utilização de uma câmera convencional, apesar de ainda não testada, resolveria todos esses problemas. Filmes coloridos de alta resolução podem ser encontrados com sensibilidade 10 vezes maior que a da câmera testada e é possível encontrar câmeras compactas de peso equivalente e com os recursos necessários. Lentes do tipo *zoom* podem tornar mais flexível a escolha da altura de vôo do aparelho. Existem alguns modelos de câmeras digitais com a maioria dessas características e está sendo selecionada uma para a continuidade dos experimentos.

No próximo capítulo serão discutidas as próximas etapas a serem cumpridas no projeto, em continuidade a este trabalho, que incluem a instalação de uma câmera convencional e uma nova câmera digital no equipamento para a obtenção de imagens sem restrição quanto à qualidade. Também deverão ser instalados nos próximos meses os diversos equipamentos para transformar gradativamente o sistema em um sistema do Tipo II. Um dos primeiros equipamentos a serem instalados será uma câmera e um transmissor de vídeo para possibilitar a operação não visual.

6. Conclusões

6.1. Considerações Iniciais

No capítulo 2 deste trabalho foi apresentada uma revisão bibliográfica cobrindo os meios convencionais de obtenção de imagens aéreas, o processo de interpretação dessas imagens, as técnicas de compressão de imagens para transmissão, os equipamentos necessários para transmissão de dados via rádio e alguns projetos de pesquisa relacionados.

No capítulo 3 foi feita uma análise de requisitos de sistemas baseados em aeronaves de tamanho reduzido que podem ser utilizadas para a obtenção de imagens aéreas. Foram apresentadas as definições de três tipos de sistemas com níveis de complexidade e custo crescentes. Foram especificadas algumas aplicações agrícolas de interesse e foi feita a correlação entre os sistemas definidos e essas aplicações. Também foi especificado um protocolo simplex para transmissão de dados via rádio adequado para a implementação de sistemas do tipo II.

No capítulo 4 foram apresentados o projeto e a implementação de um sistema do Tipo I, juntamente com a descrição de cada componente utilizado. Também foram introduzidos no capítulo 4 critérios para a seleção de componentes em função do nível de qualidade das imagens obtidas.

No capítulo 5 foram apresentados os resultados obtidos na operação do sistema implementado, incluindo a descrição do ambiente de testes, os procedimentos operacionais e a análise das imagens aéreas obtidas nos testes.

Neste capítulo são enumeradas, na seção 6.2, as contribuições deste trabalho e são feitas sugestões para a sua continuidade na seção 6.3.

6.2. Contribuições do Trabalho

O desenvolvimento deste trabalho resultou nas seguintes contribuições mais significativas:

- Proposta da aplicação de aeronaves de tamanho reduzido no monitoramento agrícola através da obtenção de imagens aéreas;
- Especificação de três diferentes tipos de sistema de obtenção de imagens aéreas, com níveis progressivos de aplicabilidade, dificuldade de implementação e custo;
- Análise da movimentação da aeronave em voo e sua influência sobre a nitidez das imagens, criando-se critérios para a seleção do equipamento de captação de imagens;
- Levantamento das principais aplicações agrícolas que podem se beneficiar de um sistema de baixo custo para a obtenção de imagens aéreas e sua correlação com os tipos de sistemas de obtenção de imagens aéreas definidos;
- Construção de um protótipo de sistema do Tipo I e realização de testes que comprovam a sua adequação para uma classe das aplicações previstas;
- Especificação de um protocolo de transmissão de dados via rádio adequado para a implementação de um sistema do Tipo II.

6.3. Sugestões para Trabalhos Futuros e Continuidade da Pesquisa

Conforme descrito no capítulo 3, foram definidos três tipos de sistemas para obtenção de imagens aéreas com aeronaves não tripuladas, sendo que neste projeto foi implementado um sistema do Tipo I. Os sistemas do Tipo II e III podem ser desenvolvidos em sequência, aproveitando-se experiência obtida com a realização deste trabalho. A seguir, relaciona-se uma série de projetos que dão continuidade ao trabalho até aqui desenvolvido. O nível desses

trabalhos, na maioria dos casos, é adequado para um mestrado. Alguns deles podem ser desenvolvidos como trabalhos de iniciação científica.

- Instalação da câmera de vídeo no sistema construído e implementação do sistema de transmissão e recepção associados para avaliação em testes de campo;
- Implementação da interface de controle de voo por computador de um sistema do Tipo II, conforme definido na seção 3.4.1, utilizando-se o protocolo especificado na seção 3.4.2;
- Implementação da instrumentação de bordo para voo por computador de um sistema do Tipo II conforme definido na seção 3.4.1;
- Desenvolvimento do controle de voo de um sistema do Tipo III;
- Desenvolvimento de um sistema de navegação aérea de um sistema do Tipo III;
- Realização de testes em laboratório para a determinação dos níveis de vibração de aeronaves com e sem motor e seu efeito sobre a qualidade das imagens obtidas utilizando-se os critérios definidos na seção 4.3.6.

Referências Bibliográficas

- [ACA96] ACADEMY OF MODEL AERONAUTICS. *U.S.Aircore trainer 40*: instruction manual. Muncil: AMA, 27p, 1996c.
- [ACR98] <http://www.acroname.com/robotics/parts/R11-6500.html>, 1998.
- [AER99] <http://www.aerial.cam.ac.uk/info.html>, 1999.
- [APE s.d.] <http://www.apexwireless.com/200.html> [s.d.]
- [ARC98] http://www.arcelect.com/ARC-SR900_RF_modem_10_1_98.html.
- [ASP83] American Society of Photogrammetry , *Manual of Remote Sensing*, 2nd ed. Falls Church, Va, 1983.
- [AWC96] *Airlink Wireless Connectivity*.
<http://www.teleport.com/~nts/cylink/modem.htm>, 1996.
- [BAY98] <http://www.baycom.org>, 1998.
- [BEV96] BERVELY,R.B.; Video Image Analysis as a nondestructive measure of plant vigor for precision agriculture. *Commun.Soil Sci.Plant Anal.*v.27, n.3/4, p.607-614. 1996.
- [BOD78] BODDINGTON, D.; *Building & Flying Radio Control Model Aircraft*, A. Wheaton & Co. Ltd.,Exeter, Great Britain, 1978.
- [CHI98] CHIARIGLIONE,L.; *The MPEG Home Page*, Torino – Italy,
http://drogo.cselt.stet.it/ufv/leonardo/mpeg/index.htm#About_MPE, 1998.
- [CRE97] *Pacific Crest Corporation*.
<http://www.paccrst.com/datarfm.htm>, 1997.
- [DOT97] DOTTORI, M.; NEGRAES, R., *GPS Manual Prático*, Ed.Fittipaldi Ltda c., São Paulo, SP, 1997.
- [ELF98 et al.] ELFES A.; BUENO, S.S; BERGERMAM,M; JOSUÉ JR,G.R.; GOMES,S.B.V.;*Project AURORA:Development of na Autonomous Unmanned Remote Monitoring Robotics Airship*, JOURNAL OF THE BRAZILIAN COMPUTER SOCIETY. v.4, p.70-78, 1998.
- [EWI98] EWING, J.; *Introduction to Model Engines*, East Coast Model Center. <Http://www.ecmc.com/document/inteng.html>, 1998.

- [FRE84] FREEMAN, M.; *Collins Concise Guide to Photography*, Robert Adkinson Limited, London, 1984.
- [FSI98] <http://www.microsoft.com/games/fsim/>, 1998.
- [GRE96] <http://www.greamerica.com>, 1996.
- [HAC95] HACKET, R.; *Getting Started, A Packet Radio Primer*, <http://www.lightfiber.com/~rhackett/primer.html>, 1995.
- [HDM98] *Hamtronics, Inc.*. <Http://www.hamtronics.com>, 1998.
- [HIT s.d.] HITEC. *Focus 6-6 channel FM system aircraft*: Operation Manual. Korea:Hitec, 6p [s.d.].
- [JOR93 et al.] JORGE, L.A.C.; MARIA, I.C. de; LOMBARDI NETTO,F.; CRESTANA, S.; *Avaliação da cobertura do solo por culturas através de processamento de imagens*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Cerrados: fronteira agrícola no século XXI, 24°, v.3, Goiânia, 1993. Resumo. Goiânia, SBSCS, P.139-140, 1993.
- [JOR96] JORGE, L.A.C.; *Circular Técnica 01/96* – EMBRAPA/CNPDIA, São Carlos – SP, 1996.
- [KAD94 et al.] EL KADY, M; MACK, C.B.; *Crop Inventory in Egypt using Remote Sensing*, USAID Surveing and Mapping Project, Cairo, <http://wwwsgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/acsm/ac94018.html>, 1994.
- [KAT98] KATHIE, Jeff, *Aerial photography*. <http://www.ptw.com/~jsorg/aphoto.html>, 1998.
- [LEN96] LENNON, A.; *Basics of R/C Model Aircraft Design*, Air Age Inc., USA, 1996.
- [LIN76] LINTZ J.; SIMONET D.S., *Remote Sensing of the Environment*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1976.
- [LLI87] LILLESAND, T.M., KIEFFER, R.M.. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 2nd ed. Jonh Wiley and Sons. New York, 1987.
- [MAR81 et al.] Markham, et al., *Land Cover Classification Accuracy as a Function of Sensor Spatial Resolution*. Proceedings of the 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, pp.1075-1090, 1981.

- [MAR98] <http://www.cuci.nl/~mars/packet.htm>, 1998.
- [MEC97] Monicor Eletronic Corporation, *Radio Modems*,
<http://monicor.com/products.html#modemop>, Ft. Lauderdale,
Finlandia, 1997.
- [MOD97] *Model Airplanes Photograph Portsmouth Plant*,
<http://www.em.doe.gov/emprog/model.html>, 1997.
- [MOH95 et al.] MOHAMMADI, O.; TOOMEY, W.; BROWN, L.; DUAL – *A Packet
Format for a New Amateur Radio Link Layer*
http://minnie.cs.adfa.oz.au/Dual/subsction3_4_3.html, 1995.
- [MWW98] *Micrilor World of Wireless*, <http://www.micrilor.com>, 1998.
- [NIC79] NICHOLLS, H.J. *The Encyclopedia of Model Aircraft*, Octopus
Books Limited, London, 1979.
- [OBL97] *Oblique Photography*,
<http://www.rsr.org/oblique.html>, 1997.
- [OSE95] O.S. ENGINE. *Instructions for O.S. MAX-40FX & MAX-46FX
engines. Osaka*: O.S. Engines, 4p, 1995c.
- [PAL81] PALLET, E.H.J.; *Aircraft Instruments – Principles and
Applications*, Longman Scientific & Tecnhical, England, 1981.
- [PAN97] PANASONIC. *Digital Camera Model Nº. KLX-600A*: Operating
Instructions. Ontario, 83p, 1997c.
- [PEA94 et al.] PEARSON, R.; GRACE, J.; MAY, G.; *Crop Stress Detection Using
Airborne Multispectral Digital Cameras*. Space Remote Sensing
Center, MS.
<http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/acsm/ac94058.html>,
1994.
- [PRO96] PROCHASKA, E.O.C.; *Aprendendo a Voar – Manual básico para
treinamento prático de piloto – avião* 3 ed. Atualizada ASA –
Edições e Artes Gráficas Ltda, São Paulo – SP, 1996.
- [RAD97] *Comrad – Communications Research and Development*
<http://www.comrad.com/CCL901.html>, 1997.

- [REI97 et al.] REISING, P.R.;STEINHARDT, G.C.;DAUGHTRY, C.S.; *Aerial Photography as Crop Management Aid*, Purdue University Cooperative Extension Service.
<http://www.agcom.purdue/AgCom/Pubs/AY/AY-252.html>, 1997.
- [RET95] RETTINGER, L.A.; *Desktop Videoconferencing:Technology and use for Remote Seminar Delivery*,
http://www2.ncsu.edu/eos/service/ece/project/succeed_info/larettin/thesis/tit.html, 1995.
- [RGG96] <http://www.stud.ee.ethz.ch/~rggrandi/appendix.html>, 1996.
- [RSA87] Satellite Remote Sensing and GIS solutions for professional mapping and management of the worlds natural resources. *Remote Sensing and Agriculture*, <http://www.gaf.de/agricul/agricul.htm>, 1997.
- [RSR97] *Remote Sensing Research Inc.*. <http://www.rsr.org>, 1997.
- [SIU91] SIURU, B.,*Planes Without Pilots Advances in Unmanned Flight*, 1 ed., USA, TAB Books, McGraw-Hill, Inc.,1991.
- [STA94] STAUCH, C.; BILL, R.; *Monitoring Agriculture Operational Way by Integration Remote Sensing and GIS Information*. Stuttgart University. Institute for Photogrametry, 1994.
- [TAN96] TANENBAUM, A.S.; *Computer Networks*, 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [THO87] THOMAS,M.L.; RALPH,W.K.; *Introduction To Remote Sensing*, <http://www.star.ait.ac.th/gac/gisrs.html>, 1987.
- [TRE98] TRESURE NET News, Tecnologies and Information, *Aerial Near Infrared Photography*,
<http://www.treasurenet.com/advanced/infrared.html>, 1998.
- [UAV s.d.] <http://uav.engin.umich.edu/>, [s.d.]
- [WSC97] WISCONSIN STATE CARTOGRAPHER'S OFFICE ,*Basics of Satellite Remote Sensing*, University Wisconsin Madison , Departament of Geography,1997.

Apêndice I - Esquema Elétrico do Controlador da Câmera

Apêndice II - Algoritmo de Controle da Câmera

Apêndice III - Programa de Controle da Câmera

MPASM 02.15 Released

CAMERA.ASM 2-3-1999 17:27:00

PAGE 1

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00001 ;*****
00002 ;
00003 ;   Filename:      camera.asm
00004 ;   Date:         22/09/98
00005 ;   File Version: 1.0
00006 ;
00007 ;   Authors:      Emilio Carlos da Palma
00008 ;               Nilda Pessoa de Souza
00009 ;               Onofre Trindade Junior
00010 ;
00011 ;
00012 ;
00013 ;*****
00014 ;
00015 ;   Files required:  lcd.h
00016 ;               lcd.asm
00017 ;
00018 ;
00019 ;*****
00020 ;
00021 ;   Notes:
00022 ;
00023 ;
00024 ;
00025 ;
00026 ;*****
00027
00028
00029
00030 ;*****
00031 ;
00032 ;GENERAL definitions
00033 ;
00034 ;*****
00035
00036      list      p=16F84                ; list directive to define
                                           ; processor
00037      #include <p16F84.inc>             ; processor specific variable
00001      LIST
00002 ; P16F84.INC Standard Header File, Version 2.00 Microchip Techonology
00136      LIST
00038                                           ; definitions
00039
00040      __CONFIG  _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _HS_OSC
00041
00042      errorlevel  -302                  ; supress bank select messages
00043
00044 ; GENERAL registers
00045 w_temp      equ      0x0c              ; variable used for context
                                           ; saving
0000000C
                                           ; saving
0000000D      00046 status_temp      equ      0x0d              ; variable used for context
                                           ; saving
0000000E      00047 aux              equ      0x0e
0000000F      00048 aux1           equ      0x0f
00000010      00049 aux2           equ      0x10
00050

```

```

LOC  OBJECT CODE      LINE SOURCE TEXT
VALUE
00000011      00051 RcvPWi          equ      0x11          ; receiver pulse width, initial
                                00052                      ; counting
00000012      00053 RcvPW          equ      0x12          ; receiver pulse width
00000013      00054 RcvPWAux        equ      0x13
00000014      00055 Cnt16H          equ      0x14          ; tick counter, MSB
                                00056                      ; (unit = 1.048576 S)
00000015      00057 Cnt16L          equ      0x15          ; tick counter, LSB
                                00058                      ; (tick = 4.096 mS)
                                00059
00000016      00060 Shots          equ      0x16          ; shooting buffer, max=5 photos
00000017      00061 State          equ      0x17          ; camera state
00000018      00062 Mode          equ      0x18          ; camera mode
00000019      00063 TOx            equ      0x19          ; time out limit, mode x
0000001A      00064 Shutter        equ      0x1a          ; shutter control: b0=current
                                00065                      ; b1=previous (0=low)
0000001B      00066 Flag          equ      0x1b          ; bit0 = 1 => last RB interrupt
                                00067                      ; was rcv_1
                                00068
                                00069
                                00070 ; Routine parameters
00000046      00071 P0              equ      0x46          ; input parameters
00000047      00072 P1              equ      0x47          ;
                                00073
00000048      00074 R0              equ      0x48          ; output parameters
00000049      00075 R1              equ      0x49          ;
0000004A      00076 R2              equ      0x4a          ;
                                00077
                                00078
                                00079 ; General constants
00000000      00080 TOModeI          equ      0x00          ; time out mode I (0 s)
0000003A      00081 TOModeII         equ      D'58'         ; time out mode II (>60 s)
                                00082 ; TOModeII         equ      D'5'         ; test
000000FF      00083 TOModeIII        equ      0xff          ; time out mode III (infinity)
000000E5      00084 TOLimit          equ      D'229'         ; time out limit (>240 s)
                                00085 ; TOLimit          equ      D'10'         ; test
0000007E      00086 RcvPWMax         equ      D'126'         ; receiver pulse width high
0000006E      00087 RcvPWHigh        equ      D'110'         ; rec pulse width mid high
0000004E      00088 RcvPWLow         equ      D'78'          ; rec pulse width mid low
                                ; position
0000003E      00089 RcvPWMin         equ      D'62'          ; receiver pulse width low
                                00090
00000005      00091 RL1              equ      0x05          ; RL1 ON/OFF
00000006      00092 RL2              equ      0x06          ; RL2 Shutter
00000007      00093 REC              equ      0x07          ; receiver
00000004      00094 LCD              equ      0x04          ; LCD on (on = 0)
00000003      00095 M0              equ      0x03          ; Mode (LSb)
00000004      00096 M1              equ      0x04          ; Mode (MSb)
00097 ; *****
00098 ;
00099 ; LCD definitions
00100 ;
00101 ; *****
00102
00103

```

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00104      #include "lcd.h"
00001 ;*****
00002 ;
00003 ;   Filename:      lcd.h
00004 ;   Date:      .
00005 ;   File Version:
00006 ;
00007 ;   Author:
00008 ;   Company:
00009 ;
00010 ;
00011 ;*****
00012 ;
00013 ;*****
00014 ;
00015 ;LCD definitions
00016 ;
00017 ;*****
00018 ;
00019 ; LCD Constants
003D0900 00020 Dev_Freq      equ      4000000 ; Device Frequency is 4MHz
00000006 00021 lcd_init_delay equ      (HIGH(((Dev_Freq/4)*46/10000)/3))+1
00022 ;
00023 ; LCD File registers addresses
0000004B 00024 MSD          equ      0x4b
0000004D 00025 LSD          equ      0x4d
0000004E 00026 char        equ      0x4e      ; Holds the character to be
                                           ; sent to LCD
0000004F 00027 TempD        equ      0x4f
00028 ;
00029 ;
00030 ; LCD Display commands
0000000C 00031 Disp_On      equ      0x0C      ; Display on
0000000E 00032 Disp_On_C   equ      0x0E      ; Display on, cursor on
0000000F 00033 Disp_On_B   equ      0x0f      ; Display on, cursor on, blink
00000008 00034 Disp_Off    equ      0x08      ; Display off
00000001 00035 Clr_Disp     equ      0x01      ; Clear display
00000006 00036 Entry_Inc   equ      0x06      ; Write shifting cursor to
                                           ; right
00000080 00037 DD_RAM_Addr   equ      0x80      ; Least significant 7-bit
00000080 00038 DD_RAM_U1      equ      0x80
00039 ;
00040 ; LCD Port reference
00000006 00041 lcd_data      equ      PORTB
00000086 00042 lcd_d_tris     equ      TRISB
00000005 00043 lcd_ctrl      equ      PORTA
00000085 00044 lcd_c_tris     equ      TRISA
00045 ;
00046 ; LCD Control Lines names
00000000 00047 E            equ      0          ; LCD Enable line
00000001 00048 RW            equ      1          ; Read/Write line
00000002 00049 RS            equ      2          ; LCD Register Select control
00050 ;
00051 ;
00052 ;

```

LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT	TEXT
		00105		
0000		00106	ORG 0x000	; processor reset vector
0000 284E		00107	goto start	; go to beginning of program
		00108		
0004		00109	ORG 0x004	; interrupt vector location
0004 008C		00110	movwf w_temp	; save current W register
				; contents
0005 0803		00111	movf STATUS,w	; move status reg into W
				; register
0006 008D		00112	movwf status_temp	; save contents of STATUS
				; register
		00113		
		00114		
		00115	; isr code	
		00116		
0007		00117	rcv_1	
0007 1283		00118	bcf STATUS, RPO	; Bank 0
		00119		
0008 1C0B		00120	btfss INTCON, RBIF	; receiver signal changed?
0009 2843		00121	goto next_isr	; no
000A 0886		00122	movf PORTB,f	; clear interrupt flag
000B 100B		00123	bcf INTCON, RBIF	
000C 1F86		00124	btfss PORTB, REC	; reveiver pin = 1?
000D 2812		00125	goto rcv_0	; no
000E 0801		00126	movf TMR0,w	; yes, save initial time
000F 0091		00127	movwf RcvPWi	
0010 141B		00128	bsf Flag,0	; set rcv_1 flag
		00129		; is it necessary???
0011 2843		00130	goto next_isr	
		00131		
0012		00132	rcv_0	
0012 1C1B		00133	btfss Flag,0	; last interrpt was rcv_1?
0013 2843		00134	goto next_isr	; no, discard PW
0014 101B		00135	bcf Flag,0	; yes, PW ok
0015 0801		00136	movf TMR0,w	; save TMR0
0016 0093		00137	movwf RcvPWAux	; tf
0017 0811		00138	movf RcvPWi,w	; calculate receiver pulse
				; width
0018 0213		00139	subwf RcvPWAux,w	; tf - ti
0019 1803		00140	btfsc STATUS,C	; tf < ti?
001A 2823		00141	goto filter	; no
001B 0813		00142	movf RcvPWAux,w	; yes, PW = 255-(ti-tf)+1
001C 0291		00143	subwf RcvPWi,f	; ti - tf
001D 30FF		00144	movlw 0xff	
001E 0093		00145	movwf RcvPWAux	
001F 0811		00146	movf RcvPWi,w	
0020 0293		00147	subwf RcvPWAux,f	; 255-tf+ti
0021 0A93		00148	incf RcvPWAux,f	; 255-(ti-tf)+1
0022 0813		00149	movf RcvPWAux,w	
		00150		
0023		00151	filter	
0023 0093		00152	movwf RcvPWAux	
0024 307E		00153	movlw RcvPWMax	; noise filter
0025 0213		00154	subwf RcvPWAux,w	
0026 1803		00155	btfsc STATUS,C	; RcvPW < RcvPWMax?
0027 2843		00156	goto next_isr	; RcvPW >= RcvPWMax
		00157		

LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT	VALUE
0028	303E	00158	movlw RcvPWMin	; yes
0029	0213	00159	subwf RcvPWAux,w	;
002A	1C03	00160	btfs STATUS,C	; RcvPW >= RcvPWMin?
002B	2843	00161	goto next_isr	; RcvPW < RcvPWMin
		00162		
002C	0813	00163	movf RcvPWAux,w	; yes,
				; RcvPWLlow<RcvPW<=RcvPWHigh
002D	0092	00164	movwf RcvPW	; save it
		00165		
002E		00166	test_high	
002E	306E	00167	movlw RcvPWHigh	; check if current shutter
002F	0212	00168	subwf RcvPW,w	; is high
0030	1C03	00169	btfs STATUS,C	;
0031	2835	00170	goto test_low	; no, test if it is low
0032	1403	00171	bsf STATUS,C	; save new current (high)
0033	0D9A	00172	rlf Shutter,f	; rotate Shutter positions
0034	283B	00173	goto test_shots	
		00174		
0035		00175	test_low	
0035	304E	00176	movlw RcvPWLlow	; check if current shutter
0036	0212	00177	subwf RcvPW,w	; is low
0037	1803	00178	btfs STATUS,C	;
0038	2843	00179	goto next_isr	; no
0039	1003	00180	bcf STATUS,C	; save new current (low)
003A	0D9A	00181	rlf Shutter,f	; rotate shutter positions
		00182		
003B		00183	test_shots	
003B	3005	00184	movlw 0x05	; Shots >= 5
003C	0216	00185	subwf Shots,w	;
003D	1803	00186	btfs STATUS,C	;
003E	2843	00187	goto next_isr	; yes, no more shots
		00188		; no, increment Shots
		00189		
003F	300F	00190	movlw B'00001111'	; toggling (low to high)
0040	021A	00191	subwf Shutter,w	;
0041	1903	00192	btfs STATUS,Z	; if so, increment Shots
0042	0A96	00193	incf Shots,f	;
		00194		
0043		00195	next_isr	
0043	1D0B	00196	btfs INTCON,T0IF	; TMRO overflowed?
0044	2849	00197	goto end_isr	; no
0045	110B	00198	bcf INTCON,T0IF	; clear interrupt
0046	0A95	00199	incf Cntl6L,f	; increment counter
0047	1903	00200	btfs STATUS,Z	;
0048	0A94	00201	incf Cntl6H,f	;
		00202		
0049		00203	end_isr	
0049	080D	00204	movf status_temp,w	; retrieve copy of STATUS register
004A	0083	00205	movwf STATUS	; restore pre-isr STATUS register
004B 0E8C	00206	swapf	w_temp,f	;
004C	0E0C	00207	swapf w_temp,w	; restore pre-isr W register
		00208		
		00209		
004D	0009	00210	retfie	; return from interrupt

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00211
00212
00213
00214 ;*****
00215 ; start
00216 ;*****
00217
004E 00218 start
004E 0185 00219      clrf    PORTA      ; chip configuration
004F 0186 00220      clrf    PORTB
0050 3064 00221      movlw   D'100'      ; Wait 10s before start
0051 215F 00222      call    Delay
00223
0052 018B 00224      clrf    INTCON
0053 1683 00225      bsf     STATUS, RPO      ; Bank 1
00226
0054 3018 00227      movlw   0x18      ; port A
0055 0085 00228      movwf   TRISA
00229
00230      ; {out} A0 = LCD E
00231      ; {out} A1 = LCD RW
00232      ; {out} A2 = LCD RS
00233      ; {in } A3 = m0
00234      ; {in } A4 = m1
00235      ; m0=m1=0 (on) -> mode 3
00236      ; m0=0 m1=1 -> mode 1
00237      ; m0=1 m1=0 -> mode 2
00238      ; m0=1 m1=1 -> invalid
00239
0056 3090 00240      movlw   0x90      ; port B
0057 0086 00241      movwf   TRISB
00242
00243      ; B0 = {out} LCD D4
00244      ; B1 = {out} LCD D5
00245      ; B2 = {out} LCD D6
00246      ; B3 = {out} LCD D7
00247      ; B4 = {in } LCD on (on = 0)
00248      ; B5 = {out} RL1 ON/OFF
00249      ; B6 = {out} RL2 Shutter
00250      ; B7 = {in } receiver
00251
0058 30D3 00251      movlw   0xd3      ; set prescaler to tmr0 (1:16)
0059 0081 00252      movwf   OPTION_R      ; no pull-ups
005A 1283 00253      bcf     STATUS, RPO      ; Bank 0
00254
005B 1E06 00255      btfs    PORTB,LCD      ; turn display on/off
005C 216B 00256      call    Init_Display
00257
00258
005D 0194 00259      clrf    Cnt16H      ; clear tick counter
005E 0195 00260      clrf    Cnt16L
00261
005F 0197 00262      clrf    State      State = off
0060 0198 00263      clrf    Mode      ; Mode = invalid

```


LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT	VALUE
0061	019A	00264	clrf Shutter	; shutter position
0062	0196	00265	clrf Shots	; shotting buffer = 0
0063	019B	00266	clrf Flag	
		00267		
0064	0805	00268	movf PORTA,w	; set mode
0065	0098	00269	movwf Mode	
0066	0C98	00270	rrf Mode,f	
0067	0C98	00271	rrf Mode,f	
0068	0C98	00272	rrf Mode,f	
0069	0998	00273	comf Mode,f	
006A	3003	00274	movlw 0x03	
006B	0598	00275	andwf Mode,f	
		00276		
006C	1003	00277	bcf STATUS,C	; set time off limit mode x,
006D	0D18	00278	rlf Mode,w	; TOx
006E	0782	00279	addwf PCL,f	
006F	3000	00280	movlw 0x00	
0070	2876	00281	goto end_tox	
0071	3000	00282	movlw TModeI	
0072	2876	00283	goto end_tox	
0073	303A	00284	movlw TModeII	
0074	2876	00285	goto end_tox	
0075	30FF	00286	movlw TModeIII	
0076		00287	end_tox	
0076	0099	00288	movwf TOx	
		00289		
		00290		
0077	1E06	00291	btfss PORTB,LCD	; turn display on/off
0078	2100	00292	call InitMessages	
		00293		
		00294	; movlw 0xa0	; enable TOIE
		00295	; movlw 0x88	; enable RBIE
0079	30A8	00296	movlw 0xa8	; enable RBIE e TOIE
007A	008B	00297	movwf INTCON	
		00298		
		00299		
007B		00300	main	
007B	1E06	00301	btfss PORTB,LCD	; turn display on/off
007C	211E	00302	call UpdateDisplay	
		00303		
		00304	; #####	
		00305	; GOTO main	
		00306		
007D	3003	00307	movlw 0x03	; se modo=3, mantenha a camera
007E	0218	00308	subwf Mode,w	; ligada
007F	1903	00309	btfsc STATUS,Z	
0080	2886	00310	goto taking	
		00311		
0081		00312	off	
0081	0195	00313	clrf Cnt16L	; clear timer
0082	0194	00314	clrf Cnt16H	
0083	0896	00315	movf Shots,f	; Shots = 02
0084	1903	00316	btfsc STATUS,Z	

LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT	VALUE
0085	287B	00317	goto main	; yes, State = off
		00318		
0086		00319	taking	
0086	3001	00320	movlw 0x01	; no, state = taking
0087	0097	00321	movwf State	
0088	214A	00322	call TurnOn	; turn the camera on
		00323		
0089		00324	shoting_loop	
0089	1E06	00325	btfss PORTB,LCD	; turn display on/off
008A	211E	00326	call UpdateDisplay	
008B	0896	00327	movf Shots,f	; Shots <> 0?
008C	1D03	00328	btfss STATUS,Z	
008D	2893	00329	goto dec_shot	; yes, shot
008E	30E5	00330	movlw TOLimit	; timer > TOLimit?
008F	0214	00331	subwf Cnt16H,w	
0090	1C03	00332	btfss STATUS,C	
0091	2897	00333	goto test_timer	; no, test_timer
0092	2894	00334	goto take_shot	
		00335		
0093		00336	dec_shot	
0093	0396	00337	decf Shots,f	; decrement Shots
		00338		
0094		00339	take_shot	
0094	2158	00340	call Shot	
0095	0195	00341	clrf Cnt16L	; clear timer
0096	0194	00342	clrf Cnt16H	
		00343		
0097		00344	test_timer	
0097	0819	00345	movf TOx,w	; timer(Cnt16) >= TOLimit?
0098	0214	00346	subwf Cnt16H,w	
0099	1C03	00347	btfss STATUS,C	
009A	2889	00348	goto shoting_loop	; no, keep taking
009B	2151	00349	call TurnOff	; yes, turn the camera off
009C	0197	00350	clrf State	; State = off
009D	0196	00351	clrf Shots	; Shots = 0 (Mode I)
009E	287B	00352	goto main	
		00353		
		00354		
		00355	;*****	
		00356	;	
		00357	; Messages	
		00358	;	
		00359	;*****	
009F		00360	Msg1	
009F	0782	00361	addwf PCL,f	; Jump to char pointed by W
00A0	344F	00362	retlw 'O'	
00A1	3420	00363	retlw ' '	
00A2	3420	00364	retlw ' '	
00A3	3420	00365	retlw ' '	
00A4	344D	00366	retlw 'M'	
00A5	3420	00367	retlw ' '	
00A6	3420	00368	retlw ' '	
00A7	3454	00369	retlw 'T'	

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00A8 3469          00370      retlw  'i'
00A9 346D          00371      retlw  'm'
00AA 3465          00372      retlw  'e'
00AB 3472          00373      retlw  'r'
00AC 343D          00374      retlw  '='
00AD 3420          00375      retlw  ' '
00AE 3420          00376      retlw  ' '
00AF 3420          00377      retlw  ' '
00B0 3420          00378      retlw  ' '
00B1 3474          00379      retlw  't'
00B2 346B          00380      retlw  'k'
00B3 3473          00381      retlw  's'
                        00382
00B4 3400          00383      retlw  0                      ; End of table
                        00384
                        00385
00B5              00386  Msg2
00B5 0782          00387      addwf  PCL,f                      ; Jump to char pointed by W
00B6 3453          00388      retlw  'S'
00B7 3468          00389      retlw  'h'
00B8 346F          00390      retlw  'o'
00B9 3474          00391      retlw  't'
00BA 3473          00392      retlw  's'
00BB 343D          00393      retlw  '='
00BC 3420          00394      retlw  ' '
00BD 3420          00395      retlw  ' '
00BE 3420          00396      retlw  ' '
00BF 3452          00397      retlw  'R'
00C0 3463          00398      retlw  'c'
00C1 3476          00399      retlw  'v'
00C2 343D          00400      retlw  '='
00C3 3420          00401      retlw  ' '
00C4 3420          00402      retlw  ' '
00C5 3420          00403      retlw  ' '
00C6 3420          00404      retlw  ' '
00C7 3420          00405      retlw  ' '
00C8 3475          00406      retlw  'u'
00C9 3453          00407      retlw  'S'
                        00408
00CA 3400          00409      retlw  0                      ; End of table
                        00410
                        00411
0100              00412      ORG      0x100
                        00413
00414 ;*****
00415 ;
00416 ; Camera Routines
00417 ;
00418 ;*****
00419
00420 ;*****
00421 ; .....InitMessages.....
00422 ;

```

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00423 ;
00424 ; Function:      This routine display initial messages
00425 ; In:             none
00426 ;
00427 ; Out:            none
00428 ;
00429 ;*****
00430 ;
0100      00431 InitMessages
00432
0100 3080      00433      movlw  B'10000000'      ; Cursor at first position,
0101 2196      00434      call   Send_cmd      ; first line
00435
0102 3000      00436      movlw  0              ; print message
0103      00437 m1
0103 008E      00438      movwf  aux              ;
0104 209F      00439      call   Msg1              ;
0105 39FF      00440      andlw  0xff           ; Check if at end of table
                                           ; (zero returned)

0106 1903      00441      btfsc  STATUS, Z      ;
0107 290C      00442      goto   m1_end          ;
0108 2187      00443      call   Send_char       ;
0109 080E      00444      movf   aux,w           ; Next character
010A 3E01      00445      addlw  1              ;
010B 2903      00446      goto   m1              ;
010C      00447 m1_end
00448
00449
010C 30C0      00450      movlw  B'11000000'     ; Cursor at first position
010D 2196      00451      call   Send_cmd      ; second line
00452
010E 3000      00453      movlw  0              ; print message
010F      00454 m2
010F 008E      00455      movwf  aux              ;
0110 20B5      00456      call   Msg2              ;
0111 39FF      00457      andlw  0xff           ; Check if at end of table
                                           ; (zero returned)

0112 1903      00458      btfsc  STATUS, Z      ;
0113 2918      00459      goto   m2_end          ;
0114 2187      00460      call   Send_char       ;
0115 080E      00461      movf   aux,w           ; Next character
0116 3E01      00462      addlw  1              ;
0117 290F      00463      goto   m2              ;
0118      00464 m2_end
00465

0118 3085      00466      movlw  B'10000101'     ; Cursor at sixth position,
0119 2196      00467      call   Send_cmd      ; first line
011A 0818      00468      movf   Mode,w         ; print Mode
011B 3E30      00469      addlw  0x30          ;
011C 2187      00470      call   Send_char       ;
00471
011D 0008      00472      return
00473
00474
00475 ;*****

```

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00476 ;
00477 ;
00478 ;
00479 ; Function:      This routine prints out data to the display
00480 ; In:              Mode, State, RcvPW, Shots, Cnt16H
00481 ;
00482 ; Out:              none
00483 ;
00484 ;*****
00485 ;
011E      00486 UpdateDisplay
011E 3081      00487      movlw   B'10000001'      ; Cursor at first position,
011F 2196      00488      call    Send_cmd      ; first line
0120 1C17      00489      btfss   State,0      ; print State
0121 2927      00490      goto    POff      ;
0122 306E      00491      movlw   'n'      ;
0123 2187      00492      call    Send_char      ;
0124 3020      00493      movlw   ' '      ;
0125 2187      00494      call    Send_char      ;
0126 292B      00495      goto    end_POff      ;
0127      00496 POff
0127 3066      00497      movlw   'f'      ; print off
0128 2187      00498      call    Send_char      ;
0129 3066      00499      movlw   'f'      ;
012A 2187      00500      call    Send_char      ;
012B      00501 end_POff
012B      00502
012B 30C6      00503      movlw   B'11000110'      ; Cursor at seventh position,
012C 2196      00504      call    Send_cmd      ; second line
012D 0816      00505      movf     Shots,w      ; print Shots
012E 3E30      00506      addlw   0x30      ;
012F 2187      00507      call    Send_char      ;
0130      00508
0130 0E12      00509      swapf   RcvPW,w      ; multiply pulse width by 16
0131 390F      00510      andlw   0x0f      ;
0132 00C6      00511      movwf   P0      ;
0133 0E12      00512      swapf   RcvPW,w      ;
0134 39F0      00513      andlw   0xf0      ;
0135 00C7      00514      movwf   P1      ;
0135      00515
0136 21CB      00516      call    B2_BCD      ; convert pulse width to BCD
0136      00517
0137 30CD      00518      movlw   B'11001101'      ; Cursor at fourteenth
0137      00519      ; position,
0138 2196      00519      call    Send_cmd      ; second line
0139 0849      00520      movf     R1,w      ; print pulse width
013A 21C1      00521      call    P_BCD      ;
013B 084A      00522      movf     R2,w      ;
013C 21C1      00523      call    P_BCD      ;
013C      00524
013D 01C6      00525      clrf    P0      ; convert tick counter to BCD
013E 0814      00526      movf     Cnt16H,w
013F 00C7      00527      movwf   P1      ;
0140 21CB      00528      call    B2_BCD      ;

```

LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT
	VALUE		
		00529	
0141 308D		00530	movlw B'10001101' ; Cursor at fourteenth
			; position,
0142 2196		00531	call Send_cmd ; first line
0143 0849		00532	movf R1,w ; print tick counter
0144 390F		00533	andlw 0x0f ;
0145 3E30		00534	addlw 0x30 ;
0146 2187		00535	call Send_char ;
0147 084A		00536	movf R2,w ;
0148 21C1		00537	call P_BCD ;
		00538	
0149 0008		00539	return
		00540	
		00541	
		00542	*****
		00543	TurnOn - Turn the Camera On
		00544	;
		00545	;
		00546	Function: This routine turns the digital photographic camera on
		00547	;
		00548	In: none
		00549	;
		00550	Out: none
		00551	;
		00552	*****
		00553	;
		00554	
014A		00555	TurnOn
014A 1686		00556	bsf PORTB,RL1 ; turn RL1 on
014B 300A		00557	movlw D'10' ; wait 1 S
014C 215F		00558	call Delay
014D 1286		00559	bcf PORTB,RL1 ; turn RL1 off
014E 3050		00560	movlw D'80' ; wait for 8 S (turn on)
014F 215F		00561	call Delay
		00562	
0150 0008		00563	return
		00564	
		00565	
		00566	*****
		00567	TurnOff - Turn the Camera Off
		00568	;
		00569	;
		00570	Function: This routine turns the digital photographic camera off
		00571	;
		00572	In: none
		00573	;
		00574	Out: none
		00575	;
		00576	*****
		00577	;
		00578	
0151		00579	TurnOff
0151 1686		00580	bsf PORTB,RL1 ; turn RL1 on
0152 300A		00581	movlw D'10' ; wait 1 S

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

0153 215F          00582      call    Delay
0154 1286          00583      bcf     PORTB,RL1          ; turn RL1 off
0155 3005          00584      movlw   D'5'              ; wait turn off
0156 215F          00585      call    Delay
                   00586
0157 0008          00587      return
                   00588
                   00589
0158              00590 ;*****
                   00591 ;                      Shot - Take a Photography
                   00592 ;
                   00593 ;
0158              00594 ; Function: This routine takes a photography driving the shutter key
0158 1706          00595 ;
0159 300A          00596 ; In:  none
015A 215F          00597 ;
015B 1306          00598 ; Out: none
015C 300A          00599 ;
015D 215F          00600 ;*****
                   00601 ;
                   00602
015E 0008          00603 Shot
015E 0008          00604      bsf     PORTB,RL2          ; turn RL2 on
015F 0090          00605      movlw   D'10'              ; wait 0,5 S
015F 0090          00606      call    Delay
015F 0090          00607      bcf     PORTB,RL2          ; turn RL2 off
015F 0090          00608      movlw   D'10'              ; wait processing
015F 0090          00609      call    Delay
                   00610
015F 0090          00611      return
                   00612
                   00613
015F 0090          00614 ;*****
015F 0090          00615 ;                      Delay - Insert a Delay of Time
015F 0090          00616 ;
015F 0090          00617 ;
015F 0090          00618 ; Function: This routine inserts a delay of time
015F 0090          00619 ;
015F 0090          00620 ; In:  W = number of 100's of milliseconds (clock = 4 MHz)
015F 0090          00621 ;
015F 0090          00622 ; Out: none
015F 0090          00623 ;
015F 0090          00624 ;*****
015F 0090          00625 ;
015F 0090          00626
015F 0090          00627 Delay
015F 0090          00628      movwf   aux2
015F 0090          00629
0160              00630 d_loop1
0160 3081          00631      movlw   D'129'
0161 008F          00632      movwf   aux1
0162              00633 d_loop2
0162 3000          00634      movlw   0x00

```

```

LOC  OBJECT CODE      LINE SOURCE TEXT
VALUE
0163 008E            00635      movwf   aux
0164                00636 d_loop3
0164 0B8E            00637      decfsz  aux,f
0165 2964            00638      goto    d_loop3
0166 0B8F            00639      decfsz  aux1,f
0167 2962            00640      goto    d_loop2
0168 0B90            00641      decfsz  aux2,f
0169 2960            00642      goto    d_loop1
                        00643
016A 0008            00644      return
                        00645
                        00646
00647 ;*****
00648 ;
00649 ; LCD Routines
00650 ;
00651 ;*****
00652
00653      #include "lcd.asm"
00001 ;*****
00002 ;
00003 ;      Filename:      lcd.asm
00004 ;      Date:
00005 ;      File Version:
00006 ;
00007 ;      Author:
00008 ;      Company:
00009 ;
00010 ;
00011 ;*****
00012
00013 ;*****
00014 ;      Initialization Routines
00015 ;*****
00016
016B                00017 Init_Display
016B 3002            00018      movlw   0x02                      ; Command for 4 bit interface
016C 0086            00019      movwf   lcd_data
016D 1405            00020      bsf     lcd_ctrl, E      ; Toggle Enable line
016E 1005            00021      bcf     lcd_ctrl, E
                        00022
                        00023
00024 ;*****
00025 ; This is a delay necessary to initialize the LCD module. The time is
00026 ; based on the LCD_Init_Delay EQUate that includes the frequency of
00027 ; operation.
00028 ;*****
00029
016F                00030 LCD_Delay
016F 3006            00031      movlw   lcd_init_delay
0170 00CB            00032      movwf   MSD
0171 01CD            00033      clrf    LSD
                        00034

```


LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT	VALUE
0172		00035	LCD_Loop	
0172	0BCD	00036	decfsz LSD,f ; Delay time = MSD * ((3*256)+3)*Tcy	
0173	2972	00037	goto LCD_Loop ;	
0174	0BCB	00038	decfsz MSD,f ; if MSD = 0, end delay	
0175	2972	00039	goto LCD_Loop ;	
		00040		
		00041	; Command sequence for 2 lines of 5x7 characters	
		00042		
0176	3002	00043	movlw 0x02 ; 4-bit xfer	
0177	0086	00044	movwf lcd_data ; Send initialization command	
0178	1405	00045	bsf lcd_ctrl, E ; Toggle	
0179	1005	00046	bcf lcd_ctrl, E ;	
017A	3008	00047	movlw 0x08 ; Two lines of 5x7 chars	
017B	0086	00048	movwf lcd_data ; Send initialization command	
017C	1405	00049	bsf lcd_ctrl, E ;	
017D	1005	00050	bcf lcd_ctrl, E ;	
		00051		
		00052	; Busy Flag should be valid after this point	
		00053		
017E	300C	00054	movlw Disp_On ; Display On	
017F	2196	00055	call Send_cmd ;	
0180	3001	00056	movlw Clr_Dis ; Clear display	
0181	2196	00057	call Send_cmd ;	
0182	3006	00058	movlw Entry_Inc ; Write shifting cursor to right	
0183	2196	00059	call Send_cmd ;	
0184	3080	00060	movlw DD_RAM_Addr ;	
0185	2196	00061	call Send_cmd ;	
0186	0008	00062	return ;	
		00063		
		00064		
		00065	;*****	
		00066	; Send_char - Sends character to LCD	
		00067	; Splits the character into the upper and lower nibbles and sends them	
		00068	; to the LCD, upper nibble first.	
		00069	; The data is transmitted on the PORTB<7:4> pins	
		00070	;*****	
		00071		
0187		00072	Send_char	
0187	00CE	00073	movwf char ; Character to be sent is in W	
0188	21A5	00074	call Busy_check ; Wait for LCD to be ready	
0189	0E4E	00075	swapf char, w ;	
018A	390F	00076	andlw 0x0F ; Get upper nibble	
018B	0086	00077	movwf lcd_data ; Send data to LCD	
018C	1085	00078	bcf lcd_ctrl, RW ; Set LCD to read	
018D	1505	00079	bsf lcd_ctrl, RS ; Set LCD to data mode	
018E	1405	00080	bsf lcd_ctrl, E ; Toggle E line	
018F	1005	00081	bcf lcd_ctrl, E ;	
0190	084E	00082	movf char, w ;	
0191	390F	00083	andlw 0x0F ; Get lower nibble	
0192	0086	00084	movwf lcd_data ; Send data to LCD	
0193	1405	00085	bsf lcd_ctrl, E ; Toggle E line	
0194	1005	00086	bcf lcd_ctrl, E ;	
0195	0008	00087	return ;	

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00088
00089
00090 ;*****
00091 ; Send_cmd - Sends command to LCD
00092 ; This routine splits the command into the upper and lower nibbles and
00093 ; sends them to LCD, upper nibble first
00094 ;*****
00095
0196 00096 Send_cmd
0196 00CE 00097      movwf    char                ; Character to be sent is in W
0197 21A5 00098      call     Busy_check          ; Wait for LCD to be ready
0198 0E4E 00099      swapf    char, w            ;
0199 390F 00100      andlw    0x0F            ; Get upper nibble
019A 0086 00101      movwf    lcd_data        ; Send data to LCD
019B 1085 00102      bcf      lcd_ctrl, RW    ; Set LCD to read
019C 1105 00103      bcf      lcd_ctrl, RS    ; Set LCD to command mode
019D 1405 00104      bsf      lcd_ctrl, E      ; Toggle E line
019E 1005 00105      bcf      lcd_ctrl, E      ;
019F 084E 00106      movf     char, w            ;
01A0 390F 00107      andlw    0x0F            ; Get lower nibble
01A1 0086 00108      movwf    lcd_data        ; Send data to LCD
01A2 1405 00109      bsf      lcd_ctrl, E      ; Toggle E line
01A3 1005 00110      bcf      lcd_ctrl, E      ;
01A4 0008 00111      return
00112
00113
00114 ;*****
00115 ; This routine checks the busy flag, returns when not busy.
00116 ; Affects:
00117 ;      TempE - Returned with busy/address
00118 ;*****
00119
01A5 00120 Busy_check
01A5 1683 00121      bsf      STATUS, RPO          ; Bank 1
01A6 1406 00122      bsf      lcd_d_tris,0      ; Set PortB lower nibble for
                                           ; input
01A7 1486 00123      bsf      lcd_d_tris,1
01A8 1506 00124      bsf      lcd_d_tris,2
01A9 1586 00125      bsf      lcd_d_tris,3
01AA 1283 00126      bcf      STATUS, RPO          ; Bank 0
01AB 1105 00127      bcf      lcd_ctrl, RS    ; Set LCD for command mode
01AC 1485 00128      bsf      lcd_ctrl, RW    ; Setup to read busy flag
01AD 1405 00129      bsf      lcd_ctrl, E      ; Toggle E pin
01AE 1005 00130      bcf      lcd_ctrl, E      ;
01AF 0E06 00131      swapf    lcd_data, w      ; Read lower nibble busy flag,
                                           ; DDRAM Address
01B0 39F0 00132      andlw    0xF0            ; Mask out lower nibble
01B1 00CF 00133      movwf    TempD            ;
01B2 1405 00134      bsf      lcd_ctrl, E      ; Toggle E pin
01B3 1005 00135      bcf      lcd_ctrl, E      ;
01B4 0806 00136      movf     lcd_data, w      ; Read data
01B5 390F 00137      andlw    0x0F            ; Mask out upper nibble
01B6 04CF 00138      iorwf    TempD, F        ; Combine nibbles
01B7 1BCF 00139      btfsc    TempD, 7        ; Check busy flag (high = busy)
01B8 29A5 00140      goto     Busy_check      ; If busy, check again

```

LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT
01B9	1085	00141	bcf lcd_ctrl, RW ;
01BA	1683	00142	bsf STATUS, RPO ; Bank 1
01BB	1006	00143	bcf lcd_d_tris,0 ; Set PortB lower nibble for ; output
01BC	1086	00144	bcf lcd_d_tris,1
01BD	1106	00145	bcf lcd_d_tris,2
01BE	1186	00146	bcf lcd_d_tris,3
01BF	1283	00147	bcf STATUS, RPO ; Bank 0
01C0	0008	00148	return
		00149	
		00150	
		00654	
		00655	*****
		00656	; P_BCD - Print 2 Compacted BCD Digits
		00657	;
		00658	;
		00659	; Function: This routine prints out 2 compacted BCD digits at cursor
		00660	position
		00661	;
		00662	; In: W = BCD digits, MSD LSD order
		00663	;
		00664	; Out: none
		00665	;
		00666	*****
		00667	;
		00668	
01C1		00669	P_BCD
01C1	008E	00670	movwf aux ; MSD
01C2	0E0E	00671	swapf aux,w
01C3	390F	00672	andlw 0x0f
01C4	3E30	00673	addlw 0x30
01C5	2187	00674	call Send_char
		00675	
01C6	080E	00676	movf aux,w ; LSD
01C7	390F	00677	andlw 0x0f
01C8	3E30	00678	addlw 0x30
01C9	2187	00679	call Send_char
		00680	
01CA	0008	00681	return
		00682	
		00683	
		00684	*****
		00685	;
		00686	;Math Routines
		00687	;
		00688	*****
		00689	
		00690	
		00691	*****
		00692	;
		00693	B2_BCD - Binary To BCD Conversion Routine
		00694	;
		00695	; Function: This routine converts a 16 Bit binary Number to a 5 Digit
		00696	BCD Number.

LOC OBJECT CODE LINE SOURCE TEXT
VALUE

```

00697 ;
00698 ; In: 16 bit binary number is input in locations H_byte and
00699 ; L_byte with the high byte in H_byte.
00700 ;
00701 ; Out: 5 digit BCD number is returned in R0, R1 and R2 with R0
00702 ; containing the MSD in its right most nibble.
00703 ;
00704 ; Performance :
00705 ;           Program Memory :      35
00706 ;           Clock Cycles  :     885
00707 ;
00708 ;
00709 ;           Program:           B16TOBCD.ASM
00710 ;           Revision Date:
00711 ;                               1-13-97      Compatibility with MPASMWIN 1.40
00712 ;
00713 ;*****
00714 ;
00715 ;
0000000F 00716 count equ aux1
00000010 00717 temp equ aux2
00718 ;
00000046 00719 H_byte equ P0
00000047 00720 L_byte equ P1
00721 ;
00722 ;
01CB 00723 B2_BCD
01CB 1003 00724 bcf STATUS,0 ; clear the carry bit
01CC 3010 00725 movlw .16
01CD 008F 00726 movwf count
01CE 01C8 00727 clrf R0
01CF 01C9 00728 clrf R1
01D0 01CA 00729 clrf R2
00730 ;
01D1 00731 loop16
01D1 0DC7 00732 rlf L_byte, f
01D2 0DC6 00733 rlf H_byte, f
01D3 0DCA 00734 rlf R2, f
01D4 0DC9 00735 rlf R1, f
01D5 0DC8 00736 rlf R0, f
00737 ;
01D6 0B8F 00738 decfsz count, f
01D7 29D9 00739 goto adjDEC
01D8 3400 00740 RETLW 0
00741 ;
01D9 00742 adjDEC
01D9 304A 00743 movlw R2
01DA 0084 00744 movwf FSR
01DB 21E3 00745 call adjBCD
00746 ;
01DC 3049 00747 movlw R1
01DD 0084 00748 movwf FSR
01DE 21E3 00749 call adjBCD

```

LOC	OBJECT CODE	LINE	SOURCE TEXT
	VALUE		
		00750	
01DF 3048		00751	movlw R0
01E0 0084		00752	movwf FSR
01E1 21E3		00753	call adjBCD
		00754	
01E2 29D1		00755	goto loop16
		00756	
01E3		00757	adjBCD
01E3 3003		00758	movlw 0x3
01E4 0700		00759	addwf 0,w
01E5 0090		00760	movwf temp
01E6 1990		00761	btfsf temp,0x3 ; test if result > 7
01E7 0080		00762	movwf 0
01E8 3030		00763	movlw 0x30
01E9 0700		00764	addwf 0,w
01EA 0090		00765	movwf temp
01EB 1B90		00766	btfsf temp,0x7 ; test if result > 7
01EC 0080		00767	movwf 0 ; save as MSD
01ED 3400		00768	RETLW 0
		00769	
		00770	
		00771	end

SYMBOL TABLE

LABEL	VALUE
B2_BCD	000001CB
Busy_check	000001A5
C	00000000
Clr_Disb	00000001
Cnt16H	00000014
Cnt16L	00000015
DC	00000001
DD_RAM_Addr	00000080
DD_RAM_U1	00000080
Delay	0000015F
Dev_Freq	003D0900
Disp_Off	00000008
Disp_On	0000000C
Disp_On_B	0000000F
Disp_On_C	0000000E
E	00000000
EEADR	00000009
EECON1	00000088
EECON2	00000089
EEDATA	00000008
EEIE	00000006
EEIF	00000004
Entry_Inc	00000006
F	00000001
FSR	00000004
Flag	0000001B
GIE	00000007
H_byte	00000046
INDF	00000000
INTCON	0000000B
INTE	00000004
INTEDG	00000006
INTF	00000001
IRP	00000007
InitMessages	00000100
Init_Display	0000016B
LCD	00000004
LCD_Delay	0000016F
LCD_Loop	00000172
LSD	0000004D
L_byte	00000047
M0	00000003
M1	00000004
MSD	0000004B
Mode	00000018
Msg1	0000009F
Msg2	000000B5
NOT_PD	00000003
NOT_TO	00000004
OPTION_R	00000081
P0	00000046
P1	00000047
PCL	00000002

SYMBOL TABLE
LABEL

VALUE

PCLATH	0000000A
PORTA	00000005
PORTB	00000006
POff	00000127
PS0	00000000
PS1	00000001
PS2	00000002
PSA	00000003
P_BCD	000001C1
R0	00000048
R1	00000049
R2	0000004A
RBIE	00000003
RBIG	00000000
RBPB	00000007
RD	00000000
REC	00000007
RL1	00000005
RL2	00000006
RP0	00000005
RP1	00000006
RS	00000002
RW	00000001
RcvPW	00000012
RcvPWAux	00000013
RcvPWHigh	0000006E
RcvPWLlow	0000004E
RcvPWMax	0000007E
RcvPWMin	0000003E
RcvPWi	00000011
STATUS	00000003
Send_char	00000187
Send_cmd	00000196
Shot	00000158
Shots	00000016
Shutter	0000001A
State	00000017
TOCS	00000005
TOIE	00000005
TOIF	00000002
TOSE	00000004
TMR0	00000001
TOModeI	00000000
TOModeII	0000003A
TOModeIII	000000FF
TOlimit	000000E5
TOx	00000019
TRISA	00000085
TRISB	00000086
TempD	0000004F
TurnOff	00000151
TurnOn	0000014A
UpdateDisplay	0000011E

SYMBOL TABLE

LABEL	VALUE
W	00000000
WR	00000001
WREN	00000002
WRERR	00000003
Z	00000002
_CP_OFF	00003FFF
_CP_ON	0000000F
_HS_OSC	00003FFE
_LP_OSC	00003FFC
_PWRTE_OFF	00003FFF
_PWRTE_ON	00003FF7
_RC_OSC	00003FFF
_WDT_OFF	00003FFB
_WDT_ON	00003FFF
_XT_OSC	00003FFD
_16F84	00000001
adjBCD	000001E3
adjDEC	000001D9
aux	0000000E
aux1	0000000F
aux2	00000010
char	0000004E
count	0000000F
d_loop1	00000160
d_loop2	00000162
d_loop3	00000164
dec_shot	00000093
end_POff	0000012B
end_isr	00000049
end_tox	00000076
filter	00000023
lcd_c_tris	00000085
lcd_ctrl	00000005
lcd_d_tris	00000086
lcd_data	00000006
lcd_init_delay	00000006
loop16	000001D1
m1	00000103
m1_end	0000010C
m2	0000010F
m2_end	00000118
main	0000007B
next_isr	00000043
off	00000081
rcv_0	00000012
rcv_1	00000007
shoting_loop	00000089
start	0000004E
status_temp	0000000D
take_shot	00000094
taking	00000086
temp	00000010
test_high	0000002E

SYMBOL TABLE

LABEL	VALUE
test_low	00000035
test_shots	0000003B
test_timer	00000097
w_temp	0000000C

MEMORY USAGE MAP ('X' = Used, '-' = Unused)

```

0000 : X--XXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
0040 : XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
0080 : XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
00C0 : XXXXXXXXXXXX-----
0100 : XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
0140 : XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
0180 : XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
01C0 : XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXX--
2000 : -----X-----

```

All other memory blocks unused.

Program Memory Words Used: 438
 Program Memory Words Free: 586

Errors : 0
 Warnings : 0 reported, 0 suppressed
 Messages : 0 reported, 11 suppressed

Glossário

Altímetro: instrumento que indica a altitude do avião.

Aração: ato de trabalhar a terra com um equipamento chamado arado.

Baud: taxa de sinalização em bits/segundo.

CATV: *Cable Television*. TV a cabo.

CCD: *Charge Coupled Device*.

Clorose: amarelamento da folha por deficiência nutricional.

CRC: *Cyclic Redundancy Check*. Método utilizado para verificar a integridade dos dados.

Culturas Perenes: são aquelas que são cultivadas por período superior a um ano, e cuja planta é utilizada para produção por mais de uma safra agrícola sem que seja necessário o replantio ou corte.

Cultura: cultivo de gênero alimentício de origem vegetal.

Culturas Anuais: são culturas cujo período produtivo ocorre apenas por uma safra, sendo necessário o replantio, como por exemplo, a soja, o milho, etc.

DENTEL: departamento nacional de telecomunicações, órgão que controla e autoriza a utilização de frequências de rádio.

DVD: *Digital Video Disk*. Mídia digital de alta capacidade armazenamento.

Erva Daninha: vegetal sem utilidade que nasce no meio de certas culturas, prejudicando o seu desenvolvimento.

Estol: velocidade mínima relativa ao ar de um avião ou de um aeromodelo na qual as asas perdem o poder de sustentação.

Estresse: condições adversas de solo ou de clima sobre uma cultura.

FCC: *Federal Communications Commission*, órgão federal americano que controla e autoriza a utilização de frequências de rádio.

Fertilizante: produto químico utilizado para adubar plantas, melhorando seu crescimento e rendimento.

FM: modulação de frequência.

Frame: um conjunto de bits.

FSK: *Frequency Shift Keying*. Chaveamento por deslocamento de frequência.

Glow plug: elemento de ignição do combustível em motores do tipo *glow*.

GPS: *Global Positioning System*. Sistema que indica através de satélites a posição de dado ponto no globo terrestre.

HDLC: *High-level Data Link Control*, protocolo da camada de enlace de dados. O seu *frame* contém os seguintes campos: *flag*, endereço, controle, dados, total de verificação e *flag*.

Herbicida: produto químico utilizado para destruir ervas daninhas.

Horizonte artificial ou indicador de atitude: instrumento que permite conhecer a posição (atitude) do avião em relação à linha do horizonte, sem que o piloto tenha referências visuais externas.

ILS: *Instrumental Landing System*. Sistema de instrumentação para aterrissagem.

LCD: *Liquid Crystal Display*. Mostrador de cristal líquido.

Mancal: dispositivo de ferro sobre o qual se apóia um eixo giratório.

Matas ciliares: são as matas que margeia rios, riachos e córregos.

Microbacia: regiões ou áreas de cultivo, ou não, de abrangência de um rio ou conjunto de rios, dependente diretamente dos mesmos.

NTSC: *National Television Standards Committee*. Sistema de cores para transmissão de imagens de TV.

PCMCIA: *Personal Computer Memory Card International Association*. Especifica uma interface para acoplamento de periféricos em computadores portáteis.

PIC: *Peripheral Interface Controller*. Microcontrolador tipo RISC para pequenas aplicações.

Pixel: é o menor elemento em uma imagem digital.

PPM: *Pulse Position Modulation*: modulação por posição de pulso.

Radiogoniômetro: aparelho de rádio especial que indica a direção de voo de uma aeronave.

RF: *Radio Frequency* - frequência de rádio.

RPM: rotações por minuto.

SSB: *Single Side Band*. Banda lateral simples.

SST: *Spread Spectrum Technology*.

Tangagem: movimento de subir ou descer o nariz do avião.

Transponder: aparelho utilizado em aviões para informar ao controlador de radar de terra qual avião está aparecendo na tela.

UHF: *Ultra High Frequency*. Frequência ultra alta.

Variômetro: indicador da velocidade vertical de um avião.

VCR: *Video Cassette Recorder* – gravador de vídeo cassete.

VHF: *Very High Frequency*. Frequência muito alta.

Wire wrap: técnica de construção de circuitos eletrônicos que utiliza fios torcidos ao redor de pinos de contato.