



AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE EM RESISTORES PADRÃO

Márcio Cândido da Silva¹, Slavoljub Garcia Petkovic², Hélio Schechter³

¹Inmetro/Dimci/Diele, Duque de Caxias, Brasil, *mcsilva@inmetro.gov.br*

²Inmetro/Dimci/Diele, Duque de Caxias, Brasil, *sgpetkovic@inmetro.gov.br*

³Inmetro/Dimci/Diele, Duque de Caxias, Brasil, *hschechter@inmetro.gov.br*

Resumo: Este trabalho tem a finalidade de discutir modelos a serem utilizados para avaliação do comportamento do resistor padrão em função das calibrações periódicas, assim como a escolha do modelo mais apropriado para avaliar a sua estabilidade.

Palavras chave: resistor padrão, deriva, estabilidade, erro normalizado, tendência.

1. INTRODUÇÃO

A rastreabilidade de padrões de referência é assegurada através de calibrações periódicas. A partir do histórico dessas calibrações pode-se analisar a tendência do seu comportamento, determinando dessa forma a sua estabilidade e correção de seu valor.

2. MODELOS PARA A AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE UM RESISTOR PADRÃO

Neste trabalho serão analisados três modelos para avaliar a estabilidade ao longo do tempo de um resistor padrão a partir de seu histórico de calibrações. O histórico será composto por um conjunto mínimo de 4 medições anuais ao longo de um período. No caso do Laboratório de Resistência (Lares), as calibrações são realizadas anualmente.

No primeiro modelo, assume-se que o histórico de calibrações do padrão em análise possui uma distribuição retangular sendo a incerteza padrão da estabilidade ao longo do tempo determinada através da amplitude de sua distribuição, obtendo-se a seguinte equação:

$$u_E = \frac{A}{2\sqrt{3}} \quad (1)$$

onde u_E é a incerteza padrão da estabilidade ao longo do tempo e A é o valor da amplitude da distribuição de valores da resistência.

O segundo e o terceiro modelo utilizam regressão linear simples com o auxílio do método dos mínimos quadrados. Desta forma, o valor de referência do padrão em uma data pode ser obtido através da equação 2.

$$R_{SC} = at + b \quad (2)$$

onde R_{SC} é o valor de referência do padrão calculado em uma data t_i e as constantes a e b são obtidas através das equações 3 e 4 [1].

$$a = \frac{\sum R_i(t_i - \bar{t})}{\sum (t_i - \bar{t})^2} \quad (3)$$

$$b = \bar{R} - a\bar{t} \quad (4)$$

onde R_i é o valor de referência medido em uma data t_i , \bar{R} é a média das medições do resistor padrão e \bar{t} a média das datas de realização das medições.

O estimador para o cálculo da incerteza desta aproximação está descrito nas Equações 5 e 6 [2,3].

$$u_{R_{SC}}^2 = \sigma^2 \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_0 - \bar{t})^2}{\sum (t_i - \bar{t})^2} \right] \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (R_i - at_i - b)^2}{n - 2} \quad (6)$$

onde σ é a dispersão amostral da reta, n é o número de valores medidos na data t_i , e t_0 a data em que se deseja calcular a incerteza desta aproximação.

No modelo dois, o valor de referência é o valor calculado da Equação 2 e a incerteza padrão da estabilidade ao longo do tempo u_E será igual a $u_{R_{SC}}$ ($u_E = u_{R_{SC}}$).

O terceiro modelo é uma simplificação do segundo modelo. Neste modelo, o valor do resistor padrão não será corrigido, sendo mantido o valor de referência da última calibração. A incerteza padrão da estabilidade ao longo do tempo u_E é calculada a partir da dispersão amostral da reta (σ) e da deriva (D) para um determinado período.

Neste trabalho, a deriva (D) é obtida para um período de 365 dias a partir do coeficiente angular da reta (a). A distribuição da incerteza padrão da deriva será considerada retangular, sendo sua incerteza padrão (u_D) calculada conforme a Equação 7.

$$u_D = \left| \frac{D}{\sqrt{3}} \right| \quad (7)$$

Desta forma, no terceiro modelo a incerteza padrão da estabilidade ao longo do tempo será calculada de acordo com

$$u_E^2 = \sigma^2 + u_D^2 \quad (8)$$

Nos três modelos a incerteza padrão combinada (u_C) em uma data t_i passa a ser calculada através da incerteza padrão declarada na calibração anterior à data em análise (u_B) e da incerteza devido à estabilidade do padrão em análise (u_E).

$$u_C^2 = u_B^2 + u_E^2 \quad (9)$$

O grau de liberdade efetivo (v_{eff}) é obtido conforme

$$v_{eff} = \frac{u_C^4}{\frac{u_B^4}{v_B} + \frac{u_E^4}{n-2}} \quad (10)$$

onde u_B é a incerteza padrão declarada na calibração anterior à data em análise e v_B é o número de graus de liberdade correspondente.

A partir do v_{eff} é calculado o fator de abrangência k para uma distribuição-t com uma probabilidade de abrangência de 95,45%. Desta forma, a incerteza expandida do resistor padrão (U_{Rs}) é calculada de acordo com a Equação 11.

$$U_{Rs} = k_{(95,45\%)} u_C \quad (11)$$

3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO MODELO UTILIZADO

A avaliação dos modelos de cálculo de estabilidade entre as calibrações periódicas será realizada através do erro normalizado.

O erro normalizado (En) é calculado de acordo com

$$En = \frac{|R_S - R_B|}{\sqrt{U_{Rs}^2 + U_B^2}} \quad (12)$$

onde R_S é o valor de referência do resistor padrão, que corresponde ao valor calculado através da Equação 2 ou o valor da última calibração; U_{Rs} é a incerteza expandida do resistor padrão que está sendo avaliado; R_B é o valor medido na calibração atual e U_B é a incerteza expandida do resistor na calibração atual.

Caso algum dos modelos apresente resultados não compatíveis, isto é, $En > 1$, faz-se investigações nos resultados encontrados nos outros modelos, a fim de verificar se o modelo em análise não é adequado ao padrão em estudo ou se ocorreu uma mudança no seu valor.

4. ANÁLISE DOS MODELOS DE ESTABILIDADE

Nos exemplos a seguir, foi analisada a estabilidade ao longo do tempo de resistores padrão de 1 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω e 1 M Ω utilizando os três modelos descritos neste trabalho.

4.1. Resistor padrão de 1 Ω

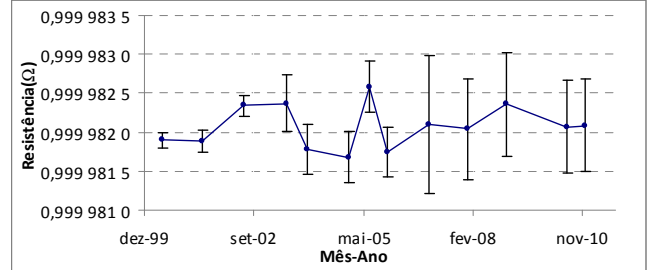


Figura 1 – Gráfico das medições realizadas no resistor de 1 Ω

Tabela 1. Histórico de calibrações do resistor padrão de 1 Ω

Calibrações				
Mês-Ano	R_B (Ω)	U_B ($\mu\Omega$)	k	v_{eff}
mai-00	0,999 981 90	0,10	2,00	∞
mai-01	0,999 981 89	0,14	2,00	∞
jun-02	0,999 982 34	0,14	2,00	∞
jul-03	0,999 982 37	0,36	2,00	∞
jan-04	0,999 981 78	0,32	2,00	∞
jan-05	0,999 981 68	0,33	2,00	∞
jul-05	0,999 982 58	0,33	2,00	∞
jan-06	0,999 981 75	0,32	2,00	∞
jan-07	0,999 982 10	0,88	2,27	10
jan-08	0,999 982 04	0,65	2,47	6,6
dez-08	0,999 982 36	0,67	2,45	6,6
jul-10	0,999 982 07	0,59	2,37	7,9
dez-10	0,999 982 09	0,60	2,37	8,0

A partir dos dados do histórico do resistor foi calculado o seu valor de referência, estabilidade e incerteza para o Mês-Ano indicado nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Resultado do cálculo dos valores intermediários e da estabilidade (u_E) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3		
	u_E ($\mu\Omega$)	u_E ($\mu\Omega$)	σ ($\mu\Omega$)	u_D ($\mu\Omega$)	u_E ($\mu\Omega$)
jan/04	0,14	0,20	0,14	0,10	0,17
jan/05	0,17	0,45	0,31	0,03	0,31
jul/05	0,20	0,43	0,32	0,02	0,32
jan/06	0,26	0,47	0,37	0,03	0,37
jan/07	0,26	0,48	0,37	0,00	0,37
jan/08	0,26	0,44	0,34	0,00	0,34
dez/08	0,26	0,41	0,32	0,00	0,32
jul/10	0,26	0,41	0,31	0,01	0,31
dez/10	0,26	0,37	0,30	0,01	0,30

Tabela 3. Valor de referência do resistor padrão de 1 Ω (R_S) e da incerteza expandida (U_{R_S}) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	R_S (Ω)	U_{R_S} ($\mu\Omega$)	R_S (Ω)	U_{R_S} ($\mu\Omega$)	R_S (Ω)	U_{R_S} ($\mu\Omega$)
jan-04	0,999 982 37	0,50	0,999 982 50	0,67	0,999 982 37	0,59
jan-05	0,999 981 78	0,53	0,999 982 2	2,1	0,999 981 8	1,2
jul-05	0,999 981 68	0,58	0,999 981 9	2,1	0,999 981 7	1,2
jan-06	0,999 982 58	0,71	0,999 982 2	2,3	0,999 982 6	1,8
jan-07	0,999 981 75	0,69	0,999 982 1	2,3	0,999 981 8	1,8
jan-08	0,999 982 1	1,0	0,999 982 1	1,6	0,999 982 1	1,3
dez-08	0,999 982 04	0,81	0,999 982 1	1,6	0,999 982 0	1,2
jul-10	0,999 982 36	0,83	0,999 982 2	1,6	0,999 982 4	1,1
dez-10	0,999 982 07	0,78	0,999 982 2	1,5	0,999 982 1	1,0

Na Tabela 2 pode-se observar que conforme o número de calibrações do resistor padrão aumenta, o valor de cada estabilidade (u_E) tende a ficar constante.

A Tabela 4 mostra o Erro Normalizado (En) calculado para cada um dos três modelos estudados.

Tabela 4. Resultado do En após as calibrações

Mês-Ano	En		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
jan-04	1,00	0,96	0,88
jan-05	0,16	0,23	0,08
jul-05	1,34	0,32	0,73
jan-06	1,06	0,20	0,45
jan-07	0,31	0,02	0,17
jan-08	0,05	0,02	0,04
dez-08	0,30	0,17	0,23
jul-10	0,29	0,08	0,23
dez-10	0,02	0,04	0,02

Durante a verificação intermediária [4] de julho de 2005 observou-se uma deriva fora do seu histórico, sendo realizada nova calibração. A calibração confirmou que houve alteração no valor do resistor de 1 Ω . Na tabela 4 pode-se observar esta alteração através do modelo 1 em julho de 2005 e janeiro de 2006.

Neste mesmo período, o En calculado para os modelos 2 e 3 ficou menor que 1. Embora tenha ocorrido uma alteração significativa do valor do resistor, a estabilidade calculada através destes dois modelos conseguiu cobrir esta oscilação, garantindo a confiabilidade dos resultados.

4.2. Resistor padrão de 1 k Ω

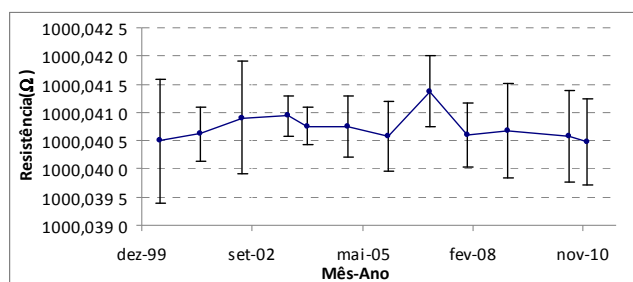


Figura 2 – Gráfico das medições realizadas no resistor de 1 k Ω

Tabela 5. Histórico de calibrações do resistor padrão de 1 k Ω

Calibrações				
Mês-Ano	R_B (Ω)	U_B (m Ω)	k	v_{eff}
mai-00	1 000,040 5	1,1	2,00	∞
mai-01	1 000,040 62	0,48	2,00	∞
jun-02	1 000,040 9	1,0	2,00	∞
jul-03	1 000,040 94	0,36	2,00	∞
jan-04	1 000,040 76	0,34	2,00	∞
jan-05	1 000,040 75	0,54	2,00	∞
jan-06	1 000,040 57	0,62	2,00	∞
jan-07	1 000,041 37	0,63	2,00	∞
jan-08	1 000,040 61	0,57	2,10	26,5
dez-08	1 000,040 68	0,83	2,15	17,9
jul-10	1 000,040 58	0,81	2,12	21,9
dez-10	1 000,040 48	0,76	2,11	24,0

A partir dos dados do histórico do resistor foi calculado o seu valor de referência, estabilidade e incerteza para o Mês-Ano indicado nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Resultado do cálculo dos valores intermediários e da estabilidade (u_E) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3		
	u_E (m Ω)	u_E (m Ω)	σ (m Ω)	u_D (m Ω)	u_E (m Ω)
jan/04	0,13	0,10	0,07	0,09	0,11
jan/05	0,13	0,19	0,13	0,06	0,14
jan/06	0,13	0,20	0,15	0,03	0,15
jan/07	0,13	0,24	0,18	0,01	0,18
jan/08	0,25	0,32	0,24	0,04	0,25
dez/08	0,25	0,35	0,27	0,02	0,27
jul/10	0,25	0,34	0,26	0,01	0,26
dez/10	0,25	0,32	0,26	0,00	0,26

Tabela 7. Valor de referencia do resistor padrão de 1 k Ω (R_S) e da incerteza expandida (U_{R_S}) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	R_S (Ω)	U_{R_S} (m Ω)	R_S (Ω)	U_{R_S} (m Ω)	R_S (Ω)	U_{R_S} (m Ω)
jan-04	1 000,040 94	0,48	1 000,041 06	0,43	1 000,040 94	0,45
jan-05	1 000,040 76	0,45	1 000,041 00	0,64	1 000,040 76	0,50
jan-06	1 000,040 75	0,60	1 000,040 93	0,74	1 000,040 75	0,64
jan-07	1 000,040 57	0,67	1 000,040 78	0,87	1 000,040 57	0,74
jan-08	1 000,041 37	0,83	1 000,041 1	1,1	1 000,041 37	0,88
dez-08	1 000,040 61	0,78	1 000,040 9	1,2	1 000,040 61	0,93
jul-10	1 000,040 68	0,97	1 000,040 9	1,2	1 000,040 7	1,0
dez-10	1 000,040 58	0,95	1 000,040 8	1,2	1 000,040 6	1,0

Na Tabela 6 pode-se observar que conforme o número de calibrações do resistor padrão aumenta, o valor de cada estabilidade (u_E) tende a ficar constante. Neste resistor, a diferença do valor da estabilidade calculada nos três modelos é pouco significativa.

A Tabela 8 mostra o Erro Normalizado (En) calculado para cada um dos três modelos estudados.

Tabela 8. Resultado do En após as calibrações

Mês-Ano	En		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
jan/04	0,31	0,54	0,32
jan/05	0,01	0,30	0,01
jan/06	0,21	0,38	0,20
jan/07	0,87	0,55	0,82
jan/08	0,75	0,40	0,72
dez/08	0,06	0,19	0,06
jul/10	0,08	0,21	0,08
dez/10	0,08	0,21	0,08

No exemplo analisado, os três modelos apresentaram um En menor que 1, garantindo dessa forma a confiabilidade dos resultados apresentados com a utilização do resistor padrão e modelo em análise.

4.3. Resistor padrão de 10 k Ω

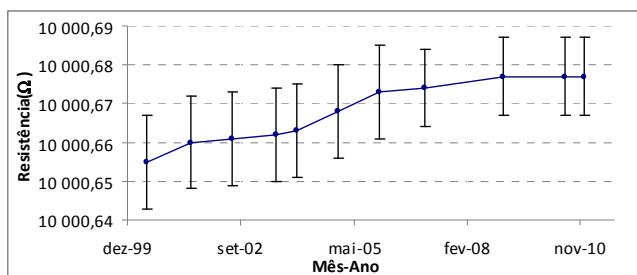


Figura 3 – Gráfico das medições realizadas no resistor de 10 k Ω

Tabela 9. Histórico de calibrações do resistor padrão de 10 k Ω

Calibrações				
Mês-Ano	R_B (Ω)	U_B (m Ω)	k	v_{eff}
mai-00	10 000,655	12	2,00	∞
jun-01	10 000,660	12	2,00	∞
jun-02	10 000,661	12	2,00	∞
jul-03	10 000,662	12	2,00	∞
jan-04	10 000,663	12	2,00	∞
jan-05	10 000,668	12	2,00	∞
jan-06	10 000,673	12	2,00	∞
fev-07	10 000,674	10	2,00	∞
jan-09	10 000,677	10	2,00	∞
jul-10	10 000,677	10	2,00	∞
dez-10	10 000,677	10	2,00	∞

A partir dos dados do histórico do resistor foi calculado o seu valor de referência, estabilidade e incerteza para o Mês-Ano indicado nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10. Resultado do cálculo dos valores intermediários e da estabilidade (u_E) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3		
	u_E (m Ω)	u_E (m Ω)	σ (m Ω)	u_D (m Ω)	u_E (m Ω)
jan/04	2,02	2,16	1,52	1,22	1,95
jan/05	2,31	1,84	1,28	1,13	1,71
jan/06	3,75	2,01	1,44	1,36	1,98
fev/07	5,20	2,52	1,84	1,63	2,46
jan/09	5,48	2,38	1,68	1,63	2,34
jul/10	6,35	2,31	1,69	1,53	2,27
dez/10	6,35	2,68	2,10	1,35	2,50

Tabela 11. Valor de referencia do resistor padrão de 10 k Ω (R_S) e da incerteza expandida (U_{R_S}) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	R_S (Ω)	U_{R_S} (m Ω)	R_S (Ω)	U_{R_S} (m Ω)	R_S (Ω)	U_{R_S} (m Ω)
jan-04	10 000,662	13	10 000,664	13	10 000,662	13
jan-05	10 000,663	13	10 000,665	13	10 000,663	13
jan-06	10 000,668	15	10 000,669	13	10 000,668	13
fev-07	10 000,673	17	10 000,674	13	10 000,673	13
jan-09	10 000,674	16	10 000,679	11	10 000,674	11
jul-10	10 000,677	17	10 000,682	11	10 000,677	11
dez-10	10 000,677	17	10 000,681	12	10 000,677	11

Na Tabela 10 pode-se observar que conforme o número de calibrações do resistor padrão aumenta, o valor de cada estabilidade (u_E) tende a ficar constante. Observa-se também que a incerteza padrão devido a deriva (u_D) é bem significativa.

A Tabela 12 mostra o Erro Normalizado (En) calculado para cada um dos três modelos estudados.

Tabela 12. Resultado do En após as calibrações

Mês-Ano	En		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
jan/04	0,06	0,05	0,06
jan/05	0,28	0,15	0,29
jan/06	0,27	0,23	0,29
fev/07	0,05	0,00	0,06
jan/09	0,16	0,16	0,20
jul/10	0,00	0,34	0,00
dez/10	0,00	0,26	0,00

Neste exemplo, a análise dos três modelos apresentou um En menor que 1, mostrando a confiabilidade dos resultados apresentados com a utilização do resistor padrão e modelo em análise.

4.4. Resistor padrão de 1 M Ω

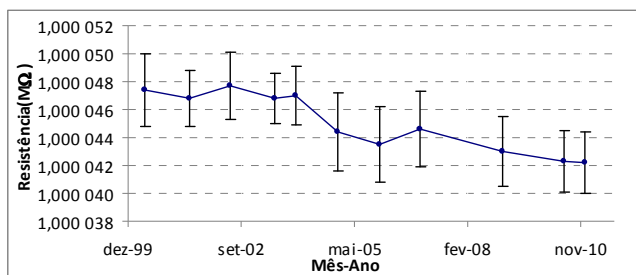


Figura 4 – Histórico de medições realizadas no resistor de 1 M Ω

Tabela 13. Histórico de calibrações do resistor de 1 M Ω

Calibrações				
Mês-Ano	R_B (M Ω)	U_B (Ω)	k	v_{eff}
mai-00	1,000 047 4	2,6	2,00	∞
jun-01	1,000 046 8	2,0	2,00	∞
jun-02	1,000 047 7	2,4	2,00	∞
jul-03	1,000 046 8	1,8	2,00	∞
jan-04	1,000 047 0	2,1	2,00	∞
jan-05	1,000 044 4	2,8	2,00	∞
jan-06	1,000 043 5	2,7	2,00	∞
jan-07	1,000 044 6	2,7	2,15	17,0
jan-09	1,000 043 0	2,5	2,11	24,7
jul-10	1,000 042 3	2,2	2,09	27,8
jan-11	1,000 042 2	2,2	2,08	33,8

A partir dos dados do histórico do resistor foi calculado o seu valor de referência, estabilidade e incerteza para o Mês-Ano indicado nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14. Resultado do cálculo dos valores intermediários e da estabilidade (u_E) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3		
	u_E (Ω)	u_E (Ω)	σ (Ω)	u_D (Ω)	u_E (Ω)
jan-04	0,26	0,76	0,53	0,05	0,53
jan-05	0,26	0,61	0,43	0,05	0,44
jan-06	0,95	1,30	0,96	0,27	1,00
jan-07	1,21	1,33	1,02	0,38	1,09
jan-09	1,21	1,33	0,97	0,34	1,03
jul-10	1,36	1,17	0,90	0,33	0,96
jan-11	1,56	1,01	0,84	0,33	0,90

Tabela 15. Valor de referência do resistor padrão de 1M (R_S) e da incerteza expandida (U_{R_S}) em cada modelo para o Mês-Ano indicado

Mês-Ano	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	R_S (Ω)	U_{R_S} (Ω)	R_S (Ω)	U_{R_S} (Ω)	R_S (Ω)	U_{R_S} (Ω)
jan-04	1,000 046 8	1,9	1,000 047 0	2,7	1,000 046 8	2,2
jan-05	1,000 047 0	2,2	1,000 046 9	2,5	1,000 047 0	2,3
jan-06	1,000 044 4	3,5	1,000 045 2	4,1	1,000 044 4	3,6
jan-07	1,000 043 5	3,8	1,000 043 8	4,1	1,000 043 5	3,6
jan-09	1,000 044 6	3,8	1,000 042 9	4,0	1,000 044 6	3,5
jul-10	1,000 043 0	3,8	1,000 042 1	3,6	1,000 043 0	3,2
jan-11	1,000 042 3	4,1	1,000 041 9	3,1	1,000 042 3	2,9

Nos modelos 2 e 3 pode-se observar que conforme o número de calibrações do resistor padrão aumenta, o valor de cada estabilidade (u_E) tende a ficar constante, reduzindo as diferenças existentes entre eles. Observa-se também que a incerteza padrão devido a deriva (u_D) é bem significativa.

A Tabela 16 mostra o Erro Normalizado (En) calculado para cada um dos três modelos estudados.

Tabela 16. Resultado do En após as calibrações

Mês-Ano	En		
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
jan-04	0,07	0,00	0,07
jan-05	0,73	0,67	0,72
jan-06	0,20	0,34	0,20
jan-07	0,23	0,17	0,24
jan-09	0,35	0,01	0,37
jul-10	0,16	0,05	0,18
jan-11	0,02	0,08	0,03

No exemplo analisado, os três modelos apresentaram um En menor que 1, garantindo dessa forma a confiabilidade dos resultados apresentados com a utilização do resistor padrão e modelo em análise.

5. CONCLUSÃO

Os três modelos apresentados são válidos. No entanto, a sua escolha depende do comportamento do resistor.

O modelo 1 é mais conservador e o seu cálculo de estabilidade é em média maior que os outros dois modelos. Ele é recomendado em casos onde o resistor padrão apresente uma característica muito dispersiva e deriva insignificante.

O modelo 2 é recomendado nos casos onde o resistor padrão apresente sempre uma deriva positiva ou negativa, e em módulo seja maior que a sua dispersão. Este modelo é bem robusto, mas sua implementação exige muito cuidado pois o seu valor de referência é calculado em cada calibração. Em função do critério utilizado pelo laboratório de calibração ele poderá ter atualização diária, mensal, bimestral ou outra qualquer.

O modelo 3 avalia melhor a dispersão e deriva do padrão em relação ao modelo 1, sendo recomendado nos casos onde o resistor padrão tenha uma característica mais dispersiva, mas apresente uma deriva significativa.

É importante ressaltar que cada resistor tem um comportamento próprio, podendo apresentar oscilações que podem não ser cobertas pelos três modelos analisados. Desta forma, torna-se importante a avaliação do seu comportamento no período entre as calibrações através da verificação intermediária de forma a aumentar a confiabilidade do modelo utilizado para a avaliação de sua estabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a equipe do Laboratório de Resistência (Lares) e ao pesquisador Paulo Roberto Guimarães Couto que colaboraram na elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] Neivaldo S. Nonato, Liliane da C. Dias. *O histórico do padrão como uma componente de incerteza*. 6º Seminário Internacional de Metrologia Elétrica, Rio de Janeiro, 2005.
- [2] Norma Interna Técnica NIT–Lares-008 Rev 08, 2009.
- [3] W. de O. Bussab, Pedro A. Morettin. *Estatística Básica*. 5. ed. São Paulo, Saraiva, 2002.
- [4] ABNT, Inmetro. *ABNT NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. 2005.
- [5] ABNT, Inmetro. *Guia para a Expressão da Incerteza de Medição*. 3. ed. Rio de Janeiro, 2003.
- [6] Inmetro. *Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008)*. Rio de Janeiro, 2009.