

1 Introdução

Neste capítulo, apresenta-se inicialmente a metrologia na Força Aérea Brasileira, a motivação, os objetivos e a organização, além da importância da calibração e a responsabilidade pelo bom funcionamento do sistema de Metrologia da Força Aérea Brasileira (FAB).

1.1 Metrologia na Força Aérea Brasileira

Em 1964, a metrologia na FAB teve como marco inicial a criação do Laboratório de Aferição de Instrumentos (LAI) no Parque de Material de Eletrônica da Aeronáutica do Rio de Janeiro (PAME-RJ). Os padrões eram calibrados periodicamente em comparação aos padrões da Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), conferindo ao laboratório valores de grandezas rastreáveis em nível internacional.

Em 1971, surgiu o Instituto de Fomento Industrial (IFI) no Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA), em São José dos Campos, com um laboratório atuante na área Física e Dimensional, obtendo mais tarde a acreditação junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

O INMETRO foi criado em 1973 e regulamentado por decretos-lei em 1977, tendo conseguido, na área de metrologia eletro-eletrônica, sua primeira célula padrão de referência de corrente contínua por meio de uma doação feita pelo LAI.

Em 1988, foi implantado o Sistema de Metrologia Aeroespacial (SISMETRA), com sede em São José dos Campos, com a finalidade de centralizar e gerenciar a Metrologia em todo o Comando da Aeronáutica.

O Laboratório Central de Calibração (LCC) é o principal laboratório do Sistema de Metrologia do Comando da Aeronáutica e está localizado na estrutura funcional do CTA, com exceção da área eletro-eletrônica, pois o Laboratório Regional de Calibração do Parque de Material de Eletrônica da Aeronáutica (LRC-PAME-RJ) possui padrões que não são rastreados ao LCC.

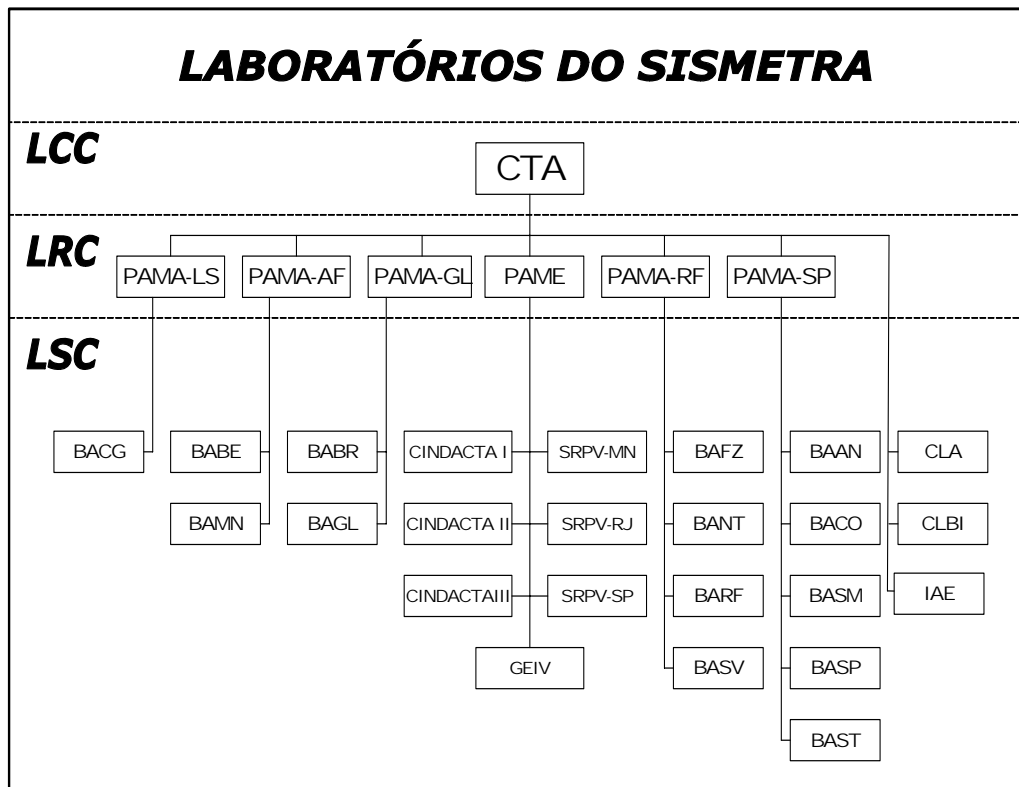


Figura 1 - Sistema de Metrologia Aeroespacial (SISMETRA).

1.2

Motivação

1.2.1

Auxílios de Navegação

Alguns anos após ter o homem ultrapassado a fase aventureira da aviação, sentiu-se a necessidade de uma orientação externa à aeronave, para auxiliar o piloto na aproximação e pouso em condições de visibilidade reduzida.

Em princípio, uma orientação adequada consiste em dois faróis coloridos posicionados na cabeceira da pista, com seus focos voltados para a direção de aproximação, sendo a luz do farol da esquerda de cor amarela e do farol da direita de cor azul (Figura 2a). Portanto, o piloto, ao avistar a luz amarela, saberá que se encontra à esquerda do eixo da pista, e vice-versa.

Para a orientação de descida, basta girar o par de faróis 90° , de modo que estejam contidos, agora, no plano vertical, estando o farol de cor amarela, acima, e o de cor azul, abaixo da rampa de descida desejada (Figura 2b).

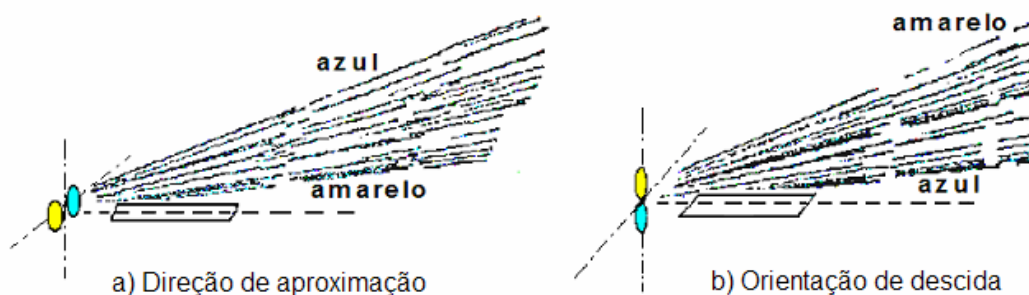


Figura 2 - Orientação de Curso com Fontes Luminosas.

Apesar deste sistema não ser, evidentemente, o mais apropriado, devido a sua ineficiência em caso de mau tempo, fica evidente neste exemplo o tipo de orientação ("guia"), principal interesse desta dissertação, a ser utilizada para uma trajetória de aproximação estreita e única.

1.2.2 Sistema de Pouso por Instrumentos (ILS)

O Sistema de Pouso por Instrumentos (ILS - *Instrument Landing System*) é um sistema de aproximação altamente sofisticado, elaborado com a finalidade de posicionar uma aeronave no espaço, de forma que esta possa executar um pouso seguro, ainda que submetida a condições meteorológicas de baixo teto e de baixa visibilidade. Isto é conseguido fornecendo-se informações altamente confiáveis sobre a posição relativa da pista e sobre a trajetória descendente que será percorrida pela aeronave desde seus procedimentos preliminares de aterrissagem até o toque final na superfície da pista.

O ILS utiliza-se de estações rádio-transmissoras, instaladas apropriadamente sobre o terreno, que são responsáveis pela emissão de um sinal localizador altamente direcional e coincidente com a linha central da pista, e pela geração de uma rampa descendente; este plano inclinado contém a trajetória de planeio que termina, praticamente, na superfície da pista, na área selecionada como ponto de toque.

O equipamento receptor, que se encontra a bordo da aeronave, traduz estes sinais e fornece informações visuais da posição relativa da aeronave com respeito à trajetória de aproximação prevista.

As informações são interpretadas por meio de um instrumento de bordo, conhecido como instrumento de ponteiros cruzados. O ponteiro – ou agulha – horizontal indica o sentido vertical a voar para que a aeronave descreva o ângulo de planeio correto, enquanto que o ponteiro vertical fornece as correções laterais ao longo do curso.

Descrevem-se a seguir os principais subsistemas que compõem um ILS.

1.2.2.1

Localizador ("Localizer"- LOC)

É um transmissor em VHF que produz um sinal eletrônico elaborado para fornecer orientação lateral à aeronave com respeito à pista selecionada para pouso. A informação fornecida por este equipamento é de azimute, ou ângulo, relativo à linha central da pista.

O LOC fornece a informação de curso relativo ao prolongamento do eixo da pista de pouso às aeronaves na aproximação final. Esta informação é processada pelo equipamento receptor de bordo e apresentada como uma indicação visual, por meio do instrumento de ponteiros cruzados existente no painel da aeronave, permitindo ao piloto manter a direção de vôo adequada até conseguir contato visual com a pista de aterrissagem.

A estação do localizador tem três áreas físicas principais: o abrigo, o bastidor do equipamento e o conjunto de antenas.

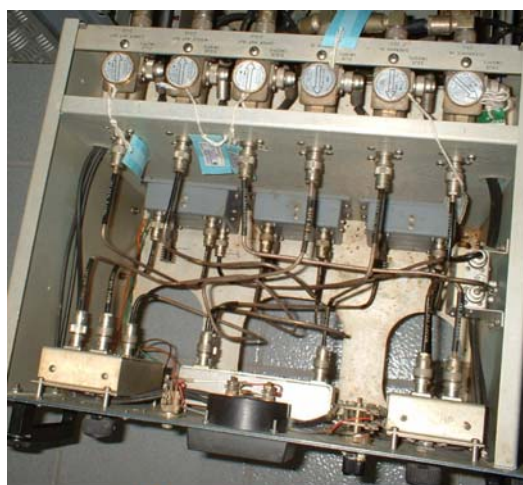
No abrigo ("*Shelter*"), mostrado na Figura 3, aloja-se o equipamento eletrônico da estação e de um conjunto de antenas transmissoras, incluindo detectores de campo ou detectores integrais, que têm por objetivo monitorar continuamente todos os parâmetros irradiados.



a) Abrigo.



b) Transmissor.



c) Bastidor de detectores.

Figura 3 – Estação do localizador.

A estrutura que abriga as unidades transmissoras está instalada próxima ao final da pista, no extremo oposto ao de aproximação, afastada lateralmente, evitando que se transforme em um obstáculo susceptível de colisão. As antenas encontram-se perpendicularmente e igualmente distribuídas, para ambos os lados do prolongamento do eixo da pista. O campo de irradiação produzido por este conjunto de antenas se desenvolve por sobre a linha central da pista, projetando-se em direção aos marcadores (*beacons*, descritos na seção 1.2.2.3). Este campo de rádio-freqüência (VHF) é modulado por sinais de 90Hz e 150Hz que se distribuem pelos dois lados do eixo da pista, fornecendo a informação de azimuth (Figura 4).

Numa aproximação normal, ou seja, vindo em direção à pista seguindo o marcador (*beacon*) externo, uma aeronave terá a predominância da profundidade

de modulação de 150Hz a sua direita; de maneira análoga, o sinal de 90Hz predominará a sua esquerda. Estes dois lóbulos, cada um transportando ambos os sinais de áudio, se sobrepõem ao longo do prolongamento do eixo da pista, de tal forma que as energias fornecidas pelos dois sinais de áudio sejam exatamente iguais, definindo, então, a linha de curso do LOC, cuja DDM (*Deep Differential Modulation*) é igual a zero, implicando em deflexão nula do ponteiro vertical do indicador de ponteiros cruzados.

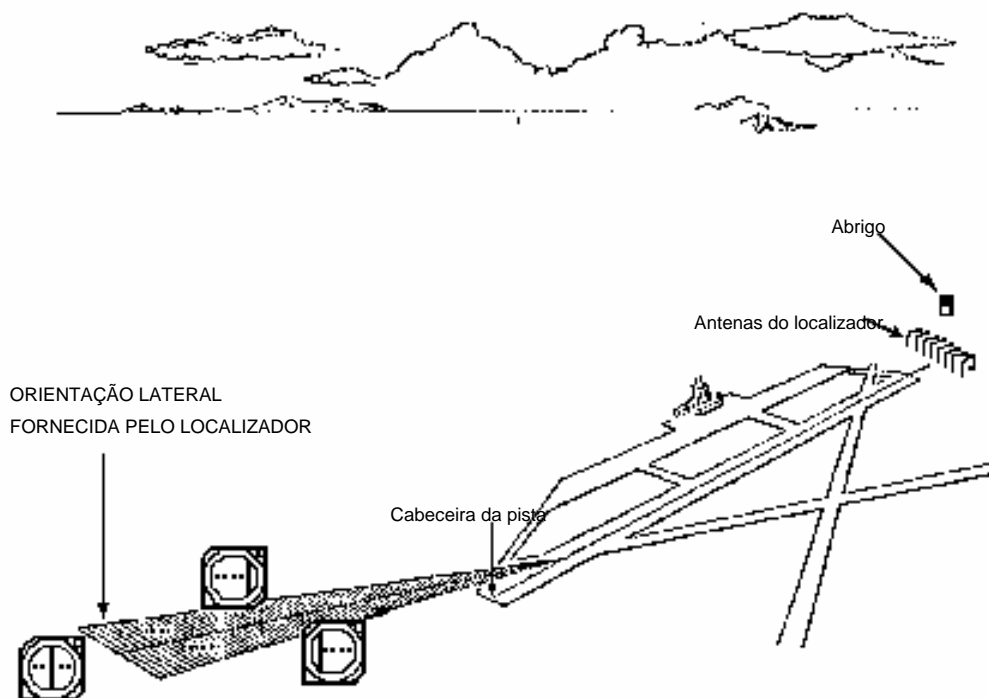


Figura 4 – Orientação Lateral fornecida pelo Localizador.

As indicações são utilizadas para alinhar o sentido de vôo da aeronave em relação ao deslocamento lateral do prolongamento do eixo central da pista. A deflexão do ponteiro é proporcional ao desvio horizontal da aeronave em relação ao curso do localizador, até ao valor limite do instrumento, correspondente à largura do curso da estação.

Assim, o setor angular compreendido pela deflexão dos sinais de 90Hz e 150Hz é conhecido como SETOR DE CURSO e o ângulo total é chamado de LARGURA DE CURSO. A largura de curso está normalmente entre 3° e 6°, embora possa variar entre 2,4° e 7,2°.

A potência de saída de rádio-freqüência dos transmissores atualmente em uso está entre 10W e 15W, o suficiente para o setor de cobertura do LOC, que se estende desde o centro do sistema de antenas até pelo menos 33km (18NM), dentro de

$\pm 10^\circ$ com respeito ao eixo do curso dianteiro e de 18km (10NM) para além de 10° ($\pm 35^\circ$), conforme ilustrado na Figura 5 a seguir. Nesta cobertura, os sinais do LOC deverão ser recebidos até a inclinação de 7° acima do plano horizontal.

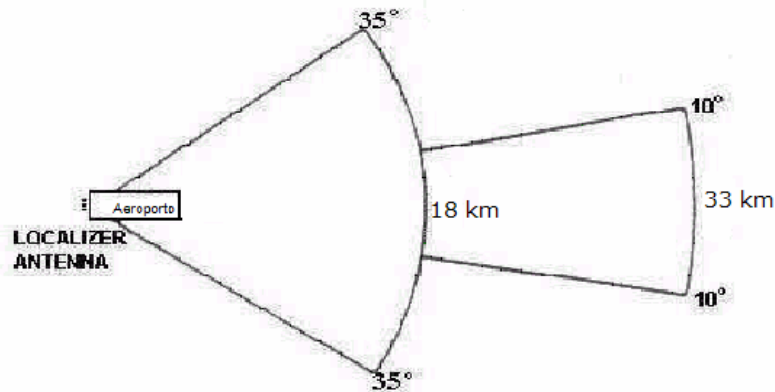


Figura 5 – Setor de cobertura do localizador.

Os transmissores do LOC utilizam a faixa de freqüências de 108,0MHz a 112,0MHz, nos decimais ímpares (p.ex.: 110,3 MHz). Cabe notar que as instalações de VOR (*VHF Omni-directional Radio Range*) utilizam-se da mesma faixa, porém com os decimais pares (ex: 110,6 MHz).

Todos os transmissores dos localizadores são continuamente modulados por um sinal de identificação, composto por duas ou três letras codificadas em Morse; estas letras são precedidas da letra "I" de ILS. Normalmente empregam-se as mesmas letras utilizadas na identificação de outros auxílios do mesmo sítio. Seus transmissores podem, também, ser modulados em fonia, cuidando-se para que não interfiram com os sinais de navegação.

Por exemplo, o Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim (antigo Galeão) possui duas (2) pistas, quatro (4) cabeceiras e três (3) sistemas de aterrissagem por instrumentos, denominados:

IGL – 110,3MHz

ITB – 109,7MHz

ILM – 110,7MHz

1.2.2.2 Trajetória de Planeio ("Glide Slope")

É um transmissor que também fornece um sinal eletrônico, porém, com a finalidade de orientar a aeronave no plano vertical, de forma que esta possa descrever uma trajetória descendente, segura, de inclinação conhecida e constante. Compreende transmissores em UHF e seu sistema de monitoramento correspondente.

As antenas do subsistema da trajetória de planeio ("Glide Slope") produzem verticalmente um campo de irradiação modulado pela combinação de dois sinais de áudio (90Hz e 150Hz). Este campo irradiado desenvolve uma trajetória descendente pertencente ao plano vertical que contém o eixo da pista. O campo está de tal forma distribuído que o tom de 90Hz predomina acima da trajetória, enquanto o tom de 150Hz predomina abaixo desta. Assim, quando uma aeronave se encontra exatamente na trajetória de planeio, o ponteiro indicador do receptor de bordo fica centrado na escala do instrumento. Se a aeronave estiver acima da trajetória, a modulação de 90Hz predominará, fazendo com que o ponteiro horizontal do instrumento se desvie para baixo de uma quantidade equivalente ao desvio angular entre a aeronave e a trajetória correta. Se a aeronave estiver abaixo da trajetória, a modulação de 150Hz predominará, desviando o ponteiro para cima, de maneira análoga, conforme indicado na Figura 6 a seguir.

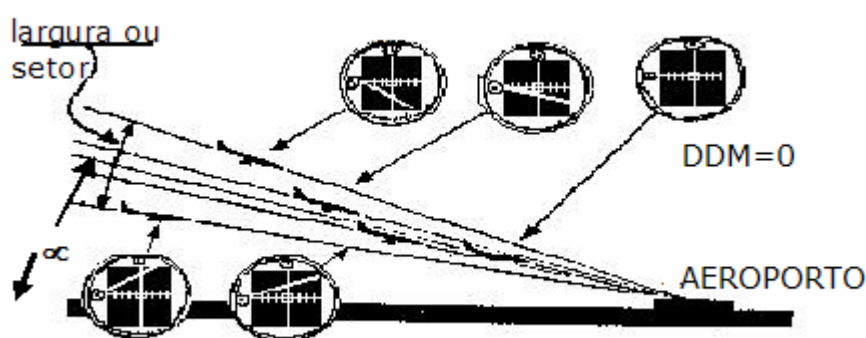


Figura 6 - Orientação Vertical nos pontos notáveis da trajetória de planeio.

As profundidades de modulação dos sinais de 90Hz e 150Hz são iguais ao longo de todos os pontos da trajetória de planeio, que pode ter uma inclinação de 2° a 4° com o horizonte. Ainda que o valor recomendado seja de 3° , o ângulo de elevação

da trajetória de planeio pode variar bastante entre os diversos auxílios instalados, dependendo das características do terreno diante das antenas e dos requisitos do tráfego aéreo local.

Em uma aproximação ILS, qualquer afastamento da trajetória de planeio deverá causar imediata resposta no ponteiro do instrumento de bordo, alertando ao piloto para o sentido da correção a ser aplicada à aeronave, isto é, se deverá subir ou descer ("*Fly-up, Fly-down*") para que se mantenha na trajetória prevista.

Assim, percebe-se que a informação de estar voando corretamente a trajetória de planeio deve se prender apenas às vizinhanças muito próximas, restritas a um corredor de vôo com largura angular muito estreita e centrado na trajetória.

O *glide slope* pode ser apresentado em quatro configurações: nulo de referência, efeito de captura, banda lateral de referência e *end fire*, conforme descrito a seguir:

- **Nulo de Referência:** composto por um transmissor de curso e duas antenas. É utilizado em sítios com ótimas condições de terreno.
- **Efeito de Captura:** composto por um transmissor de curso, um transmissor de preenchimento, uma APCU (*Amplitude and Phase Control Unit* – Unidade de Controle de Fase e Amplitude) e três antenas, sendo utilizado em sítios com deficiências topográficas acentuadas.
- **Banda Lateral de Referência:** composto por um transmissor de curso, uma APCU e duas antenas, sendo utilizado em sítios onde a área de reflexão é pequena ou terrenos com declive acentuado após 300m das antenas.
- **End Fire:** composto por um transmissor de curso, um transmissor de *clearance*, uma unidade de interface, duas antenas côncavas (*end fire*) que são alimentadas pelo transmissor de curso e duas antenas dipolos alimentadas pelo transmissor de preenchimento. Por suas características (baixa altura) é utilizado onde a área do sítio é reduzida (ex.: entre duas pistas).

A potência de saída dos transmissores deve ser o suficiente para produzir um sinal útil a distâncias de 18km a 28km dos transmissores, cobrindo setores de pelo menos 8° para cada lado do curso do localizador. As estações do GLIDE operam em uma das diversas frequências contidas na faixa de 328MHz a 336MHz. O receptor da aeronave é automaticamente sintonizado para o canal correto de UHF quando a frequência do LOC for selecionada.

Seus transmissores e antenas são usualmente instalados em um abrigo próximo da cabeceira de aproximação para dentro da pista, mas afastados lateralmente de seu eixo central, evitando serem obstáculos susceptíveis de colisão.

1.2.2.3 Marcadores (Marker Beacon - MB)

São transmissores que têm a finalidade de fornecer, à aeronave que esteja no curso do localizador, a informação do quanto esta se encontra afastada da cabeceira da pista em uso. Operam em VHF, na frequência fixa de 75MHz.

Os marcadores de 75MHz são, dentre os auxílios para a aproximação final e aterrissagem, os responsáveis pela informação da distância que separa a aeronave da cabeceira da pista. A localização dos marcadores é indicada nas cartas de aproximação por instrumentos.

O diagrama de irradiação produzido pela antena de um marcador é voltado para cima, na direção vertical de sua posição. Sobrevoando um marcador de ILS, percebe-se que seu diagrama de irradiação horizontal é elíptico, com seu eixo maior perpendicular ao eixo da pista. Isto permite a recepção dos sinais de um marcador por uma aeronave que esteja no curso do localizador ou nos seus extremos.

Assim, todos os marcadores de "ILS" operam em 75MHz, sendo diferenciados apenas por seus sinais de identificação. O receptor de bordo recebe todos os marcadores no mesmo canal, pois é pré-sintonizado em apenas 75MHz. A identificação do marcador sobrevoado é feita pela interpretação auditiva de seu código particular e pela cor da lâmpada que estiver piscando, indicando um determinado marcador.

Quando a instalação de marcadores for impraticável, um DME (Equipamento Medidor de Distância) bem localizado poderá ser aceitável como uma alternativa parcial ou total aos marcadores pertinentes ao ILS. O DME deve fornecer uma informação de distância operacionalmente equivalente à fornecida pelos marcadores e ter sua frequência casada com a do LOC.

1.2.2.4 Equipamentos Associados

Ao sistema de Pouso por Instrumentos associam-se outros equipamentos, com o objetivo de melhorar o seu desempenho e a sua segurança, tais como:

a) Radiofarol Marcador

É uma estação de radiofarol não-direcional (NDB – *Non-directional Beacon*) cuja finalidade é a de assistir ao piloto nos procedimentos de espera e orientá-lo para a interceptação do curso do localizador.

b) Equipamento Medidor de Distância (DME)

Pode ser instalado no mesmo "shelter" que abriga os transmissores do localizador ou da trajetória de planeio. Fornece informações contínuas de distância (do avião à antena do DME) ao longo da trajetória de aproximação.

c) Radar de Vigilância (ASR)

Utilizado para orientar a aeronave a interceptar um ponto da trajetória de aproximação.

d) Luzes de Aproximação (ALS)

Fornecem orientação visual em direção à pista quando a aeronave estiver submetida a condições de baixa visibilidade.

1.2.3 Calibração dos Detectores de RF

Para medir a potência que é gerada ou transmitida pelos vários equipamentos nos sistemas de comunicação, detecção e navegação empregados no Comando da Aeronáutica, descritos nas seções anteriores, podem ser utilizados dois instrumentos distintos, que são o medidor de potência e o Wattímetro.

O medidor de potência é um instrumento sofisticado e está voltado para a medição e calibração de geradores de sinais de alta frequência com baixa potência. Quando é necessário medir potências na casa dos Watts ou quilowatts, como é o caso dos equipamentos de comunicação (VHF, UHF), de detecção (como os radares) ou de navegação (VOR, ILS, etc.), precisa-se lançar mão do Wattímetro que, apesar de ser um instrumento menos sofisticado que o medidor de potência, é bem mais prático de ser usado e cumpre adequadamente sua missão.

O Wattímetro (figura 7) é composto por um galvanômetro e por um sensor que pode ser intercambiável, dependendo da frequência e potência de transmissão, com vários valores desde 100mW, 250mW, 500mW até 2,5kW, 5kW, 10kW, mas sempre múltiplos de 25, 50 e 100.



Figura 7 – Wattímetro, podendo-se notar ainda o elemento sensor.

O elemento sensor, também chamado de RF Detector, Cristal Detector, Elemento Detector ou vulgarmente conhecido no meio técnico como “pastilha”, define a escala na qual será feita a leitura, abrangendo dez bandas de frequências de 2MHz até 2300Mhz, além de outras bandas adicionais, com diferentes especificações de potência e frequência.

Para se fazer uma medida, o detector em forma de cilindro deve ser inserido no soquete e girado até um batente. No mostrador do detector existem várias informações, como a potência de fundo de escala e a banda de frequência, além de uma seta que indica o sentido do fluxo da potência que se está medindo.

Por exemplo, considerando o elemento detector 50C:

- O valor 50 determina a potência de fundo de escala que será lida no galvanômetro: 50W;
- A letra determina a faixa de frequência onde este detector poderá ser usado. No exemplo, a letra **C** corresponde à faixa que vai de 100MHz a

250MHz; obviamente, o detector escolhido deve ser adequado à frequência do transmissor;

- A seta indica o sentido do fluxo da potência medida, ou seja, se o detector for girado de tal forma que a seta aponte para a antena (carga), medir-se-á a potência que flui do transmissor para a antena, ou seja, a potência direta ou incidente; se a seta for girada no sentido contrário, apontando para o transmissor, medir-se-á a potência que flui da antena para o transmissor, ou seja, a potência inversa ou refletida.

A calibração destes sensores ou detectores é de fundamental importância para o serviço de proteção ao voo, podendo-se mensurar se a energia emitida pelo transmissor é proporcional à distância desejada, pois, caso contrário, haverá desperdício de energia, com o transmissor funcionando acima do normal, provocando futuras falhas e diminuindo a vida útil do equipamento. Diferenças de nível de potência de transmissão entre as bandas laterais de um VOR podem causar erros de fase. Por exemplo, uma diferença de potência de 10% pode causar um erro de curso de 3°.

1.2.4 Situação Atual da Calibração de Potência

A calibração dos wattímetros e dos detectores de RF utilizou como referência, por muitos anos, o Padrão Modelo 1223 do fabricante Philco-Ford Corporation (Sierra Electronic Operation), ilustrado na Figura 8 a seguir.



Figura 8 – Padrão Modelo 1223 da Philco-Ford Corporation.

Tabela 1 – Características do calibrador de RF Sierra 1223.

Parâmetros	Características
Frequências	30, 100, 300, 400, 500 e 1300 MHz
Exatidão	$\pm 0.01 \%$
Estabilidade	$\pm 0.01 \%$
Potência de saída	Selecionável em 5W, 15W, 30W, 60W, 100W e 125W para as cinco menores frequências e 5W, 15W, 30W e 60W em 1300 MHz: todos os níveis ajustados no mínimo em $\pm 10\%$ da nominal. O ajuste fino da resolução da potência é aproximadamente 0,25%.
Exatidão da Potência Monitorada	$\pm 4 \%$ exatidão com Voltímetro.
Impedância de saída em RF	50 Ω
Harmônicos da Frequência	No mínimo 50db frequência fundamental.

Este padrão fornece frequências fixas de 30MHz, 100MHz, 300MHz, 400MHz, 500MHz e 1300MHz, até a potência de 100W, com uma incerteza de $\pm 4\%$ de fundo de escala. Sua calibração era feita no AFPSL (*Air Force Primary Standard Laboratory*) nos EUA, com uma periodicidade de um ano.

Em 1998, o AFPSL (*Air Force Primary Standard Laboratory*) inviabilizou a calibração deste Padrão, ficando a Subdivisão de Metrologia do Parque de Material de Eletrônica do Rio de Janeiro (PAME-RJ), responsável pela calibração dos instrumentos de potência de RF no Sistema de proteção ao vôo, sem referência para tal serviço.

Várias tentativas foram feitas para aquisição de novos padrões nesta área, porém sem sucesso. A Subdivisão de Metrologia precisava dar uma resposta ao Sistema, motivando a busca de novos padrões. Essa tarefa mostrou-se árdua, devido à grande variedade de detectores (pastilhas) com faixas de frequência e potência diferentes, acarretando na necessidade de aquisição de vários padrões e no envio periódico dos mesmos aos laboratórios Internacionais para serem calibrados. Esta dependência externa, não desejável, apresentava as seguintes inconveniências:

- Constantes inoperâncias, devido ao uso do padrão além de sua vida útil;

- Dificuldades na reposição de peças (válvulas, resistores e capacitores variáveis para cada faixa de frequência e potência, cavidades ressonantes, etc.);
- Necessidade de envio ao exterior dos padrões para calibração; e
- O Padrão só fornecia frequências fixas, limitando a calibração dos diversos detectores a tais frequências. Por exemplo: o Detector 100H – 2 a 30 MHz de 100W era calibrado apenas na frequência de 30MHz, ficando o restante da faixa com restrições.

Dentre outras dificuldades da dependência externa da calibração, destacam-se:

- Limitação nas frequências de calibração;
- Necessidade de duplicação de padrões, para integral atendimento ao serviço;
- Longo período de espera desde o envio até o seu regresso;
- Dificuldade na compra de peças de reposição, quando o padrão apresentasse defeito;
- Preço elevado, devido à iminência da obsolescência, para reparar e calibrar; e
- O padrão ficou obsoleto, ficando a sua calibração inviável.

1.3 Objetivo

Visando a sanear os problemas acima descritos, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e validar uma nova metodologia para calibração de detectores de rádio-frequência, os quais são utilizados para verificação da potência de transmissão de equipamentos de auxílio à navegação, equipamentos esses usualmente instalados em aeroportos.

Como base da presente investigação, tomou-se como estudo de caso a Subdivisão de Metrologia do PAME-RJ, tendo em vista sua necessidade específica de realizar calibrações. Essa é responsável pela manutenção e calibração dos sensores de tais transmissores de potência no Departamento do Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Foram considerados o processamento, a análise dos dados e a expressão de todas as incertezas de medição envolvidas no processo de calibração.

A nova metodologia de calibração teve como premissas básicas:

1. Melhorar a confiabilidade, a reprodutibilidade e a qualidade da calibração, reduzindo a incerteza associada à medição;
2. Reduzir os custos associados à calibração no Brasil.
3. Atender à necessidade de calibrar os detectores;
4. Tornar disponível um registro de parâmetros das calibrações e das tendências do instrumento; e
5. Propor uma sistemática brasileira de calibração.

1.4

Organização da dissertação

A presente dissertação de mestrado estrutura-se segundo os seguintes capítulos:

CAPÍTULO 1: Introdução – Apresenta um breve histórico da metrologia na FAB, a necessidade de calibrar os instrumentos de auxílio à navegação que gerou a motivação, a situação atual da Calibração de Potência e o objetivo do trabalho.

CAPÍTULO 2: Transdutores de potência – Apresenta diferentes tipos de detectores e medidores de potência de interesse para o setor aeronáutico.

CAPÍTULO 3: Metodologia de calibração proposta – Descreve a metodologia de calibração proposta, com todos os instrumentos envolvidos no projeto para a execução da calibração e do ajuste dos detectores, quando necessário e factível.

CAPÍTULO 4: Cálculo de incerteza – (i) apresenta as rotinas para os cálculos de incerteza, desenvolvidas com base no ISO GUM (1995); (ii) justifica a relevância da determinação das incertezas; e (iii) apresenta suas aplicações para o estudo de caso desenvolvido, destacando-se que a nova metodologia proposta atende aos requisitos básicos da garantia da qualidade e confiabilidade metrológica.

CAPÍTULO 5: Conclusões e Recomendações para trabalhos futuros –

Discute os resultados do trabalho e encaminha recomendações para desdobramentos futuros.