

3 Metodologia de calibração proposta

A metodologia tradicional de calibração direta, novamente ilustrada na Figura 22, apresenta uma série de dificuldades e limitações, conforme descrito no Capítulo 1.

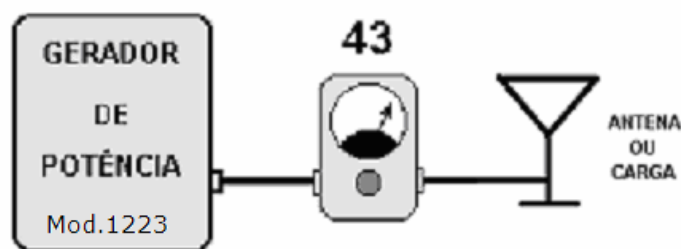


Figura 22 – Metodologia tradicional de calibração direta.

Em resposta às dificuldades encontradas em se empregar este método de calibração direta nos detectores de RF sob responsabilidade do PAME-RJ, utilizando apenas um gerador como padrão, buscou-se definir um novo procedimento, utilizando um gerador de sinais, um amplificador de potência, um atenuador e um conjunto Sensor de Potência – Medidor de potência, como ilustrado na figura 23.

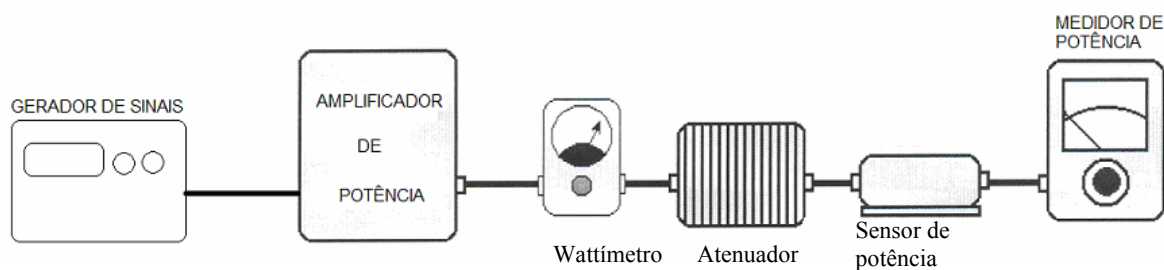


Figura 23 – Nova Metodologia proposta para calibração do medidor e detector de potência.

Nesta nova metodologia, o padrão de referência é o conjunto Medidor + Sensor de potência, e não mais somente o gerador de RF. Isto permite a utilização de amplificadores, que são responsáveis pela elevação do nível de potência de geradores com ampla faixa de frequência, estabilidade e pureza espectral

elevadas, porém incapazes de gerar os níveis de potência requeridos pelo procedimento.

Sendo assim, o novo procedimento pode ser descrito da seguinte forma: 1) a frequência de interesse é gerada, com nível reduzido, pelo gerador de RF; 2) este nível é elevado pelo amplificador até o nível de interesse; 3) o sinal amplificado alimenta o equipamento sob teste (wattímetro), gerando a leitura a ser comparada com o padrão; 4) em seguida o sinal é aplicado no atenuador, tornando possível sua leitura no conjunto Sensor + Medidor de potência, que age como o padrão do sistema.

A calibração é realizada por meio da comparação do valor medido pelo equipamento a ser calibrado com o valor medido pelo padrão, multiplicado pelo valor de atenuação, ou fator de atenuação produzido pelo atenuador, para uma determinada frequência de interesse. Este valor de atenuação é encontrado no memorial de cálculo do atenuador ou na tabela que o acompanha, o que permite sua utilização no procedimento proposto.

O novo método proposto apresenta várias vantagens em relação ao anterior, entre as quais pode-se destacar a possibilidade de se calibrar todos os detectores utilizados pela FAB sem restrições, além da fácil substituição dos equipamentos utilizados no processo, pois todos possuem instrumentos comerciais equivalentes. Baseado nestas vantagens, esse novo procedimento substituirá plena e satisfatoriamente o anterior, suprimindo todas as lacunas por aquele deixadas.

3.1

Descrição dos instrumentos utilizados

Gerador de Sinal (Rohde&Schwarz-SML-01)

Ilustrado na Figura 24, o gerador de sinal é o instrumento responsável pela geração de um sinal de excelente qualidade, com alto nível de exatidão para diferentes faixas de saída, sem distorção e com resolução em frequência de 0,1 Hz.



Figura 24 – Gerador de Sinais.

Tabela 2 – Especificação do Gerador de Sinais – SML 01 (Rohde & Schwarz)

Faixa de Frequências	9 KHz a 1,1 GHz
Resolução	0,1 Hz
Impedância	50 Ω
Nível de saída	-140 dBm a 13 dBm

Amplificador de Potência

É o instrumento responsável pela amplificação da potência do sinal de entrada, que é gerado pelo instrumento anterior.

O amplificador é o dispositivo mais utilizado em sistemas de transmissão, quer pelos baixos níveis de sinal, quer pela necessidade de elevados níveis, quer pela divisão do sinal para múltiplos usuários. Pode-se ter uma boa visão do comportamento e funcionamento deste dispositivo analisando-se a curva Pin X Pout (Figura 25), que mostra como variações de nível do sinal de entrada são transformadas no sinal de saída. Esta curva geral pode representar amplificadores de baixa e alta frequência, de baixos e elevados sinais, de baixa e alta potência.

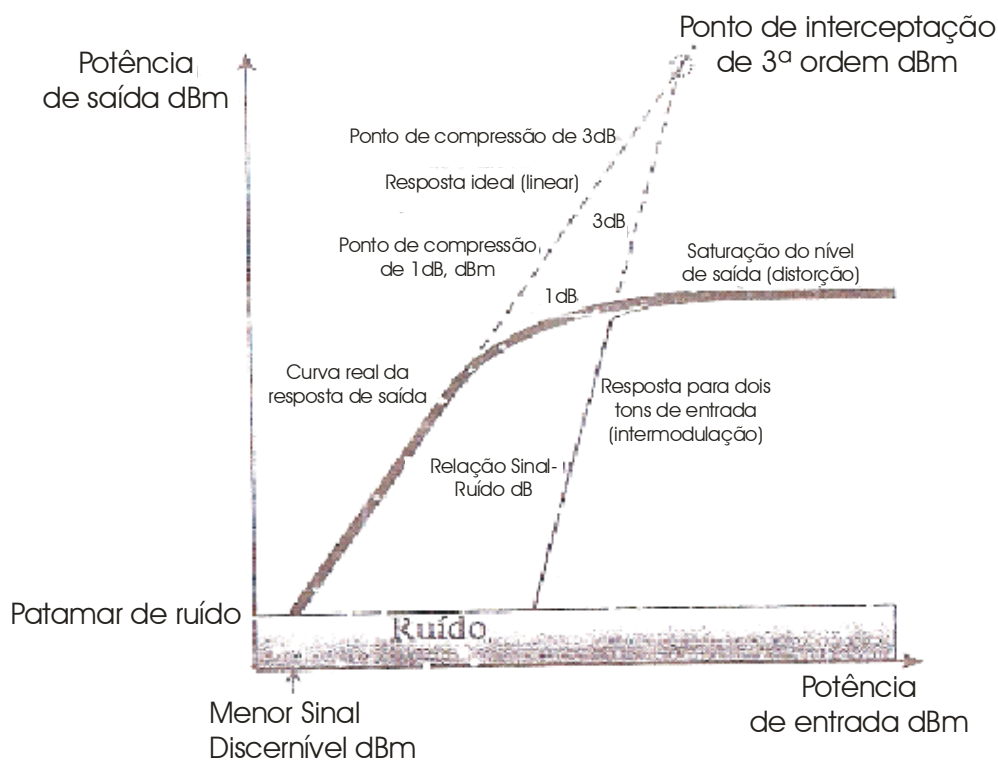


Figura 25 - Curva Pin x Pout do amplificador.

Observe na figura os dois eixos coordenados. Na abscissa há o nível de potência do sinal de entrada, expresso em dBm. Sinais com baixa potência estão à esquerda do eixo. Quanto mais à direita, maior a potência do sinal de entrada.

Dentre os parâmetros que caracterizam um amplificador destacam-se: faixa de frequências de operação, ganho, potência máxima de saída, sensibilidade, figura de ruído, ponto de compressão de 1dB, ponto de compressão de 3dB, ponto de interceptação de 3ª ordem, faixa dinâmica livre de espúrios, distorção, VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), taxa de onda estacionária máxima na entrada e consumo.

O Amplificador modelo 100A250A, ilustrado na Figura 26, possui uma larga banda de frequências, alto ganho e moderada potência de saída. Utiliza um circuito estável de baixa distorção, permitindo operação com qualquer impedância de carga. Quando usado com um gerador de RF, fornece um mínimo de 100 W de saída.



Figura 26 - Amplificador modelo 100A250A.

Tabela 3 – Especificações do AR 100A250A.

Potência máxima de saída	100W
Entrada para razão de saída	1.0mW máximo
Resposta de frequências	10KHz – 250MHz
Impedância de entrada	50Ω
Impedância de saída	50Ω

O modelo 250W1000A, ilustrado na Figura 27, é um amplificador portátil que fornece uma potência de 250W de RF.



Figura 27 – Amplificador modelo 250W1000A.

Tabela 4 – Especificações do AR 250W1000A.

Potência máxima de saída	250W
Entrada para razão de saída	1,0 mW
Resposta de frequência	80 KHz – 1000MHz
Impedância de entrada	50Ω
Impedância de saída	50Ω

O amplificador modelo 1000A250, ilustrado na Figura 28, é um amplificador de estado sólido, banda larga e alto ganho, fornecendo uma potência de 1200W de RF.



Figura 28 – Amplificador modelo 1000A250.

Tabela 5 – Especificações do AR 1000A250.

Potência máxima de saída	1200W
Entrada para razão de saída	1,0 mW máximo
Resposta de frequência	100 kHz – 250MHz
Impedância de entrada	50Ω
Impedância de saída	50Ω

Wattímetro

O wattímetro, descrito no Capítulo 2, é um instrumento que se aplica à medição de potência elétrica. Há wattímetros específicos para cada faixa de frequência, desde Áudio até Rádio-Frequência. O interesse dessa dissertação é o wattímetro empregado para medida de RF, como o ilustrado na Figura 29, ou seja, frequências na faixa de 450 kHz a 2,3 GHz.



Figura 29 – Wattímetro.

Atenuador

Esta montagem usa o artifício da leitura indireta da potência, ou seja, a leitura obtida no medidor de potência, que é a referência do sistema de calibração, representa uma fração da potência real na saída do Amplificador, que é aquela lida no wattímetro, uma vez que este sinal está sendo atenuado em 30 dB, o que corresponde a uma atenuação de 1000 vezes (ver Tabela abaixo).

Em outras palavras, se, na entrada do atenuador tem-se um sinal de 100W, na saída ter-se-á $100W \div 1000 = 100mW$, podendo-se assim concluir que, quando o medidor de potência estiver indicando 100 mW, o wattímetro deverá está indicando 100W.

			0 dBm	→	1 mW	
0	+	10	=	10 dBm	→	10 mW = 1 x 10
10	+	10	=	20 dBm	→	100 mW = 10 x 10
20	+	10	=	30 dBm	→	1000 mW = 100 x 10

Na prática, o valor da atenuação sofre alterações com a mudança de frequência, não permanecendo estável em 30,00 dB para todas as frequências empregadas, sendo por isso necessário calibrar previamente o atenuador. Por exemplo, o atenuador modelo 8325, ilustrado na Figura 30, depois de calibrado na frequência de 100MHz, apresentou uma atenuação de 30,25dB, que corresponde a um Fator de Atenuação de 1059,254 (ver detalhes de cálculos no Apêndice 1). Então, para uma potência de 100W na saída do amplificador de potência, o medidor de potência indicará: $100 \div 1059,254 = 94,40 \text{ mW}$, ou seja, quando se obtiver uma leitura de 94,40 mW no medidor de potência, o Wattímetro 43 deverá indicar $100\text{W} \pm 5\% \text{ F.S}$ (escala cheia).



Figura 30 – Atenuador 8325.

Tabela 6 – Especificação do Atenuador de RF – Modelo 8325.

Exatidão:	$\pm 0.5 \text{ dB}$ (Dados de Calibração para 30, 100, 200, 300, 400, e 500 MHz com exatidão de $\pm 0.2 \text{ dB}$)
Faixa de Temperatura:	-40°C to $+45^\circ\text{C}$
Atenuação:	30 dB
Conector:	LC (F) e N (F)
Faixa de Frequência e VSWR:	Entrada 1.1 max. DC to 500 MHz
Dimensões:	23 15/16" L x 17 3/16" H x 7 1/8" W (595 x 437 x 181 mm)
Razão de potência:	1000 W contínuo
Peso:	57 lbs. (26 kg)



Figura 31 - Atenuador modelo 8357-300.

Tabela 7 – Especificação do modelo 8357-300.

Exatidão:	±0.5 dB (Dados de Calibração para 30, 100, 200, 300, 400, e 500 MHz com exatidão de ±0.2 dB)
Faixa de Temperatura:	-40°C to +45°C
Atenuação:	30 dB
Conector:	Tipo QC (Fêmea N normalmente alimentado)
Faixa de frequência e VSWR:	Entrada 1.1 max. DC to 500 MHz
Dimensões:	17 1/2" L x 8 1/2" H x 5 15/16" W (445 x 216 x 151 mm)
Razão de potência:	500 W contínuo
Peso:	25 lbs. (11 kg)

Sensor de Potência (Agilent E4412A)

É o dispositivo que permite que o medidor de potência (Figura 32) quantifique a potência da amostra do sinal, a partir de um nível de tensão DC equivalente, obtido por meio de conversão térmica. Os sensores de potência são detectores a diodo, conforme descrito no Capítulo 2, sensíveis a sinais de RF (10 MHz a 18 GHz), com uma larga faixa de nível de potência (-70 dBm a +20 dBm / 100 pW a 100 mW).

Tabela 8 – Especificação do Sensor de Potência.

	Limites		Comentários
Linearidade de Potência	25 ± 5° C	Zero a	Calibração em 0 dBm na temperatura ambiente. -70 dBm a +10 dBm +10 dBm a 20 dBm
100 pW a 10 mW	55° C		
10 mW a 100 mW	± 3 %	± 7 %	
	± 4,5 %	± 10 %	
Temperatura de operação	0 a 55° C		
Frequência	Incerteza		
10 Mhz a 1,0 Ghz	1.8%		

Medidor de Potência (Agilent E4418B)



Figura 32 - Medidor e Sensor de Potência.

Especificação do Medidor de Potência

Medidor

Faixa de Frequências: 100 KHz a 110 GHz

Faixa de Potência: -70dBm a 44 dBm (100 pW a 25 W).

Indicador (unidades)

Absoluta: Watts ou dBm

Relativa: Porcentagem ou dB

Resolução do indicador

Resolução selecionável: 1,0, 0,1, 0,01 e 0,001 no modo logarítmico, ou 1, 2, 3 e 4 dígitos significativos no modo Linear.

Conector

Tipo N (fêmea), 50 Ω

Exatidão

Absoluta: $\pm 0,02$ dB (logarítmico) ou $\pm 0,5$ % (linear)

Relativa: $\pm 0,04$ dB (logarítmico) ou $\pm 1,0$ % (linear)

Velocidade das Medições

Normal: 20 leituras/ segundo

x²: 40 leituras/ segundo

Rápido(Fast): 200 leituras/ minuto

Potência de Referência (Power Reference)

Saída de Potência: 1,00 mW (0,0 dBm).

Exatidão: $\pm 0,5\%$ no pior caso.

3.2**Descrição da metodologia de calibração proposta**

Descrevem-se a seguir os passos necessários para a nova metodologia proposta para a calibração de um detector de potência até 100W, empregando um Gerador de Sinais e o Amplificador de Potência, ilustrados na Figura 33. Deve-se notar, inicialmente, que o detector de potência é o componente que determina a faixa de frequência e a potência de escala cheia a ser medida.

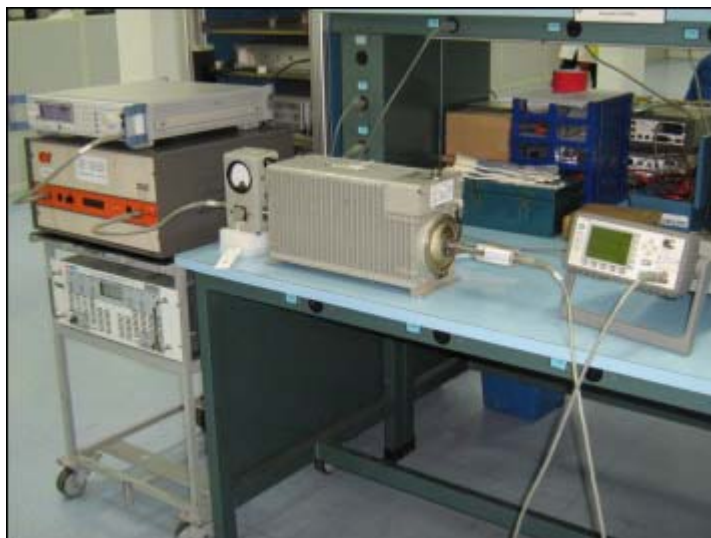


Figura 33 – Nova metodologia de calibração proposta.

São necessários os seguintes instrumentos (ou similares):

- Gerador de Sinais R&S modelo SML-1;

- Amplificador de Potência AR modelo 100A250A;
- Medidor de Potência (Agilent E4418B) ou similar;
- Sensor de Potência (Agilent E 4412 A) ou similar;
- Atenuador de Potência 8325 ou similar.

Passo 1: Ligar o Medidor de potência (E4418B) e executar o procedimento de calibração do Sensor de potência (E 4412 A), conforme descrito no manual de operação do fabricante.

Passo 2: Conectar os instrumentos como na figura 34:

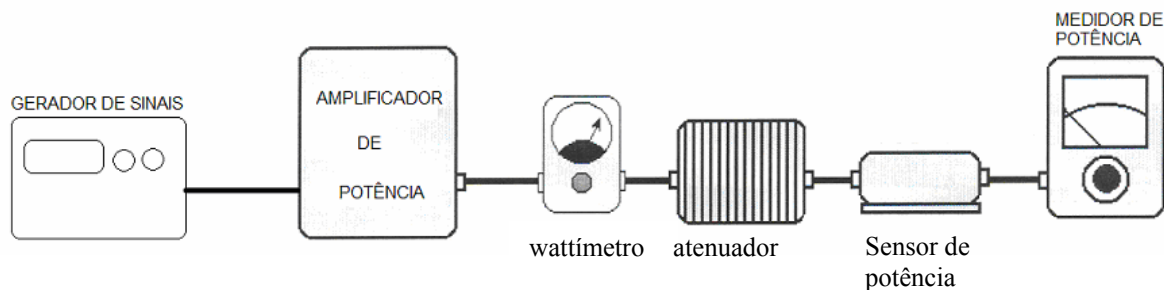


Figura 34 – Montagem para a calibração do detector de potência.

NOTAS:

- O conjunto formado pelo gerador de sinais (SML-01) e o amplificador de potência (AR 100A250A) será ajustado de acordo com a faixa de frequência e potência do detector a ser calibrado.
- O Atenuador 8325 precisa ser previamente calibrado para cada uma das frequências que serão empregadas, calculando-se também o seu Fator de Atenuação (Apêndice 1).

Passo 3: Ligar o gerador de sinais à entrada do amplificador, a saída do amplificador a um dos lados do wattímetro modelo 43, e assim por diante como mostrado na figura 34; ajustar o controle de ganho do amplificador para o valor máximo e aumentar o nível de saída do gerador (até um máximo de 1mw ou 0dBm), até que se alcance o valor de potência da escala cheia do elemento detector escolhido, fazendo a leitura no Medidor de Potência, compensada pela

atenuação do Atenuador 8325 para a respectiva frequência. A leitura no Wattímetro será de escala cheia $\pm 5\%$.

Passo 4: Repetir o Passo 3 em pontos próximos de 30% e 60% da escala de potência e verificar se a linearidade permanece em $\pm 5\%$.

Passo 5: Repetir o Passo 3 para outras frequências no início e no final da faixa de resposta do elemento detector.

Passo 6: Calibrar o elemento detector em ambos os sentidos (direto e inverso). Para isto, deve-se girar o detector 180°.

NOTAS:

- O elemento detector possui um potenciômetro para ajuste, que pode ser acessado retirando-se a tampa de alumínio.
- Um contador HP 5340A, que possibilita leituras de 10Hz a 18GHz, pode ser utilizado para monitoração da frequência do sinal transmitido. Para tanto, deve-se desconectar o Sensor de Potência e o Medidor de Potência e conectar o contador na saída do Atenuador 8325.

No capítulo a seguir, descreve-se o cálculo da Incerteza de Medição da Cadeia de Calibração Proposta.