

4. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento do Memorial de Cálculo e do Certificado de Calibração. Foram analisados e validados todos os dados fornecidos pelo programa, com a finalidade de: i) confirmar sua concordância com o método manual; e ii) avaliar o desempenho do equipamento e do programa por outros técnicos, assegurando, desta forma, a garantia da qualidade e confiabilidade metrológica.

4.1 Memorial de Cálculo

O Memorial de Cálculo apresenta os dados estatísticos da calibração, ou seja, média, desvio padrão, incerteza do tipo “A”, incertezas do tipo “B”, incerteza combinada, graus efetivos de liberdade, fator de abrangência “K” e a incerteza expandida.

O cálculo das incertezas de medição envolvidas na calibração baseou-se, fundamentalmente, no Guia para Expressão da Incerteza de Medição [22], levando-se em conta recomendações específicas do curso de Mestrado em Metrologia [23] e procedimentos internos do Centro Técnico Aeroespacial [24].

No caso particular do PAME-RJ, a planilha do Memorial de Cálculo, antes do advento dessa ferramenta computacional, era preenchida manualmente pelo técnico responsável pela calibração. Naquela ocasião, eram feitas três (03) medições por faixa. Atualmente, são feitas dez (10) medições, podendo ser alteradas, de acordo com a necessidade do cliente. Na planilha, estão contidas todas as fórmulas e a ferramenta foi instruída a enviar todas as medidas para as células determinadas. Com isso, a planilha, ao receber estes dados, processa todos os cálculos de forma automática. Os cálculos foram efetuados com base nas fórmulas da tabela 4.1. A planilha é composta de 21 tabelas (4.2 a 4.22), tendo sido utilizado o seguinte código de cores para as suas células:

- Amarelo – Valores fixos
- Verde – Medidas Experimentais
- Branco – Dados calculados
- Vermelho – Unidades
- Azul – Termos

Tabela 4.1 – Fórmulas utilizadas no Memorial de Cálculo

Função	Fórmula	Observações
Média	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	Onde n é o numero de medições, e x_i , $i=1\dots n$, são as diversas medidas obtidas.
Erro	$E = V_{vc} - \bar{x}$	V_{vc} é valor verdadeiro convencional.
Desvio Padrão	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	Para uma série de “n” medições de um mesmo mensurando, a grandeza “s”, que caracteriza a dispersão dos resultados.
Incerteza do tipo “A”	$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$	A Incerteza Tipo “A” é obtida pela análise estatística de uma série de observações, para um nível de confiança de 68,27%.
Incerteza Combinada	$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_{b1}^2 + u_{b2}^2 + u_{b3}^2}$	Onde u_a é a incerteza do tipo “A”. u_{b1} é a resolução do mensurando, que é uma incerteza do tipo “B”. u_{b2} é a especificação do manual, que é uma incerteza do tipo “B”. u_{b3} é a incerteza que consta dos Certificado de Calibração dos padrões, que é uma incerteza do tipo “B”.
Graus efetivos de liberdade individual	$\nu_i = G_{Student}^{95,45\%}(K_i)$	$F_{Student}^{95,45\%}$ é a Função Distribuição t-Student. $G_{Student}^{95,45\%}$ é a função inversa de $F_{Student}^{95,45\%}$.
Graus efetivos de liberdade	$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{(c_i u_i)^4}{\nu_i}}$	“m” é o numero de fatores que influenciam na incerteza. c_i é um coeficiente de sensibilidade. u_i é uma incerteza do tipo A ou B.
Cálculo do Fator de Abrangência	$K_{eff} = F_{Student}^{95,45\%}(\nu_{eff})$	A Função Distribuição t-Student é referenciada a um nível de confiança de 95,45%.
Cálculo da Incerteza Expandida da Faixa	$U_{Exp} = K_{eff} \cdot u_c$	A incerteza Expandida é calculada para um nível de confiança de 95,45%.

As figuras 77 e 78 são as folhas de rosto do Memorial de Cálculo e apresentam os principais dados do instrumento calibrado, dos padrões e procedimentos utilizados, do Laboratório, bem como um resumo dos resultados obtidos nas diversas tabelas conexas, de 4.2 a 4.22. Abaixo, temos os significados dos termos usados nessas tabelas:

- a) “Faixa” = faixa de trabalho do padrão.
- b) “Med” = 10 medidas do mensurando.
- c) “Média” = média aritmética das 10 medidas do mensurando.
- d) “Erro_Max Permitido” = Erro máximo permitido, de acordo com o fabricante.
- e) Teste = verificação se o erro obtido nas medidas está abaixo do máximo permitido.

Obs: Para os itens “d” e “e” o laboratório do PAME-RJ considera o erro máximo, conforme Guia de Serviço, para um ano.

- f) “Des Pad” = desvio padrão referente às 10 medidas do mensurando.
- g) “Incerteza do Tipo A” = desvio padrão dividido pela raiz quadrada do número de medidas do mensurando.
- h) “Resolução do mensurando” = incerteza tipo “B” da resolução do menor dígito significativo do mensurando, retirado do manual do fabricante.
- i) “Valor convencional do padrão” = Valor da média do padrão descrito no Certificado de Calibração, ou seja, seu valor mais provável.
- j) “Incerteza do padrão” = incerteza tipo “B” do padrão a um nível de confiança de 68,27%, que foi retirado do certificado de calibração e dividido por seu fator de abrangência correspondente.
- k) “Graus de liberdade do padrão” = número de graus de liberdade do padrão, que foi retirado do certificado de calibração do padrão, para que possa ser utilizado posteriormente no cálculo do número de graus efetivos da calibração.

- l) “Especificações do Manual do Padrão” = incerteza tipo “B” do padrão, referente à tendência do padrão para 1 ano, a um nível de confiança de 68,27%, que foi retirado das especificações do manual do padrão a um nível de confiança de 99% e dividido por um fator de abrangência de 2,576 para que se pudesse chegar aos 68,27% desejados para a combinação.
- m) “Incerteza comb uc” = incerteza combinada de todas as componentes especificadas anteriormente, a um nível de confiança de 68,27%.
- n) “Graus efetivos de liberdade V_{eff} ” = número de graus de liberdade efetivos, através da fórmula de Welch-Satterthwaite, sendo calculado levando-se em consideração todas as incertezas e seus respectivos graus de liberdade.
- o) “K” = fator de abrangência que será multiplicado posteriormente pela incerteza combinada para que se possa chegar ao valor da incerteza expandida, a um nível de confiança de 95,45%.
- p) “Incerteza Expandida” = incerteza Expandida, a um nível de confiança de 95,45%, que nada mais é do que a multiplicação da incerteza combinada versus seu fator de abrangência “K”.
- q) “Valor verdadeiro convencional” = valor supostamente verdadeiro.
- r) “Valor indicado” = Valor lido no instrumento.
- s) “Incerteza expandida de medição” = incerteza expandida para um nível de confiança de 95,45%.
- t) “Graus efetivos de liberdade” = a diferença entre o número de pontos experimentais e o número de parâmetros calculados no ajuste.



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
 COMANDO DA AERONÁUTICA
 DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO



PARQUE DE MATERIAL DE ELETRÔNICA DA AERONÁUTICA DO RIO DE JANEIRO
 SUBDIVISÃO DE METROLOGIA
 MEMORIAL DE CÁLCULO DO MULTÍMETRO DIGITAL 34401^A

1 - DADOS DO LABORATÓRIO:

1.1 - Data: 31/10/2006
 1.2 - Executado por: Adolfo Dias - 3S BET
 1.4 - Temperatura Ambiente: 22,0 °C
 1.5 - Umidade relativa do Ar: 50,0 %

2 - DADOS DO INSTRUMENTO:

2.1 - Solicitante: LSC-BR
 2.2 - Endereço: CINDACTA I
 2.3 - Ordem de Serviço: 115784111
 2.4 - Data da Ordem de Serviço: 04-jan-00
 2.5 - Nomenclatura: MULTÍMETRO DIGITAL
 2.6 - Modelo: HP34401A
 2.7 - Número de Série: 1234
 2.8 - Fabricante: AGILENT
 2.9 - Certificado: 36455555
 2.10 - Ajuste ou Reparos realizados durante a Calibração:

Não realizado.

Fig. 77 – Folha de Rosto 1 do Memorial de Cálculo

SUBDIVISÃO DE METROLOGIA**MEMORIAL DE CÁLCULO DO MULTÍMETRO DIGITAL 34401A****3 - INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA CALIBRAÇÃO:****3.1 - Padrão de referência nº 1:****3.1.1 - Modelo: 5700A CALIBRADOR****3.1.2 - Número de Série: 3456333****3.1.3 - Certificado Nº: 35967971****3.2 - Padrão de referência nº 2:****3.2.1 - Modelo: 5725A AMPLIFICADOR****3.2.2 - Número de Série: 456****3.2.3 - Certificado Nº: 4498545****3.3 - Padrão de referência nº 3:****3.3.1 - Modelo: 33120A GERADOR DE FUNÇÕES ARBITRÁRIO****3.3.2 - Número de Série: 789****3.3.3 - Certificado Nº: 5324155****4 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO:****NTS 9-501-9 PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO DE MULTÍMETROS DIGITAIS
MODELO HP 34401A****5 - RESULTADO OBTIDO DURANTE O CICLO DE MEDIÇÃO:**

Calibração efetuada, de acordo com as tabelas 1 a 21, em anexo.

Fig. 78 – Folha de Rosto 2 do Memorial de Cálculo

4.1.1 – Calibração de Zero “Offset” de Corrente Contínua

Para a calibração de Zero “Offset” de Corrente Contínua (item 3.2.1.1), foram feitas dez (10) medidas nas faixas de 10 mA, 100 mA, 1A e 3A, além dos respectivos cálculos de médias e erros, conforme tabela 4.2. Se houver algum erro, superior ao máximo permitido, no manual técnico de serviço, será necessário realizar um ajuste.

Tabela 4.2 – Calibração de Zero “Offset” de Corrente Contínua

Faixa	1ª Med	2ª Med	3ª Med	4ª Med	5ª Med	6ª Med	7ª Med	8ª Med	9ª Med	10ª Med	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste	
mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	mA	STATUS
10,00	0,0000001	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,0020000	OK	
100,00	0,00000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000001	0,0050000	OK	
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	STATUS
1,00	0,0000044	0,0000005	0,0000060	0,0000062	0,0000065	0,0000052	-0,0000019	0,0000024	0,0000044	0,0000058	0,0000039	0,0000039	0,0001000	OK	
3,00	0,0000013	0,0000063	0,0000063	0,0000038	0,0000013	0,0000025	0,0000050	0,0000050	0,0000038	0,0000050	0,0000040	0,0000040	0,0006000	OK	

4.1.2 – Calibração de Zero “Offset” de Tensão Contínua

Para a calibração de Zero “Offset” de Tensão Contínua (item 3.2.1.2), foram feitas dez (10) medidas nas faixas de 10 mV, 1 V, 10 V, 100 V e 1000 V, além dos respectivos cálculos de médias e erros, conforme tabela 4.3. Caso seja encontrado algum erro maior que o máximo permitido, no manual técnico de serviço, será necessário realizar um ajuste nas constantes de calibração.

Tabela 4.3 – Calibração de Zero “Offset” de Tensão Contínua

Faixa	1ª Med	2ª Med	3ª Med	4ª Med	5ª Med	6ª Med	7ª Med	8ª Med	9ª Med	10ª Med	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste	
mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	STATUS
100,00	0,0000015	0,0000017	0,0000007	0,0000005	0,0000005	0,0000003	0,0000002	0,0000005	0,0000012	0,0000012	0,0000008	0,0000008	0,0035000	OK	
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	STATUS
1,00	0,0000006	0,0000009	0,0000014	0,0000010	0,0000015	0,0000008	0,0000000	0,0000004	0,0000006	0,0000014	0,0000009	0,0000009	0,0000070	OK	
10,00	0,0000013	-0,0000013	0,0000013	0,0000025	0,0000000	0,0000025	0,0000025	0,0000013	-0,0000013	0,0000025	0,0000011	0,0000011	0,0000500	OK	
100,00	0,0000130	0,0000380	0,0000250	-0,0000130	0,0000250	0,0000000	0,0000250	0,0000250	0,0000760	0,0000000	0,0000214	0,0000214	0,0006000	OK	
1.000,00	0,0000000	0,0001300	0,0001300	0,0000000	-0,0001300	0,0000000	0,0002500	0,0001300	0,0001300	0,0000000	0,0000640	0,0000640	0,0100000	OK	

4.1.3 – Calibração de Zero “Offset” de Resistência

Para a calibração de Zero “Offset” de Resistência (item 3.2.1.3), foram feitas dez (10) medidas nas faixas de 100 Ω , 1 Ω , 10 Ω , 100 k Ω , 1 M Ω , 10 M Ω e 100 M Ω , além dos respectivos cálculos de médias e erros, conforme tabela 4.4. Existindo erro superior ao máximo permitido pelo manual do fabricante, será necessário realizar um ajuste.

Tabela 4.4 – Calibração de Zero “Offset” de Resistência (4 Fios)

Faixa	1ª Med	2ª Med	3ª Med	4ª Med	5ª Med	6ª Med	7ª Med	8ª Med	9ª Med	10ª Med	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	STATUS
100,00	0,002900	0,002576	0,001120	-0,002601	-0,002439	-0,002066	-0,000908	0,001804	0,003186	0,003484	0,000706	0,000706	0,004000	OK
k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	K Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	STATUS
1,00	-0,00212	-0,00224	-0,00187	0,00000	0,00374	0,00361	0,00299	0,00025	-0,00249	-0,00212	-0,00002	-0,00002	0,01000	OK
10,00	0,02500	0,02370	0,00870	-0,01120	-0,02370	-0,02750	-0,02120	-0,01620	-0,02370	-0,01750	-0,00836	-0,00836	0,10000	OK
100,00	0,26100	0,28600	0,32300	0,38600	0,27400	0,27400	0,26100	0,05000	-0,14900	-0,06200	0,19040	0,19040	1,00000	OK
M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	M Ω	STATUS
1,00	0,00500	0,00500	0,00250	0,0250	0,0030	0,00750	0,00750	0,00750	0,00250	0,00250	0,0055	0,0055	0,0100	OK
10,00	0,500	0,400	0,500	0,3400	0,4400	0,500	0,400	0,5000	0,5000	0,400	0,470	0,470	0,100	OK
100,00	0,24000	0,25000	0,23000	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000	0,1600	0,1000	0,1500	0,2000	0,200	0,5000	OK

4.1.4 – Calibração de Tensão Contínua

A calibração de Tensão Contínua (item 3.2.2.1) é feita em duas etapas. Inicialmente, são feitas dez (10) medidas nas faixas de -100 mV, 1 V, -1 V, 10 V, -10 V, 100 V, -100 V, 1000 V e -1000 V, além dos respectivos cálculos das médias, erros e desvios padrões, conforme tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Calibração Tensão Contínua Parte 1

Faixa	1ºMed	2º Med	3ºMed	4º Med	5ºMed	6º Med	7ºMed	8º Med	9ºMed	10ºMed	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste	Des Pad
mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	MV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	STATUS	mV
100,00	100,000	100,000	100,000	100,001	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	0,000	0,009	OK	0,00013
-100,00	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-100,002	-0,002	-0,009	OK	0,00018
V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	STATUS	V
1,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	OK	0,000001
-1,00	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	-1,0000	0,0000	0,0000	OK	0,000001
10,00	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000	0,0000	0,0004	OK	0,000001
-10,00	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	-10,0000	0,0000	-0,0004	OK	0,000001
100,0	99,9999	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	0,0000	0,0051	OK	0,00002
-100,0	-99,9999	-100,0000	-100,0000	-100,0000	-100,0001	-100,0000	-100,0000	-100,0000	-100,0000	-100,0000	-100,0000	0,0000	-0,0051	OK	0,00004
1.000	999,9997	999,9999	999,9994	999,9996	1.000,0000	999,9997	999,9996	1.000,0000	1.000,0000	999,9996	999,9997	-0,0003	0,0550	OK	0,00021
-1.000	-1.000,001	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	-1.000,00	0,0001	-0,0550	OK	0,00140

Posteriormente, são calculadas as incertezas do tipo “A” e registradas as resoluções do mensurando, para cada faixa. Em seguida, com base nas informações fornecidas pelo Certificado de Calibração do padrão sobre o seu valor convencional, a sua incerteza e seus graus de liberdade, bem como nas especificações de seu manual, calcula-se a incerteza combinada, os graus de liberdade e o fator de abrangência para obter, em cada faixa, a respectiva incerteza expandida para um nível de confiança de 95,45%, de acordo com a tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Calibração Tensão Contínua Parte 2

Faixa	Incerteza Tipo A	Resolução do mensurando	Valor convencional do Padrão	Incerteza do Padrão (Certificado) para (68,27%) Tipo B	Graus de liberdade do Certificado do padrão	Especificações do Manual do Padrão para (68,27%) Tipo B	Incerteza comb. uc (68,27%)	Graus efetivos de liberdade Veff	K	Incerteza expandida da faixa para (95,45%) U
mV	mV	mV	mV	mV		mV	mV			mV
100,00	0,0000401	0,0000500	100,0012000	0,0010000	10,000,0000000	0,0006599	0,0011998	20,665,82	2,0001244	0,0024
-100,00	0,0000584	0,0000500	-99,9991000	0,0010000	5,0000000	0,0006599	0,0012006	10,38848	2,2836821	0,0027
V	V	V	V	V		V	V			V
1,00	0,0000001	0,0000005	1,0000020	0,0000100	7,0000000	0,0000036	0,0000106	8,9395568	2,3664234	0,000025
-1,00	0,0000001	0,0000005	-1,0000020	0,0000100	10,0000000	0,0000036	0,0000106	12,7713040	2,2313543	0,000024
10,00	0,0000010	0,0000050	9,9999890	0,0001000	13,0000000	0,0000326	0,0001053	15,9864081	2,1811684	0,00023
-10,00	0,0000005	0,0000050	-9,9999890	0,0000300	16,0000000	0,0000326	0,0000446	78,1090941	2,0325660	0,000091
100,00	0,0000063	0,0000500	99,9993500	0,0008000	19,0000000	0,0003882	0,0008906	29,1877692	2,0899733	0,0019
-100,00	0,0000113	0,0000500	-99,9993500	0,0006000	22,0000000	0,0003882	0,0007165	44,7304779	2,0584366	0,0015
1.000,00	0,0000662	0,0005000	1.000,0030000	0,0070000	25,0000000	0,0045031	0,0083386	50,3409751	2,0512516	0,017
-1.000,00	0,0004435	0,0005000	-1.000,0030000	0,0060000	28,0000000	0,0045031	0,0075316	69,5114133	2,0368861	0,015

A tabela 4.7 resume a calibração de tensão, de forma a apresentar os resultados de maior interesse ao cliente, que constarão no Certificado de Calibração, ou seja, o valor verdadeiro convencional do padrão, o valor indicado pelo mensurando, a incerteza expandida de medição, o fator de abrangência e os graus efetivos de liberdade.

Tabela 4.7 – Resumo da Calibração Tensão

Valor Verdadeiro Convencional (V)	Valor Indicado (V)	Incerteza Expandida de Medição (V)	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade ν_{eff}
mV	mV	mV		
100,00	100,000	0,0024	2,00012	Infinito
-100,00	-100,002	0,0027	2,28368	10,39
V	V	V		
1,00	1,000004	0,00003	2,36642	8,94
-1,00	-1,000005	0,00002	2,23135	12,77
10,00	9,999988	0,00023	2,18117	15,99
-10,00	-9,999989	0,00009	2,03257	78,11
100,00	99,99998	0,0018	2,08997	29,19
-100,00	-99,99999	0,00145	2,05844	44,73
1.000,00	999,9997	0,017	2,05125	50,34
-1.000,00	-999,9999	0,015	2,03689	69,51

4.1.5 – Calibração de Tensão Alternada

A calibração de Tensão Alternada (item 3.2.2.2) é feita em duas etapas. Primeiramente, são feitas dez (10) medições nas faixas de

- i) 100 mV, 1V e 10 V, com ciclos de frequência de 10 Hz, 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz e 300 kHz;
- ii) 100V, com ciclos de frequência de 10 Hz, 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz e 100 kHz;
e
- iii) 750V, com ciclos de frequência de 1 kHz e 50 kHz.

São feitos, em seguida, os cálculos das médias e dos erros máximos permitidos para cada faixa de medição, conforme tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Calibração de Tensão Alternada Parte 1

Faixa	Freq	1ª Med	2ª Med	3ª Med	4ª Med	5ª Med	6ª Med	7ª Med	8ª Med	9ª Med	10ª Med	Média	Erro	Erro Max Perm	Teste
mV	Hz	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	mV	STATUS
100,00	10,00	99,99439	99,99477	99,99481	99,99420	99,99477	99,99437	99,99348	99,99426	99,99403	99,99293	99,99420	-0,00580	0,38998	OK
	1 k	99,99922	99,99994	99,99937	100,00061	99,99948	99,99943	99,99969	100,00017	100,00027	99,99954	99,99977	-0,00023	0,10000	OK
	20 k	100,00247	100,00272	100,00363	100,00240	100,00312	100,00359	100,00293	100,00230	100,00384	100,00365	100,00307	0,00307	0,10000	OK
	50 k	100,00099	100,00171	100,00057	100,00129	100,00173	100,00135	100,00137	100,00217	100,00080	100,00209	100,00141	0,00141	0,17000	OK
	100 k	99,95851	99,95864	99,95809	99,95792	99,95816	99,95820	99,95868	99,95851	99,95655	99,95811	99,95814	-0,04186	0,67975	OK
	300 k	99,42819	99,42800	99,42747	99,42707	99,42654	99,42719	99,42880	99,42650	99,42669	99,42808	99,42745	-0,57255	4,47710	OK
V	Hz	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	STATUS
1,00	10,00	0,99992	0,99991	0,99989	0,99990	0,99990	0,99989	0,99990	0,99990	0,99989	0,99990	0,99990	-0,00010	0,00380	OK
	1 k	0,99997	0,99998	0,99997	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	-0,00003	0,00090	OK
	20 k	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	-0,00003	0,00090	OK
	50 k	0,99980	0,99980	0,99980	0,99980	0,99979	0,99980	0,99980	0,99980	0,99980	0,99980	0,99980	-0,00020	0,00170	OK
	100 k	0,99954	0,99954	0,99954	0,99955	0,99954	0,99955	0,99954	0,99955	0,99954	0,99955	0,99954	-0,00046	0,00680	OK
	300 k	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	1,00076	0,00076	0,04503	OK
10,00	10,00	9,99896	9,99907	9,99911	9,99908	9,99904	9,99903	9,99915	9,99908	9,99905	9,99902	9,99906	-0,00094	0,03800	OK
	1 k	9,99996	9,99996	9,99993	9,99995	9,99994	9,99997	9,99995	9,99998	9,99994	9,99996	9,99995	-0,00005	0,00900	OK
	20 k	9,99999	9,99998	9,99999	9,99997	9,99999	9,99997	9,99998	9,99998	9,99999	9,99998	9,99998	-0,00002	0,00900	OK
	50 k	9,99886	9,99887	9,99886	9,99886	9,99884	9,99885	9,99885	9,99885	9,99887	9,99884	9,99886	-0,00114	0,01700	OK
	100 k	9,99878	9,99879	9,99880	9,99879	9,99880	9,99880	9,99880	9,99880	9,99880	9,99880	9,99880	-0,00120	0,06799	OK
	300 k	10,03881	10,03885	10,03889	10,03890	10,03893	10,03893	10,03894	10,03894	10,03897	10,03896	10,03891	0,03891	0,45156	OK
100,00	10,00	100,00217	100,00189	100,00213	100,00323	100,00167	100,00277	100,00187	100,00262	100,00279	100,00247	100,00236	0,00236	0,38001	OK
	1 k	100,00159	100,00165	100,00137	100,00152	100,00148	100,00148	100,00150	100,00144	100,00135	100,00144	100,00148	0,00148	0,09000	OK
	20 k	100,00615	100,00605	100,00609	100,00615	100,00624	100,00613	100,00611	100,00622	100,00637	100,00630	100,00618	0,00618	0,09000	OK
	50 k	99,99867	99,99871	99,99879	99,99899	99,99886	99,99882	99,99892	99,99903	99,99892	99,99888	99,99886	-0,00114	0,17000	OK
	100 k	99,99830	99,99856	99,99793	99,99864	99,99776	99,99858	99,99795	99,99845	99,99856	99,99836	99,99831	-0,00169	0,67999	OK
	750,00	1 k	750,05175	750,05196	750,05519	750,05347	750,05713	750,05433	750,05691	750,05842	750,06186	750,06078	750,05618	0,05618	0,67503
50 k		750,11285	750,11479	750,11737	750,12146	750,12211	750,12318	750,12447	750,12641	750,12942	750,12598	750,12180	0,12180	1,27515	OK

Em seguida, são calculados o desvio padrão e as incertezas do tipo “A” e registradas as resoluções do mensurando, para cada faixa. Posteriormente, com base nas informações fornecidas pelo Certificado de Calibração do padrão sobre o seu valor convencional, a sua incerteza e seus graus de liberdade, bem como nas especificações de seu manual técnico, calcula-se a incerteza combinada, os graus de liberdade e o fator de abrangência para obter, em cada faixa, a respectiva incerteza expandida para um nível de confiança de 95,45%, de acordo com a tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Calibração de Tensão Alternada Parte 2

Faixa	Des Pad	Incerteza Tipo A	Valor convencional do Padrão	Incerteza do Padrão (Certificado) para (68,27%) Tipo B	Graus de liberdade do Certificado do padrão	Resolução do mensurando	Especificações do Manual do Padrão para (68,27%) Tipo B	Incerteza comb. uc (68,27%)	Graus efetivos de liberdade Veff	K	Incerteza expandida da faixa para (95,45%) U
mV	mV	mV	mV	mV		MV	mV	mV			mV
100,00	0,00060	0,00019	100,00020	0,05000	30,00000	0,00005	0,02950	0,05806	54,52838	2,04737	0,11886
	0,00046	0,00014	100,00020	0,00900	40,00000	0,00005	0,00388	0,00980	56,29551	2,04564	0,02005
	0,00058	0,00018	99,99990	0,02000	50,00000	0,00005	0,00388	0,02037	53,84789	2,04828	0,04173
	0,00053	0,00017	100,00000	0,04000	60,00000	0,00005	0,00388	0,04019	61,13786	2,04182	0,08206
	0,00061	0,00019	100,00020	0,06000	70,00000	0,00005	0,01165	0,06112	75,37542	2,03388	0,12431
	0,00079	0,00025	100,00020	0,09000	80,00000	0,00005	0,01165	0,09075	82,70281	2,03095	0,18431
V	V	V	V	V		V	V	V			V
1,00	0,000009	0,000002	1,000002	0,000500	90,000000	0,000001	0,000272	0,000569	151,021394	2,016695	0,001148
	0,000001	0,000000	1,000001	0,000060	100,000000	0,000001	0,000003	0,000060	100,430934	2,025313	0,000122
	0,000001	0,000000	1,000001	0,000100	110,000000	0,000001	0,000003	0,000100	110,170593	2,022985	0,000202
	0,000001	0,000000	1,000001	0,000200	120,000000	0,000001	0,000008	0,000200	120,364064	2,021052	0,000405
	0,000003	0,000001	1,000003	0,000400	130,000000	0,000001	0,000031	0,000401	131,573435	2,019265	0,000810
	0,000001	0,000000	1,000003	0,000600	140,000000	0,000001	0,000058	0,000603	142,649899	2,017759	0,001216
10,00	0,000052	0,000012	9,999940	0,005000	150,000000	0,000005	0,002717	0,005691	251,699684	2,010011	0,011438
	0,000015	0,000005	9,999980	0,000600	160,000000	0,000005	0,000027	0,000601	160,699246	2,015749	0,001211
	0,000007	0,000002	9,999980	0,001000	170,000000	0,000005	0,000003	0,001000	170,012380	2,014813	0,002015
	0,000009	0,000003	10,000010	0,002000	180,000000	0,000005	0,000078	0,002002	180,545906	2,013985	0,004031
	0,000008	0,000001	10,000010	0,004000	190,000000	0,000005	0,000155	0,004003	190,573732	2,013248	0,008059
	0,000049	0,000011	10,000010	0,009000	200,000000	0,000005	0,000660	0,009024	202,157200	2,012453	0,018161
100,00	0,000496	0,000155	99,998200	0,050000	210,000000	0,000050	0,027174	0,056907	352,381575	2,007127	0,114220
	0,000091	0,000026	99,999890	0,007000	220,000000	0,000050	0,000388	0,007011	221,384045	2,011375	0,014102
	0,000100	0,000031	99,999890	0,020000	230,000000	0,000050	0,000388	0,020004	230,177347	2,010929	0,040226
	0,000116	0,000030	99,999890	0,020000	240,000000	0,000050	0,001553	0,020060	242,906220	2,010383	0,040329
	0,000316	0,000100	100,000200	0,050000	250,000000	0,000050	0,003882	0,050151	253,025560	2,009933	0,100799
750,00	0,003481	0,000986	749,998000	0,040000	260,000000	0,000500	0,027756	0,048699	571,244853	2,004390	0,097613
	0,005322	0,001361	750,000000	0,040000	270,000000	0,000500	0,004270	0,040253	276,896160	2,009101	0,080873

A tabela 4.10 resume a calibração de tensão alternada, de forma a apresentar os resultados de maior interesse ao cliente, que constarão no Certificado de Calibração (valor verdadeiro convencional do padrão, valor indicado pelo mensurando durante a calibração, a incerteza expandida da faixa de medição, o fator de abrangência e os graus efetivos de liberdade).

Tabela 4.10 – Resumo da Calibração de Tensão Alternada

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade v_{eff}
mV	mV	mV		
100,00	99,999	0,12	2,05	54,53
100,00	100,000	0,02	2,05	56,30
100,00	100,000	0,04	2,05	53,85
100,00	100,000	0,08	2,04	61,14
100,00	99,965	0,12	2,03	75,38
100,00	99,437	0,18	2,03	82,70
V	V	V		
1,00	1,00000	0,001	2,02	151,02
1,00	1,00000	0,001	2,03	100,43
1,00	1,00000	0,001	2,02	110,17
1,00	1,00000	0,001	2,02	120,36
1,00	1,00000	0,001	2,02	131,57
1,00	1,00000	0,001	2,02	142,65
10,00	10,0002	0,01	2,01	251,70
10,00	10,0002	0,0015	2,02	160,70
10,00	10,0001	0,0014	2,01	170,01
10,00	10,0001	0,0013	2,01	180,55
10,00	10,0001	0,011	2,01	190,57
10,00	10,0001	0,021	2,01	202,16
100,00	100,0003	0,11	2,01	352,38
100,00	100,0002	0,014	2,01	221,38
100,00	100,0011	0,044	2,01	230,18
100,00	100,0012	0,045	2,01	242,91
100,00	100,0013	0,10	2,01	253,03
750,00	750,060	0,10	2,00	Infinito
750,00	750,121	0,084	2,01	276,90

4.1.6 – Calibração de Corrente Contínua

A calibração de Corrente Contínua (item 3.2.3.1) é feita em duas etapas. Inicialmente, são feitas dez (10) medições nas faixas de 10 mA, -10 mA, 100 mA, -100 mA, 1 A, -1A, 2A e -2A, além dos respectivos cálculos de médias, erros e desvios padrões, conforme tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Calibração de Corrente Contínua Parte 1

Faixa	1ºMed	2º Med	3ºMed	4º Med	5ºMed	6º Med	7ºMed	8º Med	9ºMed	10ºMed	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste	Des Pad
m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	m A	STATUS	m A
10,00	10,0001	10,0001	10,0000	10,0001	10,0001	10,0001	10,0000	10,0001	10,0001	10,0001	10,0001	0,0001	0,0070	OK	0,000032
-10,00	-9,9999	-9,9999	-9,9999	-9,9999	-9,9999	-9,9999	-9,9999	-9,9999	-9,9999	-10,0000	-9,9999	0,0001	-0,0070	OK	0,000022
100,00	100,0002	100,0001	100,0001	100,0001	100,0002	100,0000	100,0001	100,0000	100,0000	100,0001	100,0001	0,0001	0,0550	OK	0,000068
-100,00	-100,0001	-100,0001	-100,0000	-100,0001	-100,0001	-100,0001	-100,0001	-100,0001	-100,0001	-100,0001	-100,0001	-0,0001	-0,0550	OK	0,000035
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	STATUS	A
1,00	1,00000	1,00000	0,99999	0,99999	0,99999	1,00000	1,00000	0,99999	0,99999	0,99999	1,00000	0,00000	0,00110	OK	0,000002
-1,00	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-1,00001	-0,00001	-0,00110	OK	0,000002
2,00	2,00001	2,00000	2,00000	2,00000	2,00000	2,00000	1,99999	1,99999	1,99999	1,99999	2,00000	0,00000	0,00240	OK	0,000007
-2,00	-2,00001	-2,00001	-2,00001	-2,00001	-2,00001	-2,00001	-2,00000	-2,00000	-2,00000	-2,00000	-2,00001	-0,00001	-0,00240	OK	0,000004

Depois são calculadas as incertezas do tipo “A” e registradas as resoluções do mensurando, para cada faixa. Posteriormente, com base nas informações fornecidas pelo Certificado de Calibração do padrão sobre o seu valor convencional, a sua incerteza e seus graus de liberdade, bem como nas especificações de seu manual, calcula-se a incerteza combinada, os graus de liberdade e o fator de abrangência para obter, em cada faixa, a respectiva incerteza expandida para um nível de confiança de 95,45%, de acordo com a tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Calibração de Corrente Contínua Parte 2

Faixa	Incerteza Tipo A	Resolução do mensurando	Valor convencional do Padrão	Incerteza do Padrão (Certificado) para (68,27%) Tipo B	Graus de liberdade do Certificado do padrão	Especificações do Manual do Padrão para (68,27%) Tipo B	Incerteza comb. uc (68,27%)	Graus efetivos de liberdade Veff	K	Incerteza expandida da faixa para (95,45%) U
m A	m A	m A	m A	m A		m A	m A			m A
10,00	0,0101378	0,0000050	10,0000510	0,0007000	5,0000000	0,0002717	0,0101656	9,0986538	2,3198118	0,0235823
-10,00	0,0069656	0,0000500	-9,9999600	0,0008000	10,0000000	0,0002717	0,0070168	9,2662655	2,3198118	0,0162776
100,00	0,0213494	0,0000500	100,0005000	0,0100000	15,0000000	0,0031056	0,0237791	13,4621250	2,2118002	0,0525946
-100,00	0,0109679	0,0000500	-99,9991000	0,0100000	20,0000000	0,0031056	0,0151639	25,0836514	2,1050892	0,0319213
A	A	A	A	A		A	A			A
1,00	0,0000005	0,0000005	1,0000210	0,0001000	25,0000000	0,0000485	0,0001112	38,1624037	2,0679636	0,0002299
-1,00	0,0000005	0,0000005	-0,9999930	0,0001000	26,0000000	0,0000485	0,0001112	39,6891822	2,0661673	0,0002297
2,00	0,0000022	0,0000005	-1,9999270	0,0003000	35,0000000	0,0000854	0,0003119	40,9069249	2,0644620	0,0006440
-2,00	0,0000013	0,0000005	2,0000350	0,0002000	40,0000000	0,0000854	0,0002175	55,9224332	2,0464859	0,0004451

A tabela 4.13 resume a calibração de corrente contínua, de forma a apresentar os resultados de maior interesse ao cliente, que constarão no Certificado de Calibração, ou seja, o valor verdadeiro convencional do padrão, o valor indicado pelo mensurando, a incerteza expandida de medição, o fator de abrangência e os graus efetivos de liberdade.

Tabela 4.13 – Resumo da Calibração de Corrente Contínua

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade ν_{eff}
m A	m A	m A		
10,00	10,00	0,02	2,32	9,10
-10,00	-10,00	0,02	2,32	9,27
100,00	100,00	0,05	2,21	13,46
-100,00	-100,00	0,03	2,11	25,08
A	A	A		
1,00	1,00	0,0001	2,07	38,16
-1,00	-1,00	0,0001	2,07	39,69
-2,00	2,00	0,00006	2,06	40,91
2,00	-2,00	0,00007	2,05	55,92

4.1.7 – Calibração de Corrente Alternada

A calibração de Corrente Alternada (item 3.2.3.2) é feita em duas etapas. Inicialmente, são feitas dez (10) medições nas faixas de

- i) 1A, com ciclos de frequência 20 Hz e 5 kHz;
- ii) 3A, com ciclo de frequência 5kHz; e

Em seguida são feitos, os cálculos de médias, erros, conforme tabela 4.14. Se houver algum erro superior ao máximo permitido no manual técnico do fabricante, será necessário realizar um ajuste nas constantes de calibração de corrente alternada.

Tabela 4.14 – Calibração Corrente Alternada Parte 1

Faixa	Freq	1ª Med	2ª Med	3ª Med	4ª Med	5ª Med	6ª Med	7ª Med	8ª Med	9ª Med	10ª Med	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste
A	Hz	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	STATUS
1,00	20	0,99864	0,99862	0,99863	0,99864	0,99862	0,99862	0,99862	0,99862	0,99862	0,99860	0,99862	-0,00138	0,00140	OK
	5 k	1,00017	1,00017	1,00017	1,00017	1,00018	1,00017	1,00017	1,00017	1,00017	1,00018	1,00017	0,00017	0,00140	OK
3,00	5 k	1,99925	1,99926	1,99926	1,99925	1,99926	1,99926	1,99926	1,99926	1,99926	1,99923	1,99926	-0,00074	0,00480	OK

Posteriormente, são calculados o desvio padrão e as incertezas do tipo “A” e registradas as resoluções do mensurando, para cada faixa. Em seguida, com base nas informações fornecidas pelo Certificado de Calibração do padrão sobre o seu valor convencional, a sua incerteza e seus graus de liberdade, bem como nas especificações de seu manual, calcula-se a incerteza combinada, os graus de liberdade e o fator de abrangência para obter, em cada faixa, a respectiva incerteza expandida para um nível de confiança de 95,45%, de acordo com a tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Calibração Corrente Alternada 2

Faixa	Des Pad	Incerteza Tipo A	Valor convencional do Padrão	Incerteza do Padrão (Certificado) para (68,27%) Tipo B	Graus de liberdade do Certificado do padrão	Resolução do mensurando	Especificações do Manual do Padrão para (68,27%) Tipo B	Incerteza comb. uc (68,27%)	Graus efetivos de liberdade Veff	K	Incerteza expandida da faixa para (95,45%) U
A	A	A	A	A		A	A	A			A
1,00	0,000012	0,000003	1,000006	0,000100	10,000000	0,000001	0,000307	0,000323	1.082,90201	2,002316	0,000646
	0,000004	0,000001	1,000004	0,000060	100,000000	0,000001	0,000078	0,000098	715,536166	2,003503	0,000197
3,00	0,000008	0,000003	3,000002	0,000120	100,000000	0,000005	0,004484	0,004485	195.182.914	2,000002	0,008971

A tabela 4.16 resume a calibração de corrente alternada, de forma a apresentar os resultados de maior interesse ao cliente, que constarão no Certificado de Calibração (valor verdadeiro convencional do padrão, valor indicado pelo mensurando, incerteza expandida de medição, fator de abrangência e os graus efetivos de liberdade).

Tabela 4.16 – Resumo da Calibração de Corrente Alternada

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
A	A	A		
1,00	1,00	0,00003	2,00	Infinito
1,00	1,00	0,00002	2,00	Infinito
3,00	2,00	0,01	2,00	Infinito

4.1.8 – Calibração de Resistência

A calibração de Resistência (item 3.2.4) é feita em duas etapas. Inicialmente, são feitas dez (10) medições nas faixas de 100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω , 10 M Ω e 100 M Ω , além dos respectivos cálculos de médias, erros e desvios padrões, conforme tabela 4.17. Se houver algum erro superior ao máximo permitido, em relação à diferença do valor verdadeiro convencional e o valor indicado pelo mensurando, será necessário realizar um ajuste nas constantes de calibração do instrumento.

Tabela 4.17 – Calibração Resistência Parte 1

Faixa	1ºMed	2º Med	3ºMed	4º Med	5ºMed	6º Med	7ºMed	8º Med	9ºMed	10ºMed	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste	Des Pad
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	STATUS	Ω
100	100,013	100,013	100,013	100,013	100,013	100,012	100,012	100,012	100,013	100,012	100,013	0,0071	0,0140	OK	0,0002
k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	k Ω	Ω	Ω	STATUS	Ω
1.000	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	1.000,04	0,0052	0,1100	OK	0,0004
10.000	10.000,01	9.999,94	9.999,92	9.999,91	9.999,91	9.999,90	9.999,90	9.999,90	9.999,89	9.999,90	9.999,92	0,08216	1,09999	OK	0,0354
99.998	100,010	100,002	100,001	100,000	100,000	100,000	100,000	99,999	99,999	99,999	100,001	2,9712	11,0001	OK	3,1979
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	STATUS	Ω
999.897	999.932,38	999.902,80	999.898,08	999.898,57	999.898,57	999.898,57	999.897,08	999.896,34	999.894,60	999.894,10	999.901,11	3,90900	0,109,989	OK	11,253
10.000.126	10.003.954	10.001.265	10.000.747	10.000.521	10.000.340	10.000.273	10.000.258	10.000.233	10.000.216	10.000.171	10.000.798	671,80000	4,100,32	OK	1.158,8
100.000.780	100.313.130	100.119.640	100.073.280	100.053.280	100.035.370	100.029.980	100.018.940	100.015.370	100.013.580	100.009.970	100.068.254	67.474,000	810.546,1	OK	92.505

Na seqüência, são calculadas as incertezas do tipo “A” e registradas as resoluções do mensurando, para cada faixa. Após, com base nas informações fornecidas pelo Certificado de Calibração do padrão sobre o seu valor convencional, a sua incerteza e seus graus de liberdade, bem como nas especificações de seu manual, calcula-se a incerteza combinada, os graus de liberdade e o fator de abrangência para obter, em cada faixa, a respectiva incerteza expandida para um nível de confiança de 95,45%, de acordo com a tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Calibração Resistência Parte 2

Faixa	Incerteza Tipo A	Resolução do mensurando	Valor convencional do Padrão	Incerteza do Padrão (Certificado) para (68,27%) Tipo B	Graus de liberdade do Certificado do padrão	Especificações do Manual do Padrão para (68,27%) Tipo B	Incerteza comb. uc (68,27%)	Graus efetivos de liberdade Veff	K	Incerteza expandida da faixa para (95,45%) U
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω		Ω	Ω			Ω
100	0,000067	0,000050	100,000600	0,002000	3,000000	0,000776	0,002147	3,984432	3,306832	0,007100
Ω	Ω	Ω	$k\Omega$	$k\Omega$		$k\Omega$	$k\Omega$			Ω
1.000	0,000114	0,000001	1,000027	0,000020	10.000.000,00	0,00582	0,00582	61.116.031,72	2,00000	0,011649
10.000	0,011195	0,000005	9,999904	0,000200	10.000.000,00	0,05435	0,05549	5.431,31	2,00046	0,111002
99.998	1,011255	0,000050	99,999300	0,002000	10.000.000,00	0,62111	1,186766	17,0710	2,15826	2,561353
Ω	Ω	Ω	$M\Omega$	$M\Omega$		Ω	Ω			Ω
999.897	3,5586	0,00000	1,0000	0,0001	2,000000	8,92765	9,6107513	478,808	2,005245	19,27191
10.000.126	111,9555	0,00001	10,0002	0,0060	10.000.000	178,5737	210,76669	113,0494	2,022371	426,2484
100.000.780	11.082,9	0,00005	100,0081	0,0600	10.000.000	5,046,62	12.177,7798	13,11918	2,2118002	26,934,8

A tabela 4.19 resume a calibração de resistência, de forma a apresentar os resultados de maior interesse ao cliente, que constarão no Certificado de Calibração, ou seja, o valor verdadeiro convencional do padrão, o valor indicado pelo mensurando, a incerteza expandida de medição, o fator de abrangência e os graus efetivos de liberdade.

Tabela 4.19 – Resumo da Calibração Resistência

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
Ω	Ω	Ω		
100	100,0125	0,0071	3,3068	3,9844
$k\Omega$	$k\Omega$	$k\Omega$		
1.000	1.000,04	0,01165	2,00000	Infinito
10.000	9.999,92	0,11100	2,00046	Infinito
99.998	100.000,1	2,56135	2,15826	17,07
Ω	Ω	$M\Omega$		
999.897	999.901,1	0,000019	2,00524	478,81
10.000.126	10.000.81	0,000042	2,02237	113,05
100.000.780	100.068,2	0,00027	2,21180	13,12

4.1.9 – Calibração de Frequência

Para a calibração de Frequência (item 3.2.5), utiliza-se, como referência, um tom senoidal de 100 Hz, com amplitudes de 1 mV e 1 V. Primeiramente, são feitas dez (10) medidas de frequência na saída do multímetro para cada uma das amplitudes mencionadas, além dos respectivos cálculos de médias e erros, conforme tabela 4.20. Se houver algum

erro superior ao máximo permitido no manual de serviço do fabricante, em relação à diferença do valor verdadeiro convencional e o valor indicado pelo mensurando será necessário realizar um ajuste nas constantes de calibração de frequência.

Tabela 4.20 – Calibração de Frequência Parte 1

Faixa	Freq	1°Med	2° Med	3°Med	4° Med	5°Med	6° Med	7°Med	8° Med	9°Med	10°Med	Média	Erro	Erro_Max Permitido	Teste
	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	STATUS
1 mV	100,00	99,957	100,086	99,949	99,989	99,991	100,154	99,936	100,014	100,008	99,945	100,003	0,00287	0,10000	OK
1 V	100.000	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	100.000,1	0,1400	10,0000	OK

Na seqüência, são calculados os desvios padrões, as incertezas do tipo “A” e registradas as resoluções do mensurando, para cada amplitude. Com base nas informações fornecidas pelo Certificado de Calibração do padrão sobre o seu valor convencional, a sua incerteza e seus graus de liberdade, bem como nas especificações de seu manual, calcula-se a incerteza combinada, os graus de liberdade e o fator de abrangência para obter, em cada faixa, a respectiva incerteza expandida para um nível de confiança de 95,45%, de acordo com a tabela 4.21.

Tabela 4.21 – Calibração de Frequência Parte 2

Faixa	Des Pad	Incerteza Tipo A	Resolução do mensurando	Valor convencional do Padrão	Incerteza do Padrão (Certificado) para (68,27%) Tipo B	Graus de liberdade do Certificado do padrão	Especificações do Manual do Padrão para (68,27%) Tipo B	Incerteza comb. uc (68,27%)	Graus efetivos de liberdade Veff	K	Incerteza expandida da faixa para (95,45%) U
	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz		Hz	Hz			Hz
1 mV	0,06929	0,02130	0,00005	100,00	0,00012	10.000.000	0,000115	0,021304	9,001157	2,319812	0,04942
1 V	0,00000	0,00000	0,05000	99.999,40	0,11547	100.000.000	0,115470	0,170783	478.515.625	2,000002	0,34157

A tabela 4.22 resume a calibração de frequência, de forma a apresentar os resultados de maior interesse ao cliente, que constará no Certificado de Calibração (valor verdadeiro convencional do padrão, valor indicado pelo mensurando, incerteza expandida de medição, fator de abrangência e os graus efetivos de liberdade).

Tabela 4.22 – Resumo da Calibração de Frequência

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade V_{eff}
Hz	Hz	Hz		
100,00	99,95	2,31981	9,00116	0,02130
100.000,00	100.000,14	2,00000	478.515.625,00	0,17078

Conhecendo todas fórmulas, cálculos e os fatores levados em consideração, pode-se passar a confecção do certificado de calibração, que é o resultado final de todo o processo de calibração.

4.2 Certificado de Calibração

É o documento que materializa a calibração em comparação a um padrão de referência. No caso da FAB, o certificado de calibração é padronizado contendo as informações abaixo, conforme mostrado no Certificado de Calibração nas figuras 79 a 82:

- Número do Certificado
- Data da Calibração
- Nome e endereço do usuário
- Número e data da Ordem de Serviço
- Padrões utilizados
- Número e data do certificado de calibração dos padrões
- Procedimento de Calibração adotado
- Condições Ambientais (temperatura e umidade relativa)
- Média, erro relativo e incerteza das medidas efetuadas
- Nome do Técnico responsável
- Chefe do Laboratório
- Nome do Laboratório

- Valor verdadeiro convencional do padrão
- Valor indicado pelo mensurando
- Incerteza expandida da medição
- Fator de abrangência
- Grandeza tensão elétrica (contínua e alternada)
- Grandeza corrente elétrica (contínua e alternada)
- Grandeza frequência
- Grandeza resistência elétrica

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO PARQUE DE MATERIAL DE ELETRÔNICA DA AERONÁUTICA SUBDIVISÃO DE METROLOGIA – TTME	
	Certificado de Calibração 36455555	
Data da Calibração:	31/10/2006	
Este Certificado é emitido com base na ICA 9-1, aprovada pela Portaria DEPV n°. 51/DIRPV, de 07 de agosto de 2000; NTS 9-13:1996 e NBR/IEC 17025 de janeiro de 2001.		
1. IDENTIFICAÇÃO DO SOLICITANTE:		
Nome:	LSC-BR	
Endereço:	CINDACTA I	
2. IDENTIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO/PADRÃO CALIBRADO:		
Instr. de Medição/Padrão:	MULTÍMETRO DIGITAL	
Fabricante:	AGILENT	
Modelo:	HP34401A	
Número de Série:	1234	
3. INFORMAÇÕES ADMINISTRATIVAS:		
Ordem de Serviço:	1534611	Data da Emissão: 31/10/2006
4. PADRÕES UTILIZADOS:		
Modelo:	5700A CALIBRADOR	Modelo: 5725A AMPLIFICADOR
Certificado Nº:	3333333	Certificado Nº: 456
Modelo:	33220A GERADOR DE FUNÇÕES ARBITRÁRIO	
Certificado Nº:	789	
5. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO:		
<p>Esta calibração foi realizada utilizando-se de Padrões Primário deste Laboratório, certificados pelo Laboratório de Metrologia Elétrica do Instituto de Fomento e Cordenação Industrial do CTA.</p> <p>O procedimento utilizado para calibração encontra-se descrito na NTS 9-501-9 Procedimento para Calibração de Multímetro Digital MODELO HP34401A.</p> <p>O resultado obtido é a média aritmética de, pelo menos, 10 ciclos de medição. A incerteza expandida da medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k (conforme tabela), que corresponde a um nível de confiança de aproximadamente 95,48%.</p>		
Ricardo Antunes Gomes – Ten Esp Com. Chefe da Seção de Padrões – TTPA 05/12/06		

Figura 79 – Certificado de Calibração, página 1/4



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO
PARQUE DE MATERIAL DE ELETRÔNICA DA AERONÁUTICA
SUBDIVISÃO DE METROLOGIA – TTME



Certificado de Calibração
36455555

Data da Calibração: 31/10/2006

6. CONDIÇÕES AMBIENTAIS DURANTE A CALIBRAÇÃO:

Temperatura: 22°C
Umidade relativa do ar: 50%

OBSERVAÇÕES GERAIS:

Este certificado atende aos requisitos do SISMETRA, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais ou internacionais de medida. Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica. Os resultados referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes. A reprodução deste certificado só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.

7. CALIBRAÇÃO DE TENSÃO

7.1 Tensão Contínua

Valor Verdadeiro Convencional (V)	Valor Indicado (V)	Incerteza Expandida de Medição (V)	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
mV	mV	mV		
100,00	100,0003	0.002	2,00	Infinito
-100,00	-100,0018	0.003	2,28	10,39
V	V	V		
1,00	1,000004	0.00003	2,37	8,94
-1,00	-1,000005	0.00002	2,23	12,77
10,00	9,999988	0.0002	2,18	15,99
-10,00	-9,999989	0.0001	2,03	78,11
100,00	99,999975	0.0019	2,09	29,19
-100,00	-99,999990	0.0015	2,06	44,73
1.000,00	999,9997	0.017	2,05	50,34
-1.000,00	-999,9999	0.015	2,04	69,51

Adolfo Dias - 3S BET
Técnico Responsável

30/11/2006

Ricardo Antunes Gomes – Ten Esp Com.
Chefe da Seção de Padrões - TTPA

05/12/06

Figura 80 – Certificado de Calibração, página 2/4

Certificado de Calibração
36455555

7.2 Tensão Alternada

Valor Verdadeiro Convencional	Frequência	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)
mV	Hz	mV	mV	
100,00	10,00	99,9942	0.12	2,05
	1 k	99,9998	0.02	2,05
	20 k	100,0031	0.04	2,05
	50 k	100,0014	0.08	2,04
	100 k	99,9581	0.12	2,03
	300 k	99,4275	0.18	2,03
V	Hz	V		
1,00	10,00	0,99990	0.0011	2,02
	1 k	0,99997	0.0001	2,03
	20 k	0,99997	0.0002	2,02
	50 k	0,99980	0.0004	2,02
	100 k	0,99954	0.0008	2,02
	300 k	1,00076	0.0012	2,02
10,00	10	10,00	0.01	2,01
	1 k	10,00	0.001	2,02
	20 k	10,00	0.002	2,01
	50 k	10,00	0.004	2,01
	100 k	10,00	0.008	2,01
	300 k	10,04	0.018	2,01
100	10	100,00	0.11	2,01
	1 k	100,00	0.01	2,01
	20 k	100,01	0.04	2,01
	50 k	100,00	0.04	2,01
	100 k	100,00	0.10	2,01
750,00	1 k	750,06	0.10	2,00
	50 k	750,12	0.08	2,01

8. CALIBRAÇÃO DE FREQUÊNCIA

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
Hz	Hz	Hz		
100,00	99,95	2,32	9,00	0,02
100.000,00	100.000,14	2,00	478.515.625	0,17

Adolfo Dias - 3S BET
Técnico Responsável
30/11/2006

Ricardo Antunes Gomes – Ten Esp Com.
Chefe da Seção de Padrões - TTPA
05/12/06

Figura 81 – Certificado de Calibração, página 3/4

Certificado de Calibração
36455555

9. CALIBRAÇÃO DE CORRENTE

9.1 Corrente Contínua

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
mA	mA	mA	95,45%	
10,00	10,0001	0.024	2,32	9,10
-10,00	-9,9999	0.016	2,32	9,27
100,00	100,0001	0.053	2,21	13,46
-100,00	-100,0001	0.032	2,11	25,08
A	A	A		
1,00	1,0000	0.00023	2,07	38,16
-1,00	-1,0000	0.00023	2,07	39,69
-2,00	2,0000	0.00064	2,06	40,91
2,00	-2,0000	0.00045	2,05	55,92

9.2 Corrente Alternada

Valor Verdadeiro Convencional	Frequência	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)
A	kHz	A	A	95,45 %
1	20	0,9986	0.0006	2,00
	5 k	1,0002	0.0002	2,00
3	5 k	1,9993	0.009	2,00

10. CALIBRAÇÃO DE RESISTÊNCIA

Valor Verdadeiro Convencional	Valor Indicado	Incerteza Expandida de Medição	Fator de Abrangência (k)	Graus efetivos de liberdade Veff
Ω	Ω	Ω	95,45 %	
100,01	100,01	0,01	3,31	3,98
k Ω	k Ω	Ω		
1.000,04	1.000,04	0,01	2,00	Infinito
9.999,84	9.999,92	0,11	2,00	Infinito
99.998,01	100.000,98	2,56	2,16	17,07
M Ω	Ω	Ω		
999.897,20	999.901	19	2,01	478,81
10.000.126,00	10.000.798	0.4 k Ω	2,02	113,05
100.000.780,00	100.068.254	27 k Ω	2,21	13,12

Adolfo Dias - 3S BET
Técnico Responsável
30/11/2006

Ricardo Antunes Gomes – Ten Esp Com.
Chefe da Seção de Padrões - TTPA
05/12/06

Figura 82 – Certificado de Calibração, página 4/4

Diante do exposto neste capítulo, estamos preparados para realizar a conclusão deste trabalho de dissertação, e os possíveis trabalhos futuros a partir deste.