

## **Sistema Imageador Infravermelho Termal: Características, Descrição e Resultados**

**EDUARDO VIEGAS DALLE LUCCA**

**ANTONIO FREDERICO BASTOS**

CTA/IEAv – Centro Técnico Aeroespacial/ Instituto de Estudos Avançados  
Rod. Dos Tamoios, Km 5,5 – 12228-840-São José dos Campos – SP, Brasil  
lucca@ieav.cta.br  
bastos@ieav.cta.br

**Abstract:** The aim of this work is to make a description of a thermal infrared linescanner imaging system developed by CTA. First, the main characteristics are presented. After, are showed some images obtained in test flights using the imaging system in different flight levels and velocities, both day and night operations to evaluate the geometric and radiometric quality of these images. Finally, are listed some research works related to the system development.

**Keywords:** Linescanner, infrared, thermal infrared.

### **1 Introdução**

Um sistema imageador infravermelho termal é um dispositivo capaz de coletar, detectar e transduzir a radiação infravermelho termal emitida pelos alvos, sob a plataforma na qual está instalado e gerar uma imagem correspondente. Os imageadores termais podem ser empregados na execução de uma vasta gama de tarefas e dividem-se, basicamente, em dois grupos: os imageadores de varredura de linha, conhecidos como “linescanners”, ou IRLS (*"Infrared Linescanner"*) e os de visada frontal, normalmente chamados de FLIR (*"Forward Looking Infrared"*).

Os imageadores de varredura de linha são muito utilizados para fins militares em reconhecimento aéreo. São empregados em missões nas quais a aeronave faz somente uma passagem sobre o alvo, deslocando-se à alta velocidade e à baixa altura. Em tais circunstâncias, é necessário que o imageador possua um grande campo de visada na direção transversal à do deslocamento da aeronave para aumentar a probabilidade de aquisição do alvo desejado.

Os imageadores de visada frontal têm possibilidade de emprego mais variada, podendo ser usados a bordo de qualquer veículo aéreo, terrestre ou aquático, no cumprimento de uma série de missões. Esta maior versatilidade advém de suas características de funcionamento que, diferentemente dos de varredura de linha, não utiliza o movimento da plataforma para compor a imagem.

Este trabalho tem por objetivo apresentar um sistema imageador infravermelho termal desenvolvido no Centro Técnico Aeroespacial (CTA). Inicialmente descrevem-se seus principais componentes e características e em seguida são apresentados alguns resultados obtidos.

## **2 Sistema imageador termal: descrição e características**

O imageador é um sistema passivo de imageamento por varredura de linha, de visada vertical e amplo ângulo de campo transversal.

É capaz de detectar e discriminar diferentes níveis de radiação infravermelho termal emitida e refletida por objetos naturais e artificiais, produzindo uma imagem visível do padrão radiante detectado. É constituído de dois subsistemas: um embarcado e um de solo.

### **2.1 Subsistema embarcado**

O subsistema embarcado é o responsável pela aquisição da imagem e compõe-se das unidades: imageadora, eletrônica, de visualização, de gravação, painel de controle e casulo ("pod").

#### **2.1.1 Unidade imageadora**

A unidade imageadora compõe-se basicamente de um dispositivo óptico e de um dispositivo detector. O dispositivo óptico tem como função coletar e colimar a radiação proveniente dos alvos sobre o detector, cuja função é fornecer um sinal elétrico proporcional à potência da radiação coletada e focalizada pelo sistema óptico.

O dispositivo óptico compõe-se de um prisma giratório de quatro faces espelhadas que, acionado a uma frequência de 180 Hz, promove a varredura transversal cobrindo um ângulo de 120°; e de um conjunto de espelhos e um telescópio que colimam e focalizam a radiação sobre o detector.

O dispositivo detector é constituído por uma rede de 5 elementos fotosensíveis com dimensões de 0,3 X 0,3 mm. Os elementos detectores são transdutores do tipo quântico elaborados a partir de materiais semicondutores, neste caso, liga HgCdTe, que possuem a propriedade de variarem a condutividade quando expostos à radiação de determinada faixa de comprimentos de onda. Opera na faixa espectral de 8 a 14  $\mu\text{m}$ , com sensibilidade máxima para ondas com aproximadamente 10,5  $\mu\text{m}$  de comprimento. Possui uma resolução geométrica angular de 1,5 mrad e uma resolução radiométrica de aproximadamente 0,25 °C (300K).

Por suas características, o detector necessita ser refrigerado durante a operação. Para isto, utiliza um sistema de criogenia (ciclo fechado) que reduz e mantém a temperatura dos elementos a 77K, que é a sua temperatura de funcionamento.

O processo de imageamento baseia-se na segmentação da cena em linhas através de varreduras transversais à trajetória de vôo. A contínua e precisa justaposição de cada linha de imagem à linha subsequente, produzirá a imagem completa da cena. A justaposição das linhas de imagem é realizada pelo deslocamento da aeronave em velocidade sincronizada com a frequência de rotação do prisma.

#### **2.1.2 Unidade eletrônica**

A unidade eletrônica tem como função o processamento do sinal fornecido pelo detector e compõe-se de uma fonte, circuitos de pré-amplificação e amplificação, circuitos de controle, de proteção e de estabilização. Efetua a amplificação, filtragem e multiplexagem (ordenamento) do sinal e provê pulsos de sincronismo, de forma a

possibilitar um sinal compatível com as unidades de gravação e visualização da imagem. Tem ainda como função o controle de estabilização da imagem, compensando eventuais movimentos não comandados da aeronave em torno de seu eixo longitudinal (até 30 graus da vertical).

O sinal fornecido pelo elemento detector é um sinal analógico cujas amplitudes podem atingir até 100 $\mu$ V com frequências, consideradas de interesse, de até 250 KHz. Este sinal é amplificado por um conjunto pré-amplificador e amplificador, com ganhos de 10<sup>4</sup>, resultando em um sinal de até 1V pico a pico chamado sinal de luminância. O sinal depois de processado é enviado à unidade de gravação.

### **2.1.3 Unidade de gravação**

A unidade de gravação tem por finalidade gravar em forma analógica os sinais de saída fornecidos pela unidade eletrônica. Esta unidade é constituída por um gravador de vídeo modificado para operar como gravador analógico de larga faixa de passagem.

A gravação é feita em uma fita VHS com capacidade para até duas horas de imageamento. O sinal gravado não é compatível com sistemas de vídeo e necessita de uma interface digitalizadora para possibilitar a reprodução.

### **2.1.4 Unidade painel de controle**

A unidade painel de controle destina-se a possibilitar ao operador o controle do subsistema embarcado. Comanda automaticamente todas as fases necessárias à preparação do sistema para o imageamento, segundo um encadeamento apropriado. Estas fases incluem o acionamento da refrigeração do detector, a abertura da porta de proteção da janela de imageamento e a ativação do circuito de proteção do detector. Após o tempo necessário para a conclusão da rotina o sistema entra no status operacional.

### **2.1.5 Unidade *pod***

O *pod* (casulo) tem por finalidade o acondicionamento de todos os componentes do subsistema embarcado, exceto a unidade painel de controle que fica instalada no interior da aeronave. É uma estrutura metálica dividida em três partes: frontal, central e seção posterior. Na superfície superior encontra-se o dispositivo de fixação principal do casulo.

A seção frontal abriga as unidades eletrônica e de gravação, a central a unidade imageadora e a seção posterior abrigava, inicialmente, o sistema de criogenia de ciclo aberto.

O subsistema embarcado também pode ser adaptado a uma plataforma para operar em aeronaves próprias para missões de aerolevanteamento, dispensando o uso do casulo.

## **2.2 Subsistema solo**

O subsistema solo destina-se a reproduzir as imagens gravadas em vôo permitindo o processamento, manipulação e interpretação dessas imagens. Consiste de uma unidade de amostragem de linhas e controle de Ganho (UAG), uma unidade de digitalização e montagem da imagem (UDM), uma unidade de visualização (TV e vídeo cassete) e uma unidade de apoio à interpretação, que compreende um computador PC e periféricos.

A UAG tem como função permitir que as linhas de imagem adquiridas pela unidade imageadora sejam amostradas e enviadas à UDM de acordo com um fator de amostragem selecionado pelo operador. Isto possibilita a reprodução de imagens geometricamente bem formadas dentro de uma ampla faixa de velocidades e alturas de vôo mantidas durante o imageamento. Outra função desta unidade é permitir o controle manual de ganho.

O valor numérico da razão V/H é função direta de quatro parâmetros operacionais do sistema: resolução angular, frequência de rotação e número de faces do prisma e número de células fotossensíveis do detector empregado. Como estes parâmetros são invariáveis, a razão entre a velocidade e altura de vôo durante o imageamento também deve ser mantida constante. Sendo a velocidade da aeronave um parâmetro pouco flexível, isto limita a variação de alturas de vôo a algumas possibilidades.

É possível determinar o fator de amostragem de linhas a ser usado a partir da velocidade e altura da aeronave durante o imageamento, informados pelo piloto. A configuração atual permite 15 possibilidades de ajuste, desde o V/H máximo de 1,06 rad/s até 0,25 rad/s.

A UAG preserva a resolução da imagem, entretanto os sinais fornecidos na saída (sinal de vídeo VS, pulso de sincronismo de linha e o sincronismo de pixel) não são compatíveis com sistemas de vídeo ou de computador, sendo então necessário uma interface digitalizadora (UDM) para permitir a montagem dos quadros da imagem a partir das linhas fornecidas. Desta forma, a UDM tem como função, compatibilizar os sinais gerados pela UAG com os sinais convencionais de TV e vídeo.

Na UDM, um conversor analógico-digital converte o sinal de vídeo em 256 níveis digitais, enviando este sinal digitalizado para uma memória. Essa memória é atualizada continuamente, à medida em que novas linhas de imagem são recebidas.

O conjunto de linhas armazenadas num determinado momento compõe um quadro de imagem. O quadro vai se modificando com a substituição das linhas de imagem antigas pelas novas. O conteúdo da memória é lido “quadro-a-quadro”, sendo convertido novamente em sinal analógico. A leitura da memória é executada na frequência padrão dos monitores de TV, de modo que a imagem possa finalmente ser visualizada.

A imagem pode ser representada de modo que toda a faixa coberta pelo campo de visada transversal do imageador seja apresentada na tela. Uma vez que o monitor não comporta toda a imagem, o conteúdo da memória é amostrado e, desta forma, a imagem exibida não apresenta toda a resolução oferecida pelo imageador.

Também é possível selecionar um setor da memória para ser visualizado de modo a se ter a imagem com resolução máxima. Para isto, além da chave de seleção entre campo total e resolução total, a UDM dispõe de duas chaves que permitem selecionar uma dentre as 12 regiões da memória.

A UDM possui ainda uma chave para congelamento da imagem contida na memória e uma porta que possibilita enviar esta imagem um computador e armazená-la em um arquivo no formato BITMAP.

### 3 Resultados

O imageador foi submetido a uma série de ensaios empregando-se aeronaves AT-26 (Xavante) e R95 (Bandeirante) em missões diurnas e noturnas. O objetivo desses ensaios foi integrar o imageador à plataforma, verificar o funcionamento dos subsistemas, detectar e corrigir problemas no imageamento e analisar, preliminarmente, a qualidade geométrica e radiométrica das imagens.

A **Figura 1** apresenta duas imagens de um mesmo alvo (reservatório de combustível de uma refinaria) obtidas (a) durante o dia (15:00 h) e (b) durante a noite (21:00 h), ambas a 500 m de altura e 370 Km/h de velocidade.

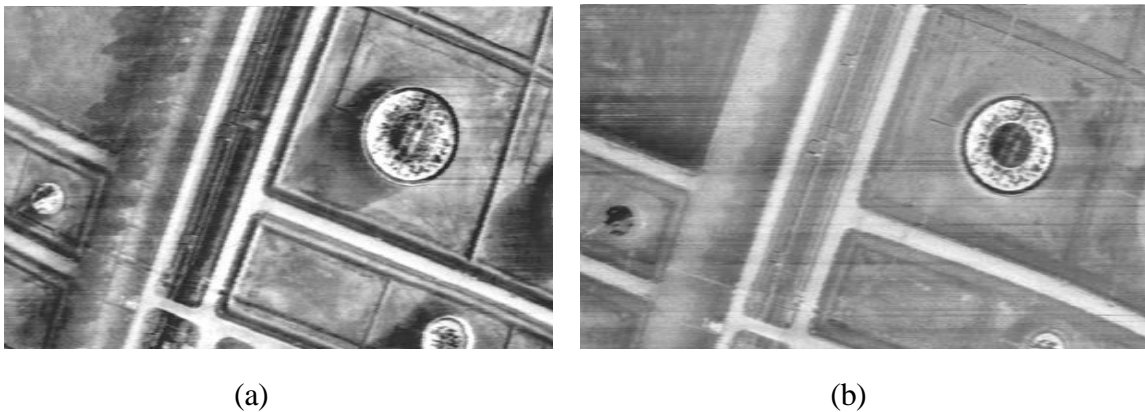


Figura 1 - Comparação de imagem diurna e noturna de um mesmo alvo.

A **Figura 2** apresenta uma imagem obtida durante o dia (11:00 h) do pátio de estacionamento da Embraer a 300 m de altura e 370 Km/h de velocidade. Além da identificação dos hangares, instalações, aeronaves e diferentes tipos de cobertura do solo (grama, concreto, asfalto) em (a), pode-se observar a detecção da sombra térmica deixada por uma aeronave que esteve estacionada no local conforme detalhe ampliado em (b). Este resultado permite verificar a qualidade radiométrica das imagens termais e seu potencial para extrair informações sobre o estado e a utilização dos alvos da superfície.

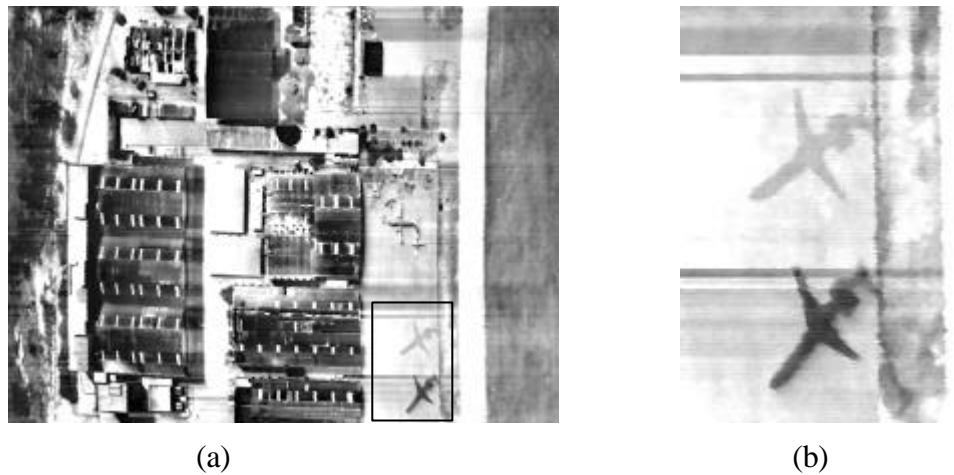


Figura 2 - Sombra térmica produzida por uma aeronave.

A **Figura 3** apresenta uma imagem obtida às 09:00 h do pátio de estacionamento da Embraer a 300 m de altura e 370 Km/h de velocidade. A imagem central (b) mostra o detalhe assinalado na imagem principal (a) e nela observa-se duas aeronaves de tipos diferentes, sendo ainda possível constatar uma delas, um Brasília, com os motores acionados. Outra aeronave é vista ampliada no detalhe (c) sendo possível identificá-la (jato comercial EMB145 fabricado pela Embraer). Este exemplo torna possível avaliar a capacidade não só de detecção, classificação e reconhecimento como também da identificação de certos alvos.

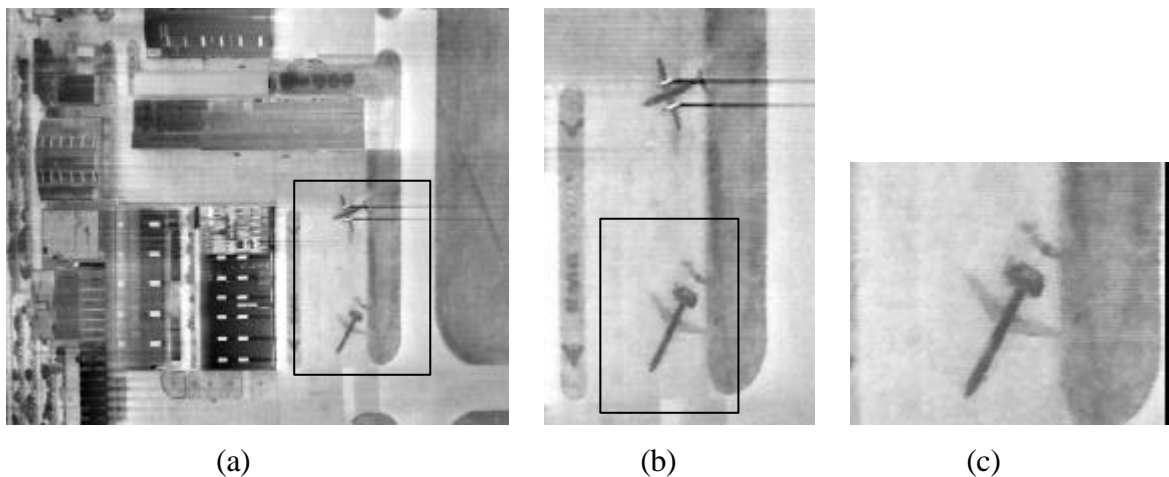


Figura 3 - Exemplo da capacidade de identificação de alvos.

A **Figura 4** apresenta imagens obtidas de diferentes tipos de alvos. Os alvos (a) e (b) foram obtidos em um sobrevôo sobre as instalações do porto do Rio de Janeiro durante o dia (13:00 h) e a 300 m de altura e 370 Km/h de velocidade. Nas mesmas condições de imageamento é mostrado em (c) o resultado do sobrevôo sobre a Refinaria Duque de Caxias no Rio de Janeiro. O alvo (d) é um viaduto sobre a rodovia Presidente Dutra na altura da cidade de São José dos Campos, obtido durante o dia (16:00 h) e a 200 m de altura e 350 Km/h de velocidade.

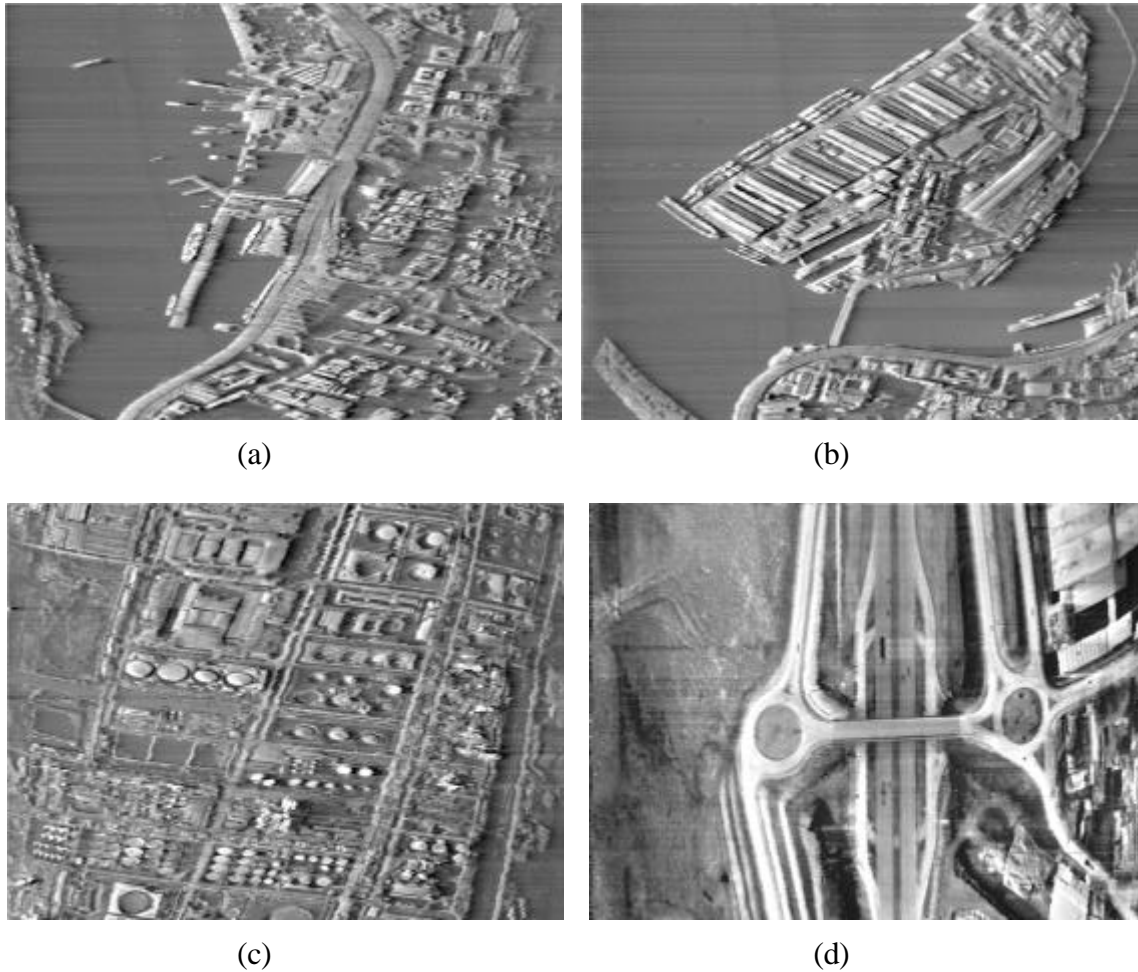


Figura 4 - Imagens termais diurnas de diferentes alvos.

O desenvolvimento de tecnologia de obtenção de imagens termais está possibilitando outras linhas de pesquisa que incluem a integração de dados na imagem (posição, velocidade, altura, etc. obtidas da plataforma), o desenvolvimento de algoritmos para correção das distorções geométricas típicas do imageamento por varredura de linha, o desenvolvimento de algoritmos de compressão de dados objetivando transmissão e recepção via *data link*, a implementação de um banco de imagens para estudos e desenvolvimento de metodologia de análise de imagens termais e, num futuro próximo, experimentos com alvos artificiais para caracterização do sensor.

#### 4 Conclusão

Embora concebido para ser um protótipo demonstrador de tecnologia, a boa qualidade e as características das imagens geradas bem como a carência de sistemas similares fazem deste imageador uma opção ímpar para diversas linhas de pesquisa e aplicações.

## Referências

- Bastos, A.F. **A Inter-relação das resoluções espacial e radiométrica na faixa do infravermelho termal.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1989. (4860-TDL/371).
- Demori, E. **Sistemas sensores de infravermelho com ênfase no desenvolvimento de um imageador de varredura mecânica.** Dissertação de Mestrado em eletrônica e telecomunicações. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3558-TDL/194).
- Fonseca, J.S. **Temperatura de alvos terrestres a partir do imageamento termal aerotransportado.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1994.
- Montes, A.S. **Radiômetro de alta resolução de ampla faixa espectral.** Dissertação de Mestrado em eletrônica e telecomunicações. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2460-TDL/096).
- Yoshioka, H. **Função de transferência de modulação (MTF) na resolução geométrica de imagens na faixa do infravermelho termal.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3964-TDL/231).