

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA BOBINA MÓVEL EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Homero Sette Silva, Eng.
homero@selenium.com.br

ELETRÔNICA SELENIUM S.A.

Este trabalho aborda o conhecido fenômeno da variação da resistência da bobina móvel dos alto-falantes eletro dinâmicos, com a temperatura, apresentando resultados práticos obtidos em medições feitas em laboratório, bem como uma análise das equações normalmente usadas no equacionamento deste problema.

Relacionar a resistência da bobina com sua temperatura é a forma mais prática de avaliar se um falante está operando dentro de limites confiáveis, sob o ponto de vista térmico, uma vez que a temperatura atingida pela bobina durante a operação é um dado primordial para a sobrevivência do falante..

Introdução

Quando aplicamos potência em um alto-falante, mesmo respeitando os valores máximos existentes no catálogo do produto, poderemos estar levando o alto-falante a sofrer dano irreversível pôr excesso de temperatura.

Isto pode ocorrer, pôr exemplo, devido a um programa musical com pouca dinâmica (pequena diferença entre a potência média e a de pico) ou motivado pôr uma temperatura ambiente muito elevada. No que se refere ao segundo caso, isto pode perfeitamente acontecer em nosso país pois a temperatura do ar, dentro de uma caixa acústica, exposta ao sol, não raramente atinge valores entre 60 e 80 °C (e isto com o sistema ainda desligado).

Não apenas os sistemas profissionais estão sujeitos a operar nessas condições como também aqueles utilizados para lazer, expostos nas carrocerias das pick-ups.

Pôr esta razão, a aplicação de um nível de potência, perfeitamente admissível em uma temperatura ambiente de 20 °C, pode ser catastrófico na situação acima descrita, pois os adesivos utilizados para fixar as partes integrantes do conjunto móvel (bobina, cone, aranha, suspensão) sofrem enormemente com a operação em temperaturas elevadas, perdendo sua rigidez.

Na realidade, para uma operação segura sob o ponto de vista térmico, o dado potência máxima pode significar muito pouco, pois o fator dominante é a temperatura atingida pela bobina, durante o funcionamento do falante.

Confinado em uma câmara com temperatura elevada, o falante suportará muito menos potência que a especificada pelo fabricante.

Descrição da Experiência

Para a coleta dos dados foram utilizadas três bobinas, de diferentes produtos.

Estas bobinas, separadas dos respectivos transdutores, foram colocadas em uma estufa, dotada de um controle digital de temperatura, sendo esta variada no intervalo de 26 a 169 °C. Para cada nova temperatura, após sua estabilização, eram lidos os respectivos valores de resistência ôhmica num total de 14 medidas.

Todas as medidas efetuadas foram aproveitadas e nenhuma apresentou erro acentuado.

CARACTERÍSTICAS DAS BOBINAS			
CARACTERÍSTICA	WPU 1805	18SW1P	D4400
Diâmetro da Bobina	100 mm	100 mm	100 mm
Material da Forma	Kapton com 0,125 mm	Fibra de Vidro	Kapton com 0,075 mm
Tipo do Fio	Cobre Redondo	Alumínio cobreado Chato	Alumínio cobreado Chato
Bitola do Fio	28 AWG	24 AWG	32 AWG

Tabela 1 – Descrição das Bobinas Utilizadas

Na **Tabela 1**, onde as características das bobinas foram resumidas, podemos ver que todas possuem um mesmo diâmetro, igual a 100 mm; uma é de fio de cobre redondo, enquanto as outras duas são de fio chato de alumínio, revestido com cobre. Dessas, uma é usada em um falante de 800 W RMS, enquanto a outra pertence a um driver de titânio.

Análise dos Dados

Uma vez coletados os dados, que estão na **Tabela 2**, foram esses ajustados por um polinômio do primeiro grau. Os pares obtidos e as curvas de ajuste estão mostrados na Fig. 1, enquanto na Fig. 2 vemos os erros relativos entre os valores medidos e aqueles obtidos através dos polinômios de ajuste.

Como o polinômio utilizado para ajustar os dados é uma equação do primeiro grau, podemos representá-los, genericamente, pela **Eq. 1**, onde y representa a resistência do fio da bobina, medida em uma temperatura x , que doravante iremos representar por R_B e T_B , respectivamente, conforme a **Eq. 2**.

$$y = a \cdot x + b \quad (1)$$

$$R_B = a \cdot T_B + b \quad (2)$$

$$T_B = 0 \Rightarrow R_B = b = R_0 \quad (3)$$

$$R_B = a \cdot T_B + R_0 \quad (4)$$

$$a = \frac{R_B - R_0}{T_B} \quad \text{que tem por dimensão} \left[\frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \right] \quad (5)$$

$$a = \frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{R_B - R_A}{T_B - T_A} \quad \text{se } T_A = 0 \quad \text{então} \quad a = \frac{R_B - R_0}{T_B} \quad (6)$$

Fazendo $T_B = 0$, na **Eq. 2**, obteremos o valor da resistência da bobina a zero grau, que representamos por R_0 , na **Eq. 3**, que nos leva, por substituição de variáveis, à **Eq. 4**.

Explicitando a na **Eq. 4**, obtemos a **Eq. 5**.

Como a corresponde à inclinação da reta, valem as igualdades representadas na **Eq. 6**.

VARIÇÃO DA RESISTÊNCIA DA BOBINA COM A TEMPERATURA			
TEMPERATURA T_B (°C)	WPU 1805 R_B (Ω)	18SW1P R_B (Ω)	D4400 R_B (Ω)
26.0	6.83	6.17	5.28
39.4	7.18	6.49	5.57
45.6	7.34	6.63	5.71
54.2	7.58	6.86	5.88
66.2	7.93	7.20	6.18
90.0	8.49	7.73	6.67
93.6	8.57	7.77	6.75
106.2	8.92	8.13	7.01
114.1	9.18	8.38	7.20
122.8	9.42	8.60	7.41
133.3	9.67	8.85	7.63
140.3	9.90	9.08	7.79
150.0	10.14	9.30	7.98
168.9	10.62	9.76	8.37

Tabela 2 - Dados Obtidos Experimentalmente

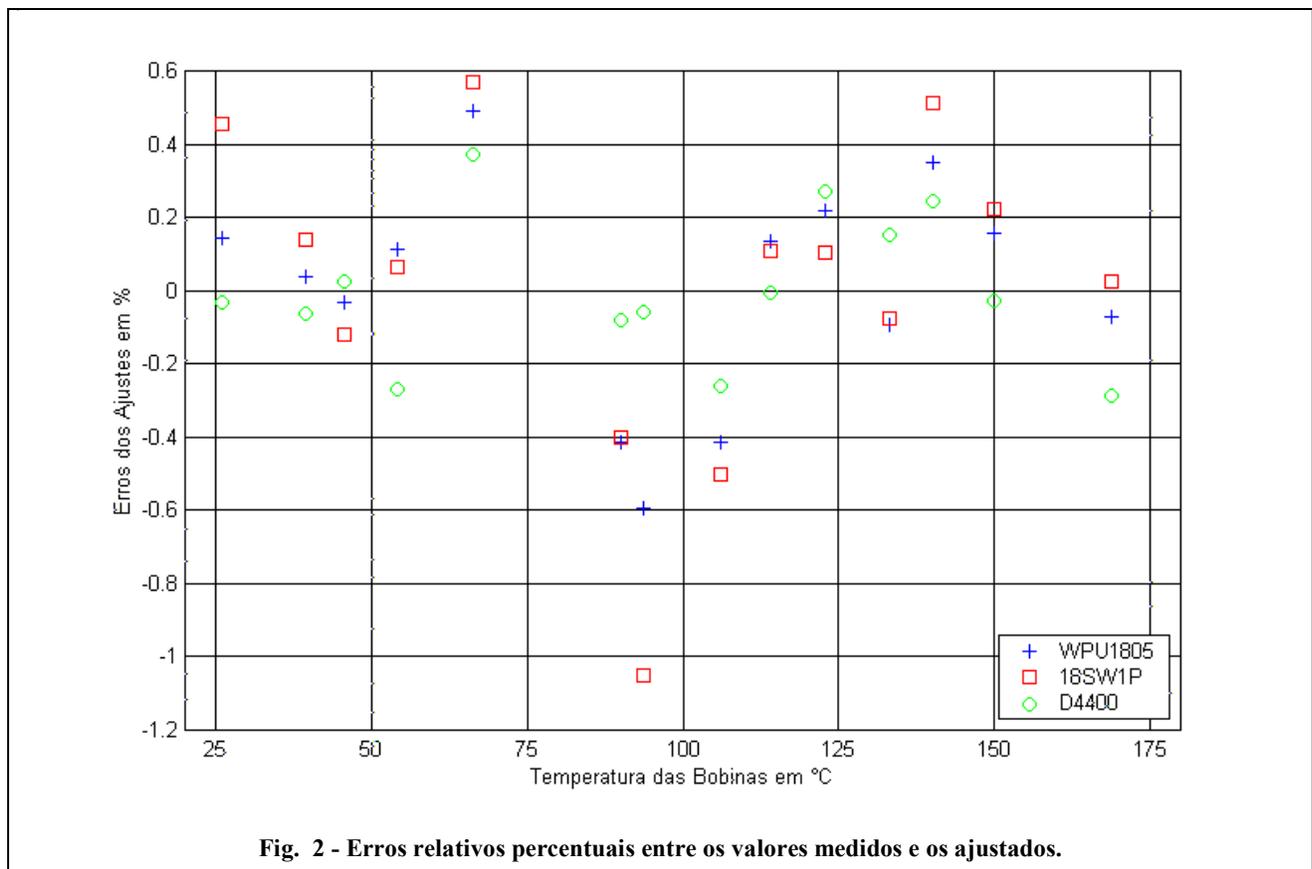
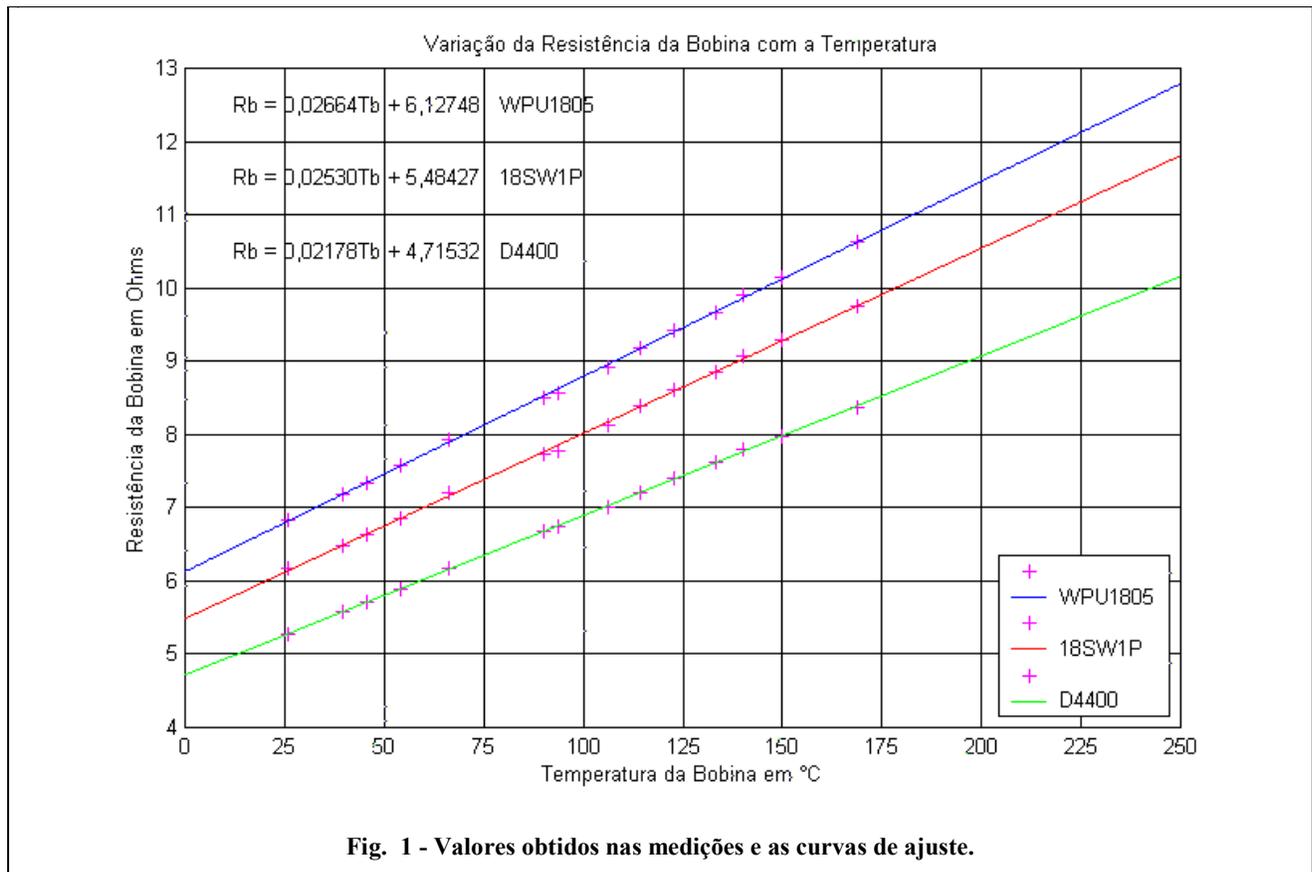
Exemplo 1 – Determine a resistência da bobina do falante **18SW1P** para uma temperatura de 150 °C.

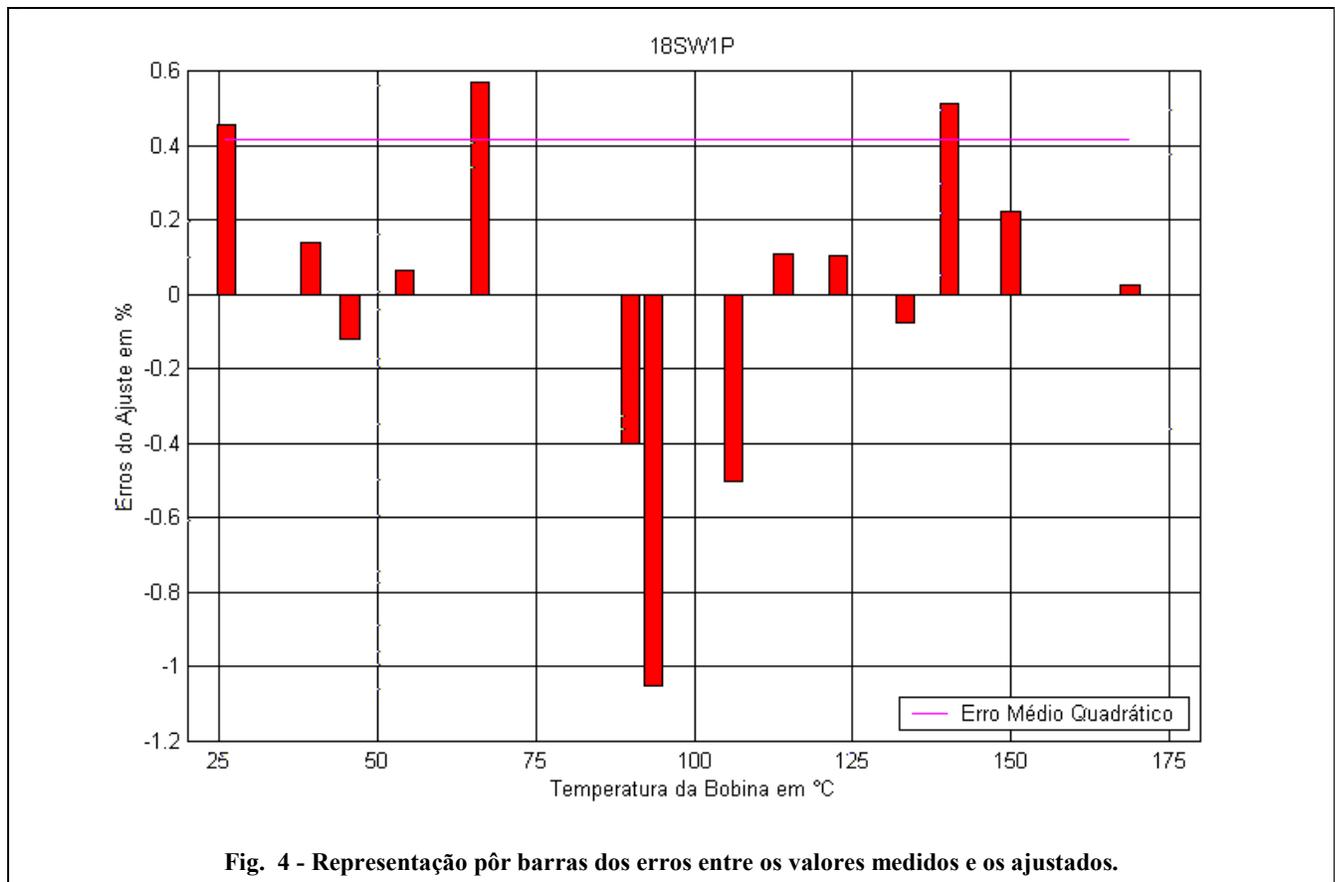
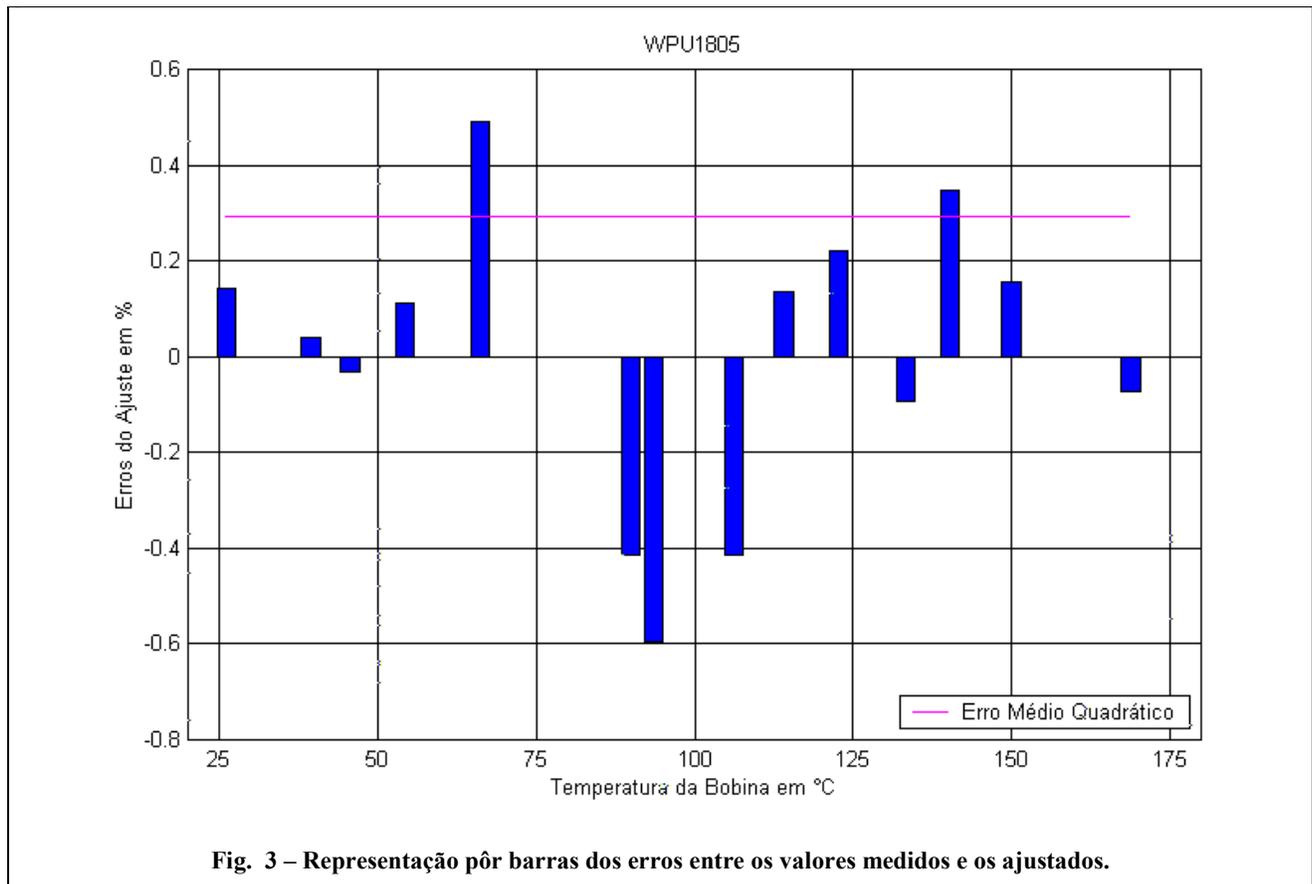
Na **Fig. 1** vemos que os coeficientes da Eq. 4, determinados pelo ajuste de curvas nos levam à equação $R_B = 0,0253T_B + 5,4843$.

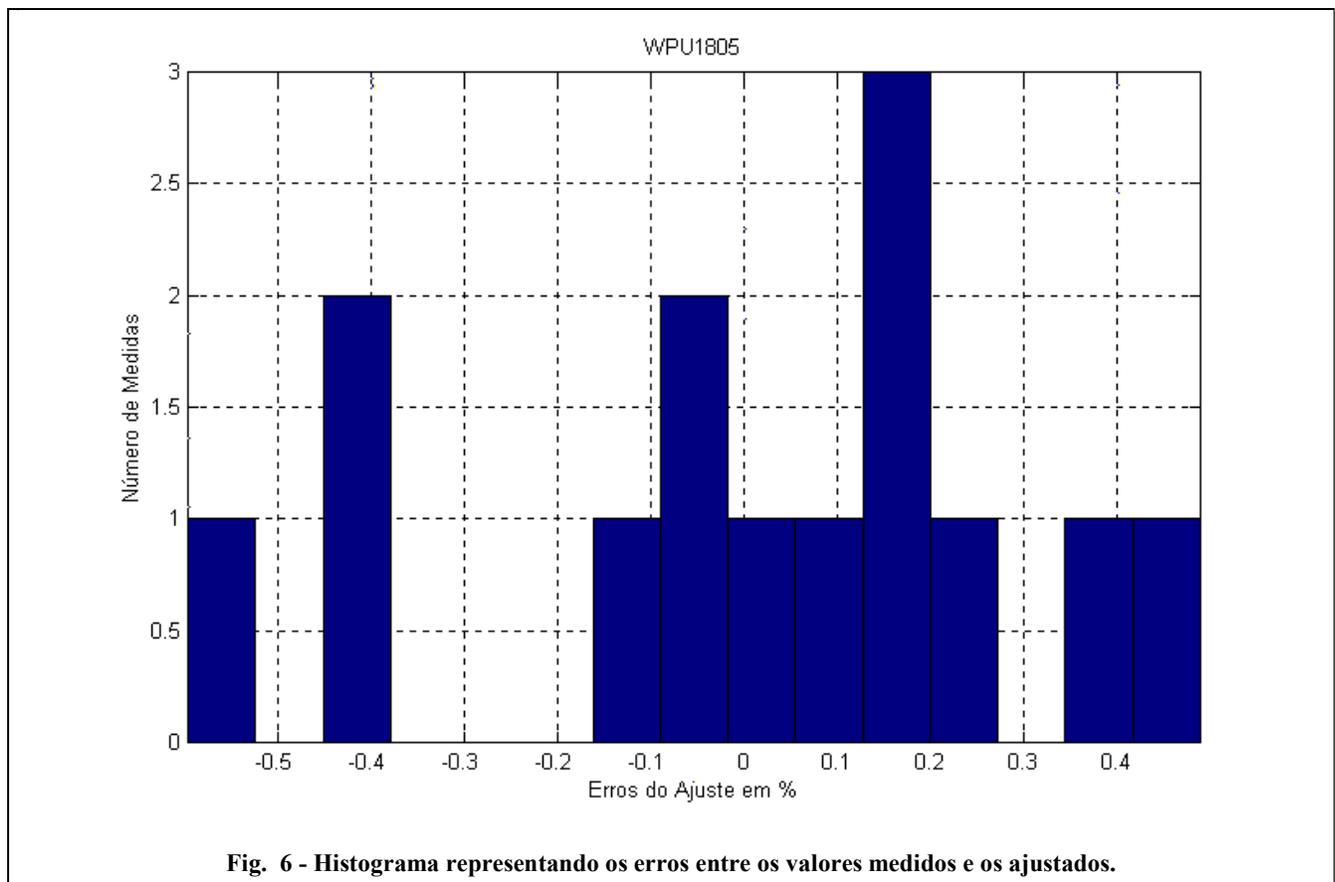
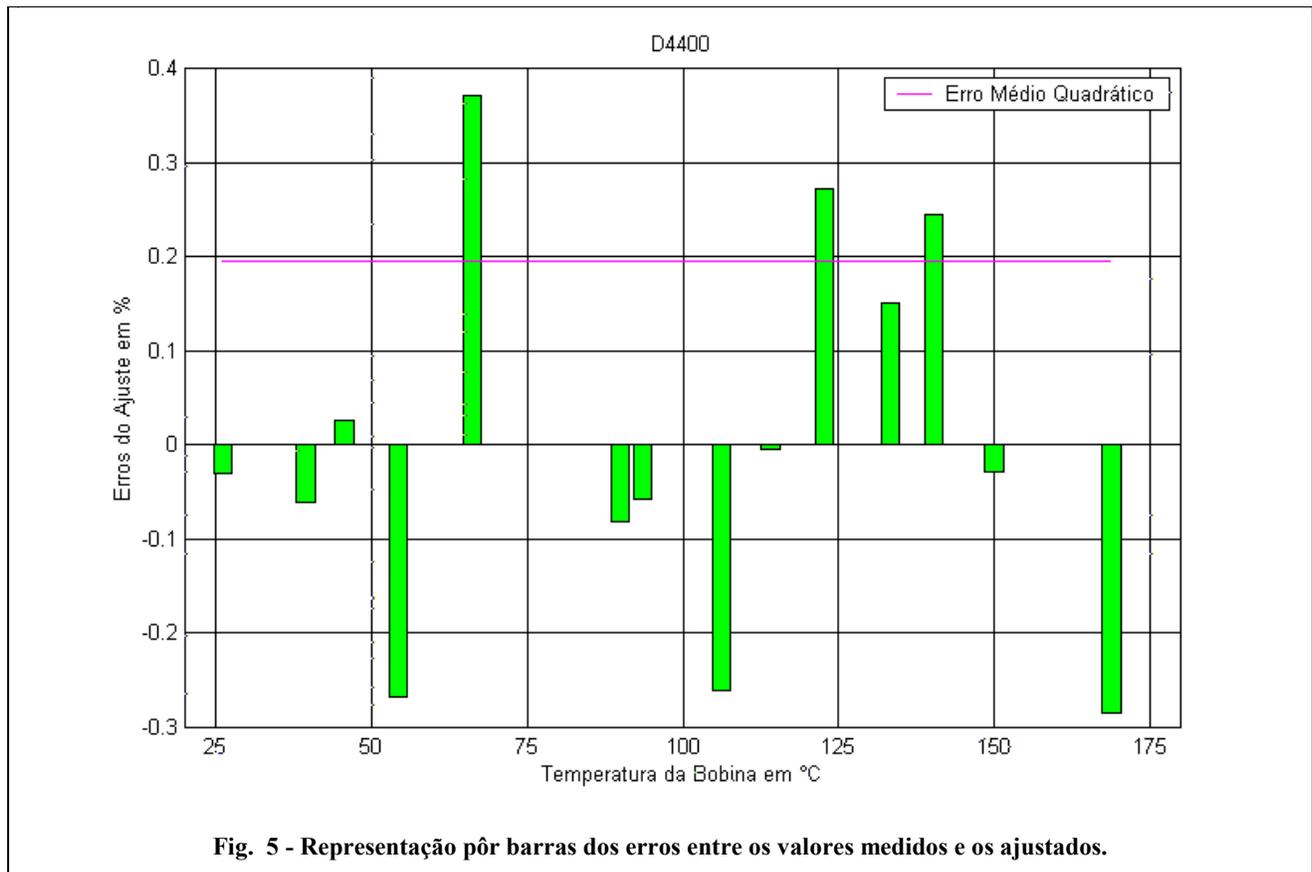
Esta equação nos informa que a resistência da bobina do **18SW1P**, a zero grau, vale 5,4843 ohms e que a resistência cresce a uma taxa 0,0253 ohms pôr graus centígrados. Assim sendo, 150 °C acima de zero, a resistência terá crescido $0,0253 \cdot 150 = 3,795 \Omega$.

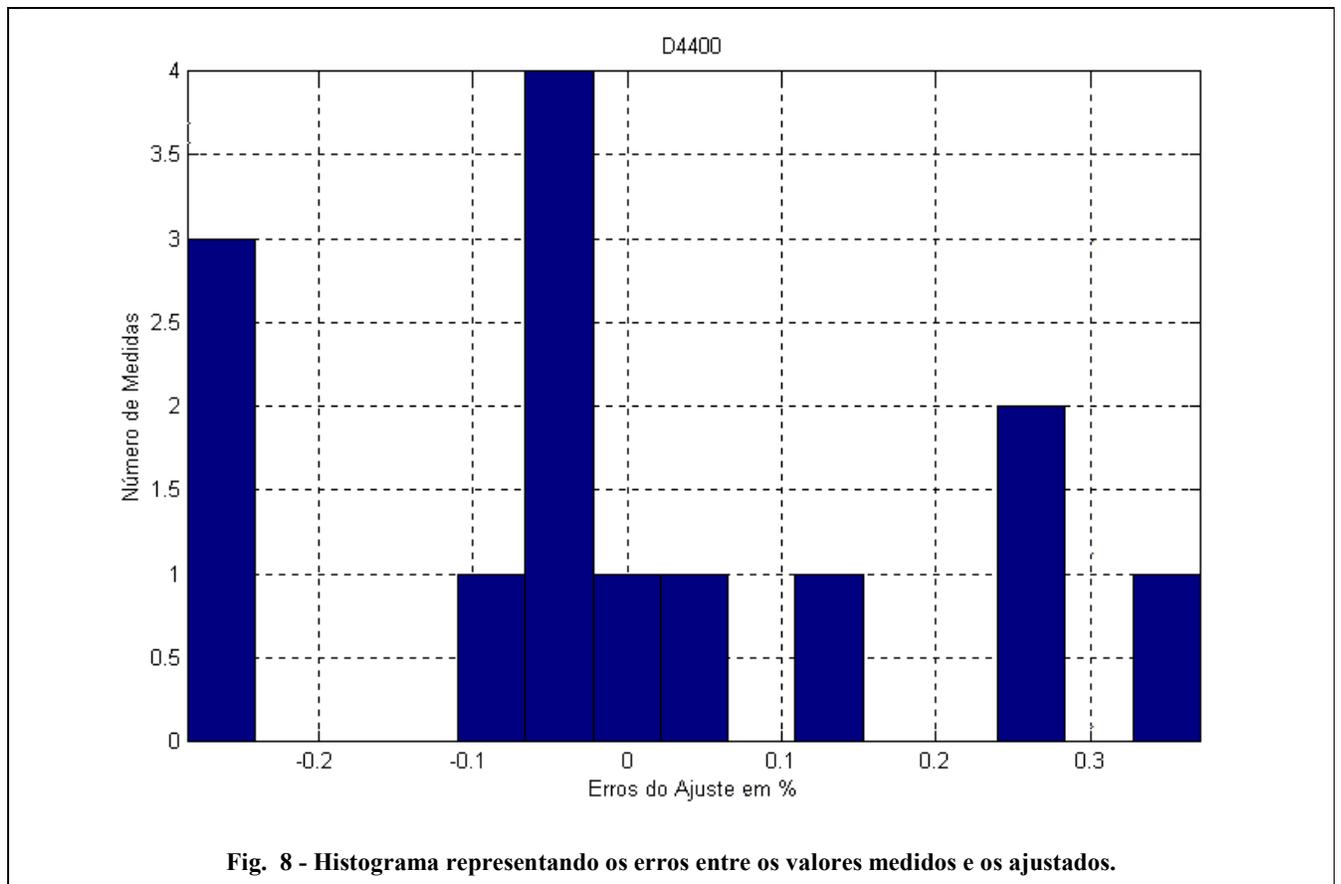
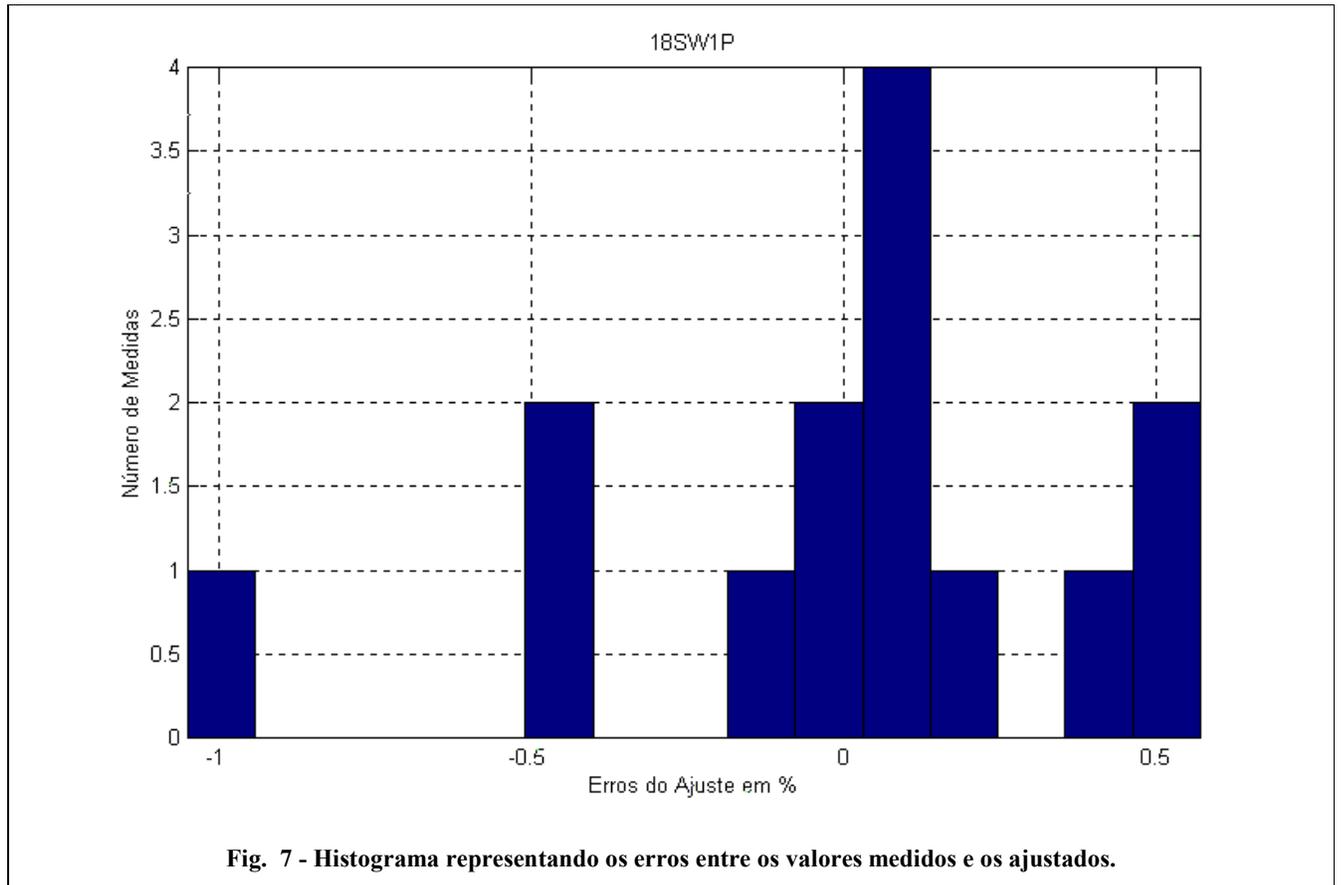
Desse modo o valor final será $3,795 + 5,4843 = 9,2793 \cong 9,3 \Omega$

No sentido inverso, 9,3 ohms de resistência corresponderiam a $T_B = \frac{9,3 - 5,48}{0,0253} \cong 151^\circ\text{C}$.









WPU1805			
TEMPERATURA	MEDIDAS	AJUSTE	ÊRRO %
T_B	R_B	R_B	
26.00	6.83	6.82	0.14
39.40	7.18	7.18	0.04
45.60	7.34	7.34	-0.03
54.20	7.58	7.57	0.11
66.20	7.93	7.89	0.49
90.00	8.49	8.53	-0.42
93.60	8.57	8.62	-0.60
106.20	8.92	8.96	-0.41
114.10	9.18	9.17	0.14
122.80	9.42	9.40	0.22
133.30	9.67	9.68	-0.09
140.30	9.90	9.87	0.35
150.00	10.14	10.12	0.16
168.90	10.62	10.63	-0.07

18SW1P			
TEMPERATURA	MEDIDAS	AJUSTE	ÊRRO %
T_B	R_B	R_B	
26.00	6.17	6.14	0.45
39.40	6.49	6.48	0.14
45.60	6.63	6.64	-0.12
54.20	6.86	6.86	0.07
66.20	7.20	7.16	0.57
90.00	7.73	7.76	-0.40
93.60	7.77	7.85	-1.05
106.20	8.13	8.17	-0.50
114.10	8.38	8.37	0.11
122.80	8.60	8.59	0.10
133.30	8.85	8.86	-0.08
140.30	9.08	9.03	0.51
150.00	9.30	9.28	0.22
168.90	9.76	9.76	0.03

D4400			
TEMPERATURA	MEDIDAS	AJUSTE	ÊRRO %
T_B	R_B	R_B	
26.00	5.28	5.28	-0.03
39.40	5.57	5.57	-0.06
45.60	5.71	5.71	0.03
54.20	5.88	5.90	-0.27
66.20	6.18	6.16	0.37
90.00	6.67	6.68	-0.08
93.60	6.75	6.75	-0.06
106.20	7.01	7.03	-0.26
114.10	7.20	7.20	-0.01
122.80	7.41	7.39	0.27
133.30	7.63	7.62	0.15
140.30	7.79	7.77	0.24
150.00	7.98	7.98	-0.03
168.90	8.37	8.39	-0.28

Tabela 3 - Valores medidos, ajustados e o erro do ajuste, para as três amostras.

As Figs. 1 a 8 nos mostram que os dados obtidos concordaram muito bem, na faixa de temperatura utilizada, com o modelo escolhido, ou seja, uma equação do primeiro grau.

Conforme vimos no **Exemplo 1**, as equações até aqui desenvolvidas são suficientes para resolvermos o problema prático que nos interessa que é o cálculo da temperatura atingida pela bobina, em função do valor alcançado pôr sua resistência . No entanto, consultando a literatura especializada, vemos que o mais comum é a utilização de uma equação onde aparece o parâmetro α , denominado coeficiente de temperatura do material, normalmente referido a uma temperatura de 25 °C, ou seja, α_{25} .

Esse coeficiente a 25 °C assume, respectivamente, os valores de **0,00385** e **0,00401** para o cobre e o alumínio genéricos.

As equações abaixo vão nos levar à obtenção de α , em função dos valores obtidos nas medições, não apenas para 25 °C, mas para qualquer outra temperatura desejada.

A primeira igualdade da **Eq. 6** nos leva à **Eq. 7**.

Dividindo ambos os membros desta equação pôr R_A , obteremos na **Eq. 8** a expressão do coeficiente de temperatura α_A , do material, em uma dada temperatura T_A . Aplicando novamente o mesmo procedimento, poderemos obter o valor de α_0 , ou seja o coeficiente de temperatura relativo a uma temperatura de zero grau Celcius.

$$\frac{\Delta R}{\Delta T} = a \quad \therefore \quad \Delta R = a \cdot \Delta T \quad (7)$$

$$\frac{\Delta R}{R_A} = \frac{a \cdot \Delta T}{R_A} \quad \therefore \quad \alpha_A = \frac{a}{R_A} \quad \Rightarrow \quad \alpha_0 = \frac{a}{R_0} \quad \text{cuja dimensão é } \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right] \quad (8)$$

$$\text{Como } \Delta R = R_B - R_A \quad \text{e} \quad \Delta T = T_B - T_A \quad \text{e} \quad a = \alpha_A \cdot R_A \quad \text{então:} \quad (9)$$

$$\frac{R_B - R_A}{R_A} = \alpha_A (T_B - T_A) \quad \therefore \quad \alpha_A = \frac{R_B - R_A}{R_A \cdot (T_B - T_A)} \quad \therefore \quad \alpha_A = \frac{\frac{R_B}{R_A} - 1}{(T_B - T_A)} \quad (10)$$

$$\alpha_A = \frac{\frac{R_B}{R_A} - 1}{(T_B - T_A)} \quad \therefore \quad \alpha_{25} = \frac{\frac{R_B}{R_{25}} - 1}{(T_B - T_{25})} \quad \therefore \quad \alpha_0 = \frac{\frac{R_B}{R_0} - 1}{T_B} \quad (10a)$$

$$\frac{R_B}{R_A} - 1 = \alpha_A (T_B - T_A) \quad \therefore \quad \frac{R_B}{R_A} = 1 + \alpha_A (T_B - T_A) \quad (11)$$

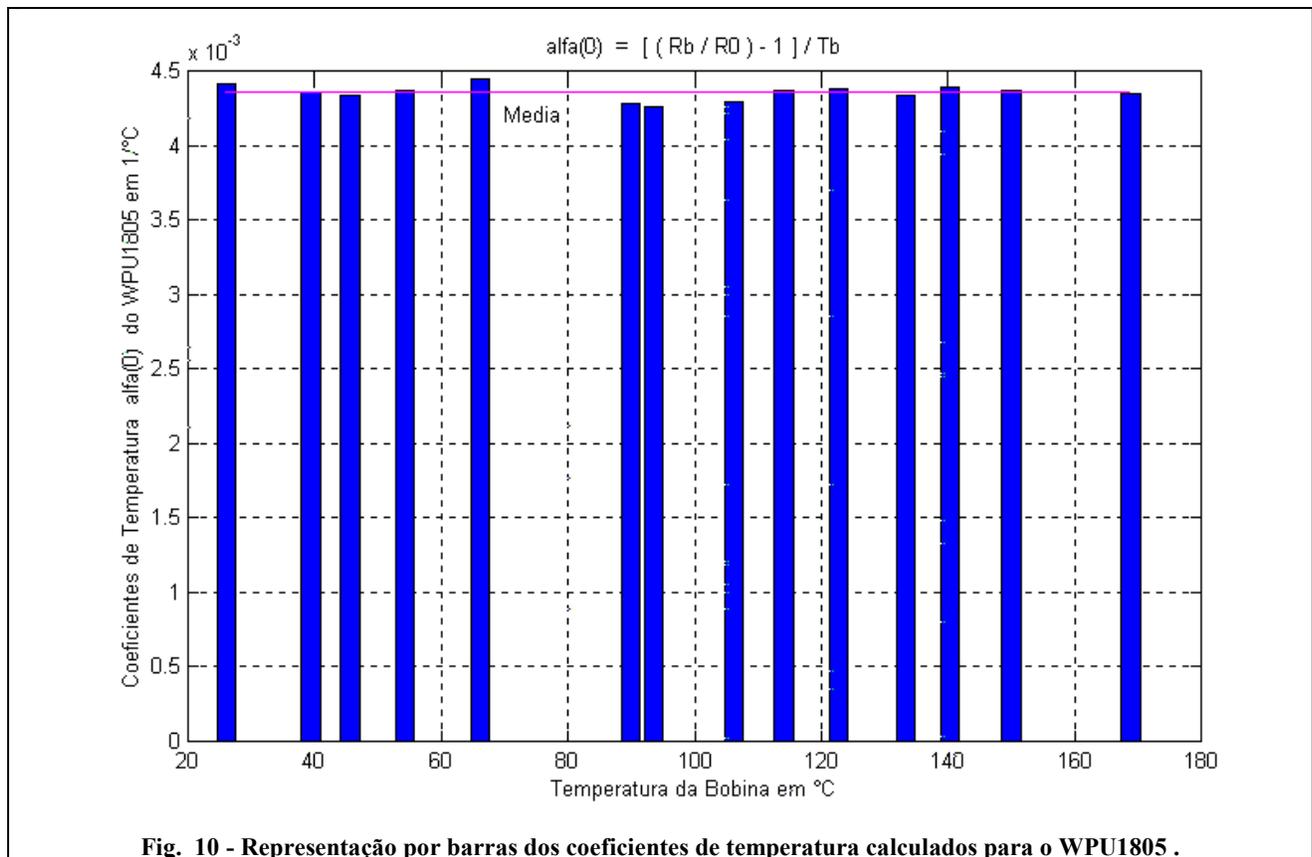
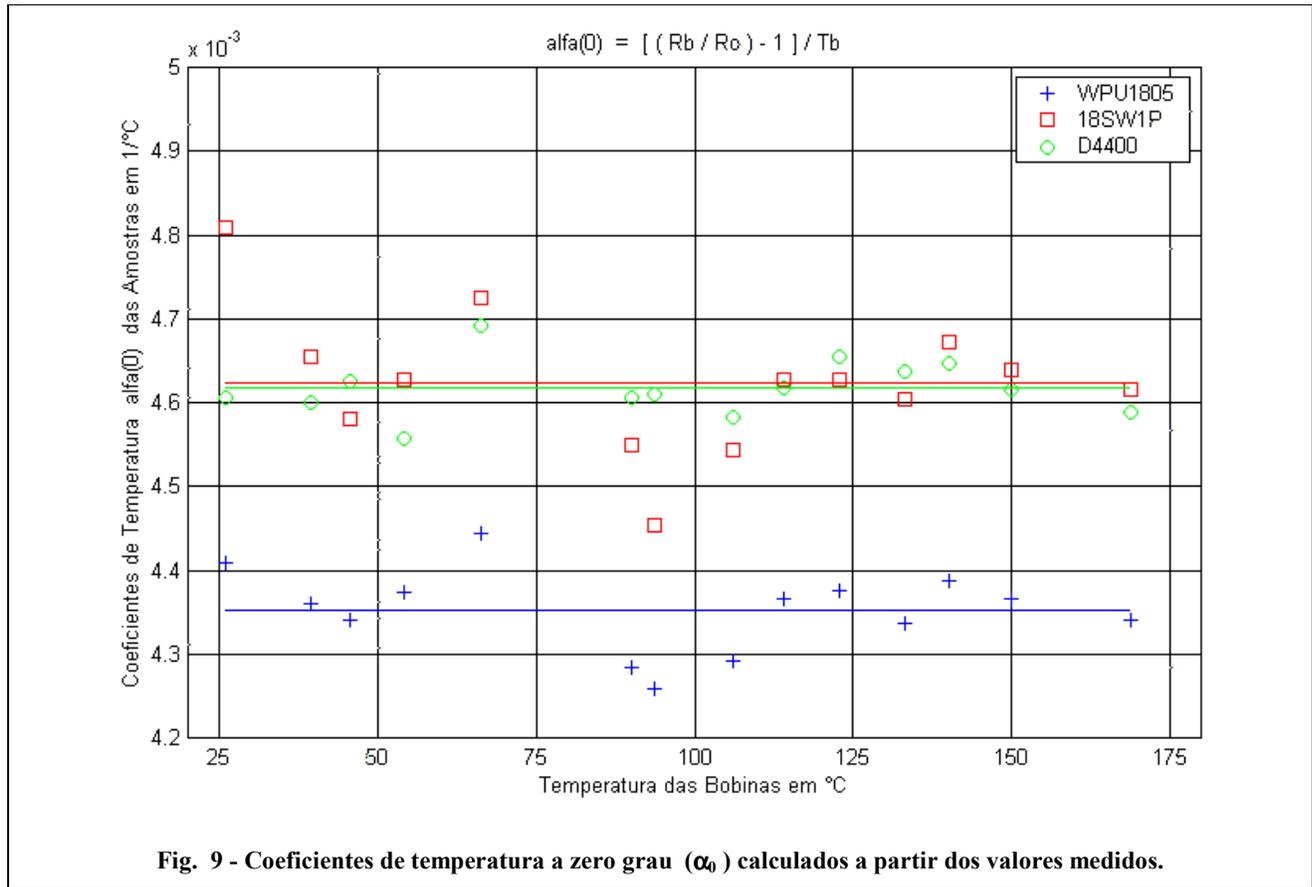
$$R_B = R_A [1 + \alpha_A (T_B - T_A)] \quad (12)$$

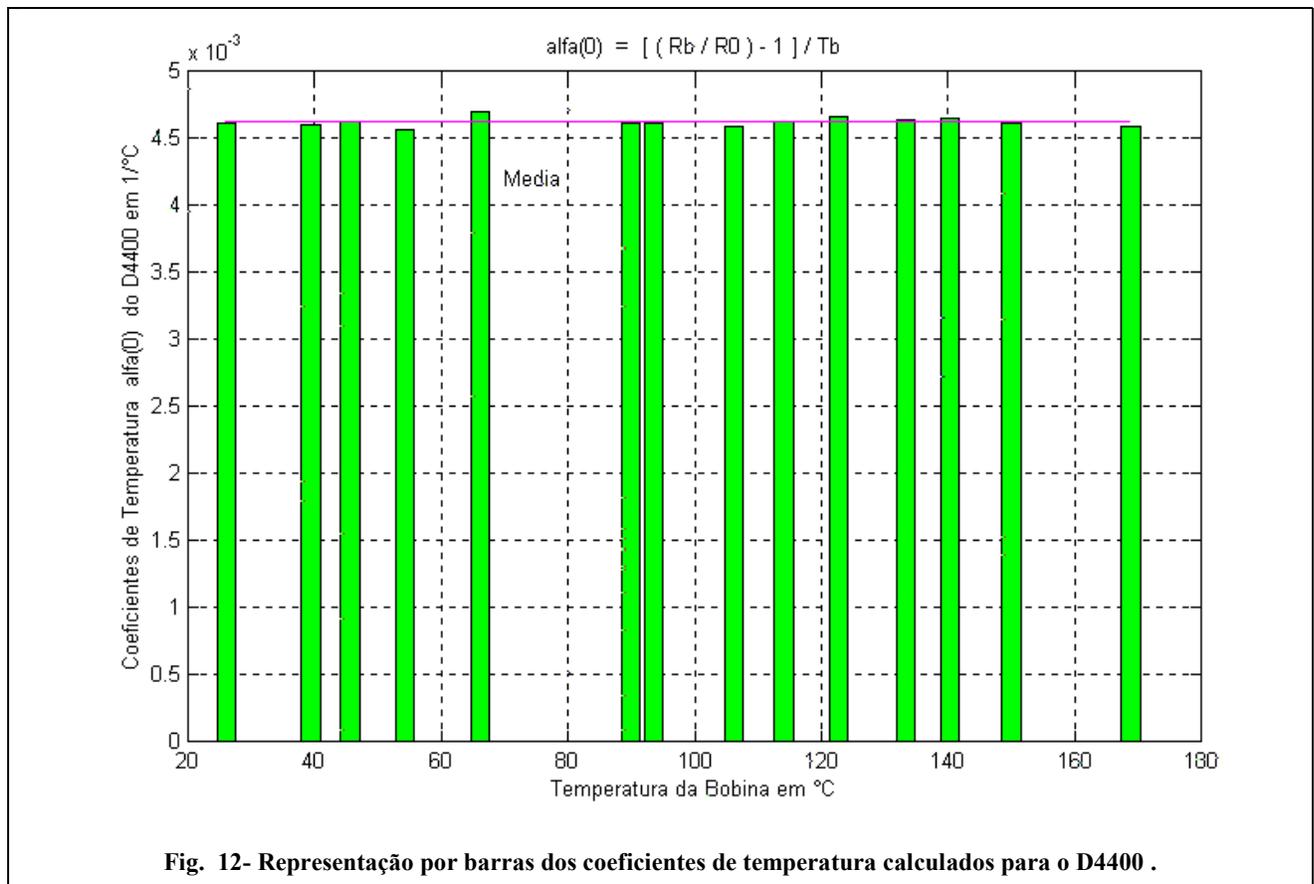
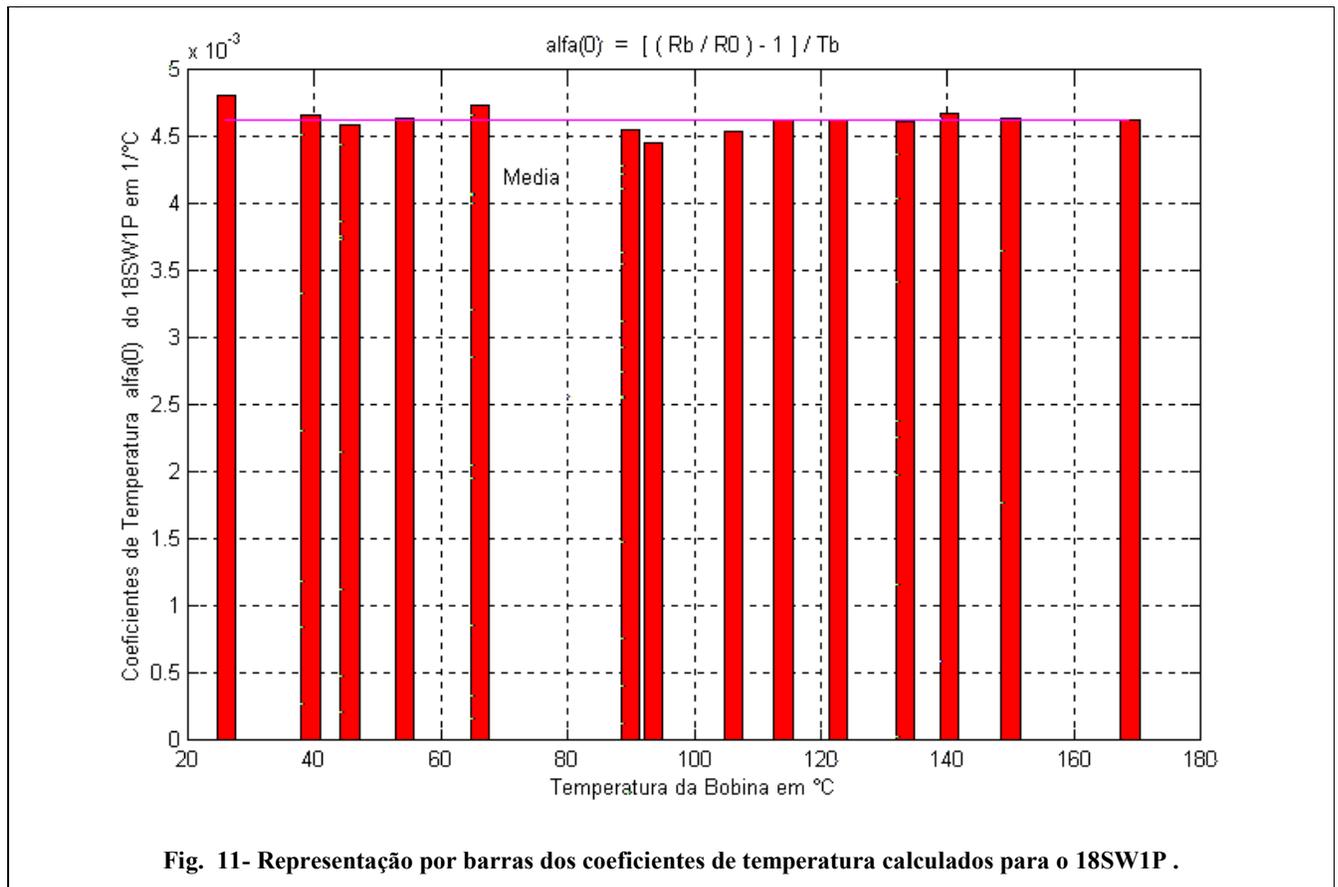
Através do desenvolvimento contido na **Eq. 9**, chegamos às **Eqs. 10, 10a e 11**, que nos levam à **Eq. 12**, que é a expressão normalmente usada para calcular a temperatura T_B da bobina, conhecido o valor da sua resistência correspondente R_B , além da temperatura T_A e da resistência R_A .

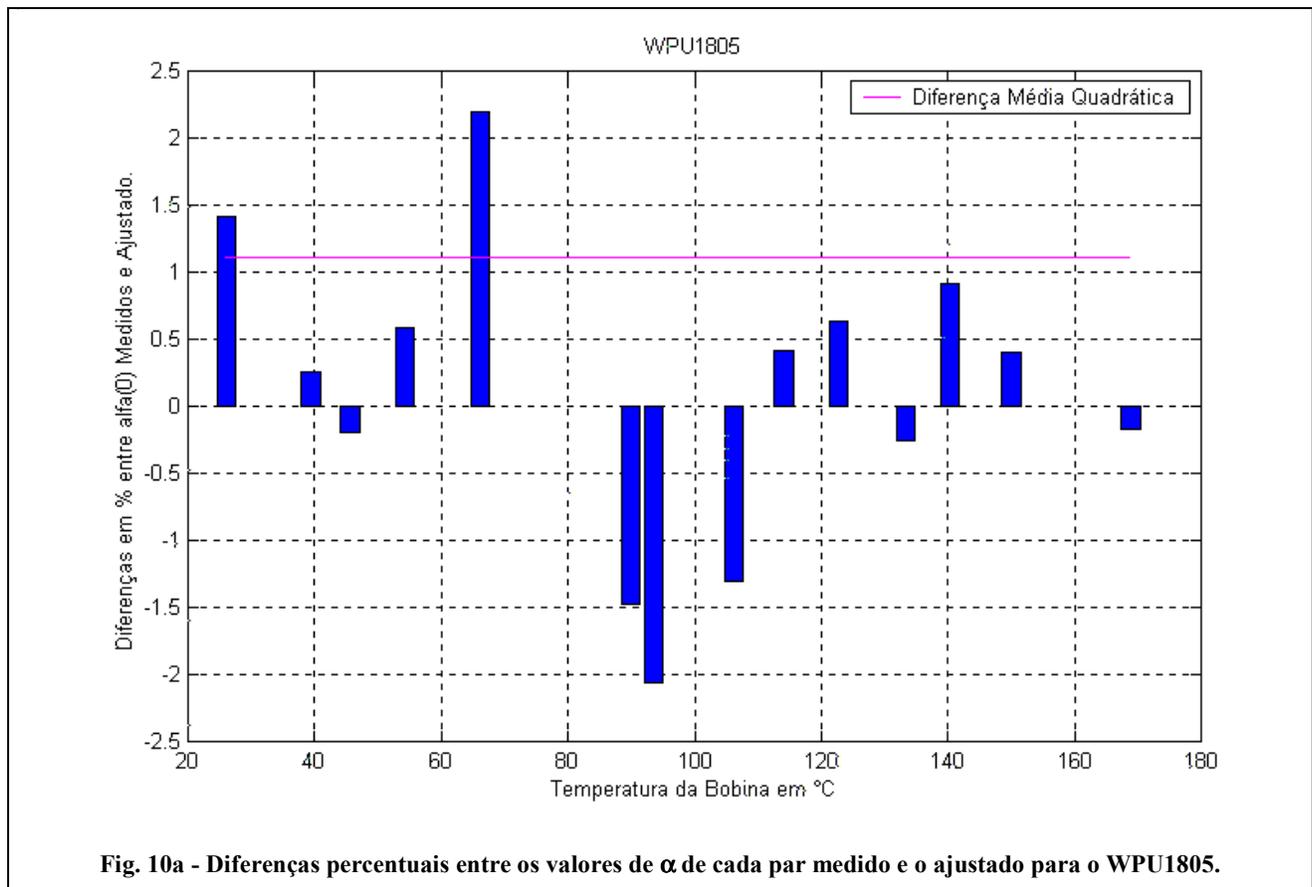
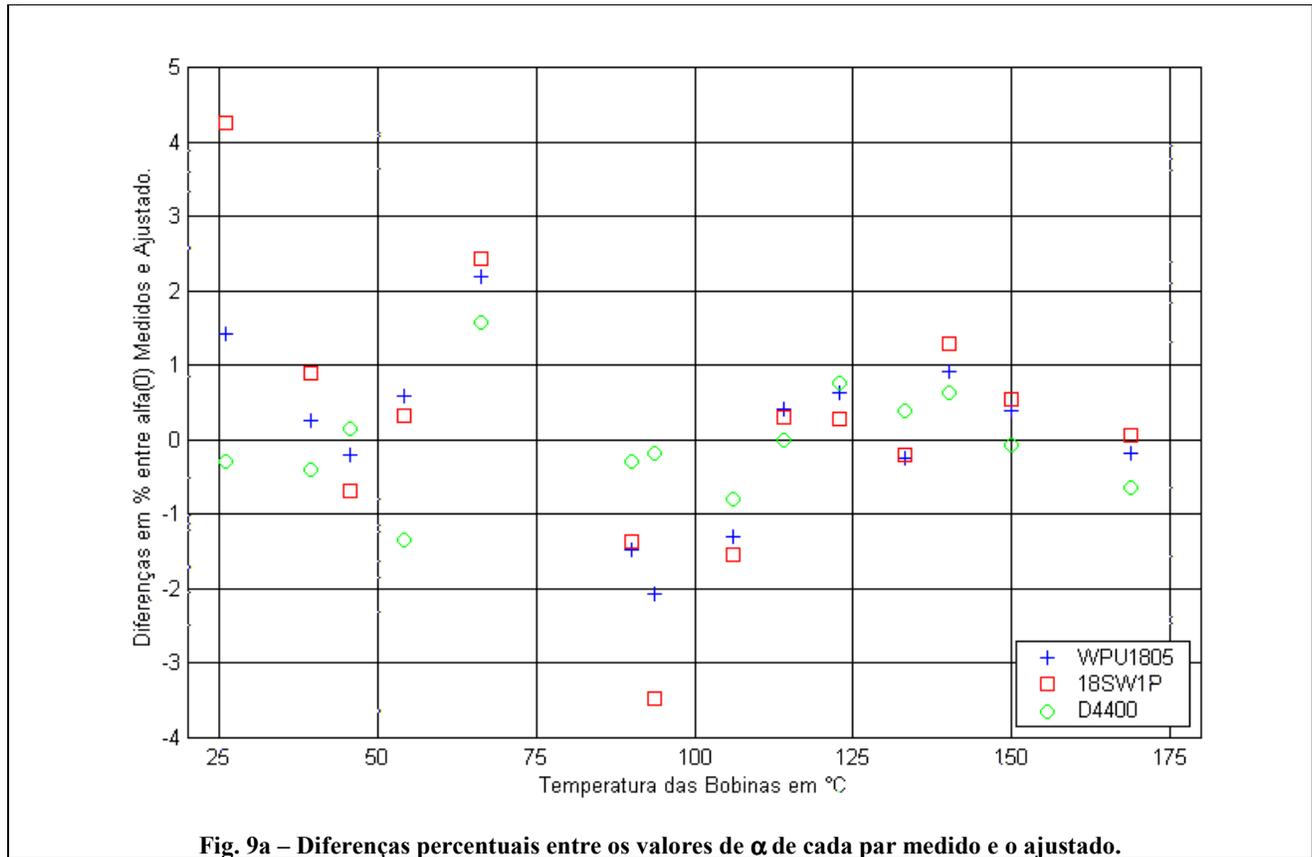
A partir dos valores de T_B e R_B , obtidos nas medições, e do valor da resistência da bobina a zero grau, R_0 , fornecido pelo polinômio de ajuste das curvas, usando a **Eq. 10a** foram calculamos os valores de α_0 para cada um dos pares T_B , R_B .

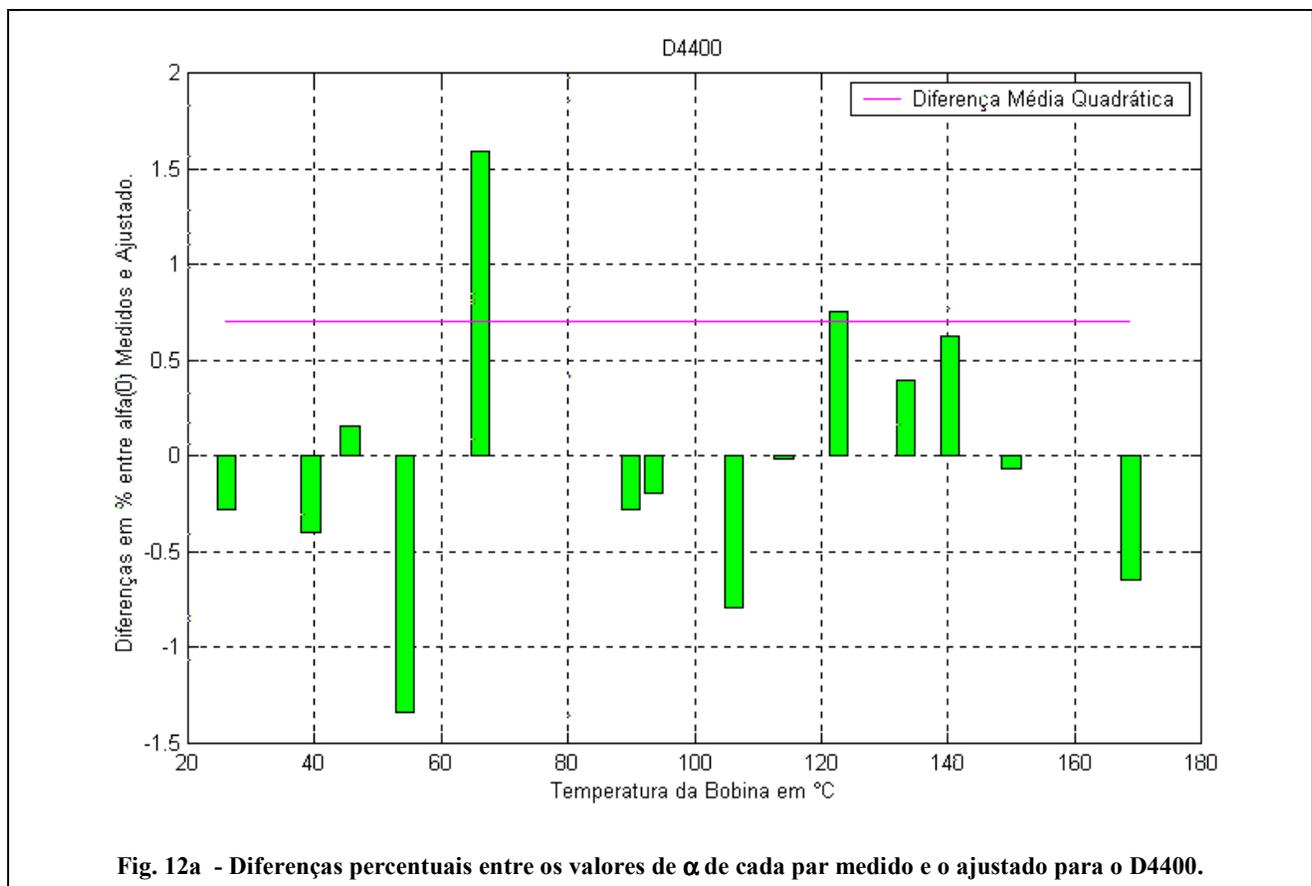
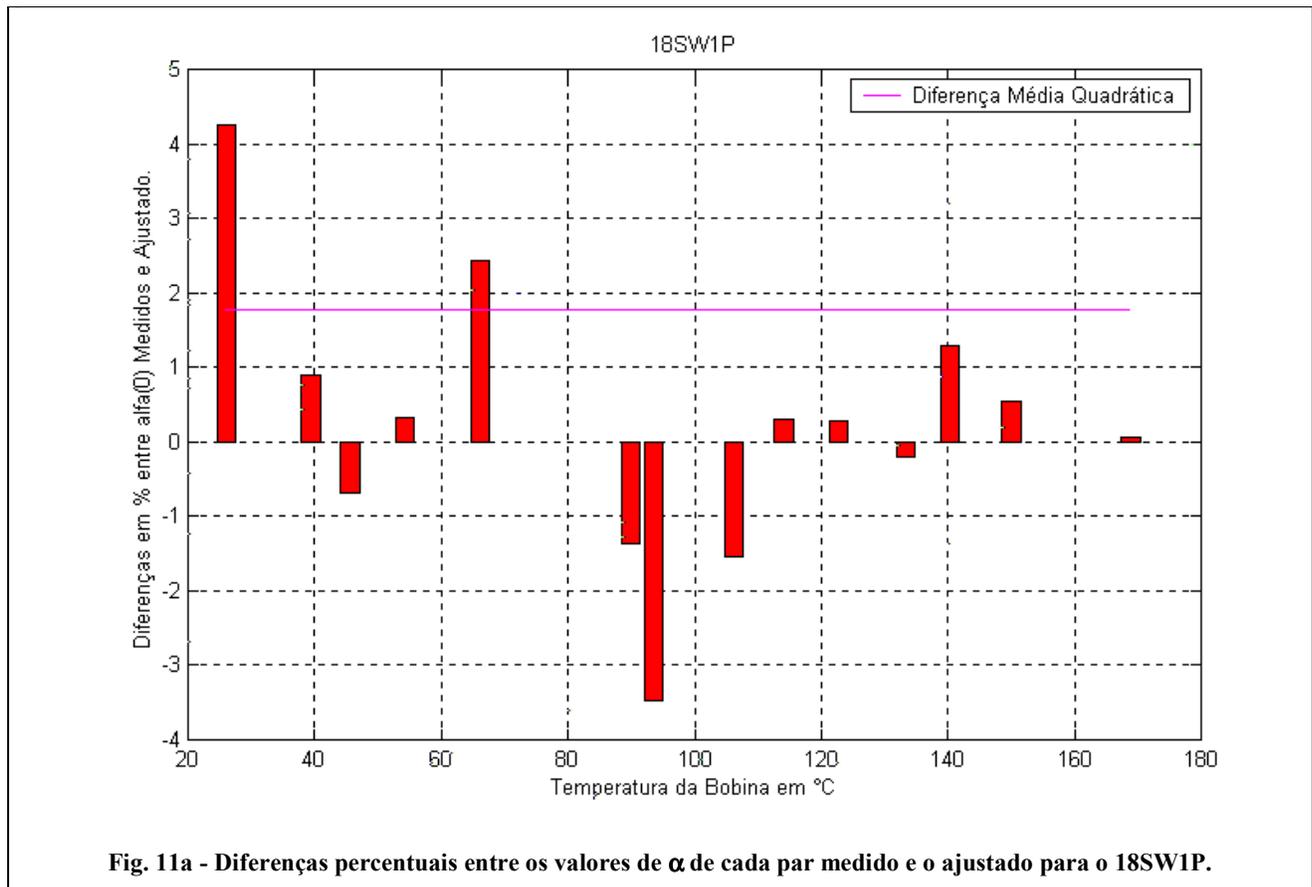
Os resultados assim obtidos podem ser visualizados nas **Figs. 9, 10, 11 e 12**.

Nas **Figs. 9a, 10a, 11a e 12a** vemos as diferenças percentuais entre os coeficientes de temperatura a zero grau, calculados a partir dos valor medidos, em relação ao obtido, respectivamente, para cada amostra, através do polinômio de ajuste.









A **Eq. 12**, embora muito utilizada, possui um pequeno inconveniente: o valor do coeficiente de temperatura α_A , que conforme podemos ver na **Eq. 10a**, é função de T_A , deve ser conhecido para todos os valores da temperatura ambiente T_A . Como o valor do coeficiente de temperatura do cobre e do alumínio são normalmente fornecidos para 25 °C, para outros valores de temperatura ambiente, diferentes de 25 °C, haverá um erro produzido pela **Eq. 12**, conforme podemos ver nas **Figs. 13, 14 e 15**.

Este problema pode ser contornado usando-se uma equação livre desse inconveniente e que será obtida, a seguir, combinando-se as **Eqs. 2 e 8**, conforme abaixo:

$$\text{Como } R_B = a \cdot T_B + R_0 \quad (2) \quad \text{e} \quad a = \alpha_0 \cdot R_0 \quad (8)$$

$$\frac{R_B}{R_0} = \frac{a \cdot T_B}{R_0} + 1 \quad (13)$$

$$\frac{R_B}{R_0} = \alpha_0 \cdot T_B + 1 \quad (14)$$

$$\frac{R_A}{R_0} = \alpha_0 \cdot T_A + 1 \quad (\text{pôr analogia com a equação acima}) \quad (15)$$

Dividindo membro a membro as equações (14) e (15), teremos

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{\alpha_0 T_B + 1}{\alpha_0 T_A + 1} \quad (16)$$

A **Eq. 16** pode ser utilizada para quaisquer valores de T_B e T_A sem que nenhum erro seja introduzido, bastando que se conheça o valor do coeficiente de temperatura do fio da bobina a zero grau, α_0 , que é uma constante (como mostram as **Eqs. 6 e 8**, uma vez que a é o coeficiente angular de uma equação do primeiro grau), e não uma função da temperatura T_A , como acontece com α_A .

Podemos, também, desenvolver relações que nos permitam calcular o valor de α em qualquer temperatura, conforme segue-se abaixo:

Pôr analogia com a **Eq. 4**, obteremos a **Eq. 17** e a partir da **Eq. 8** chegaremos às igualdades contidas na **Eq. 18**.

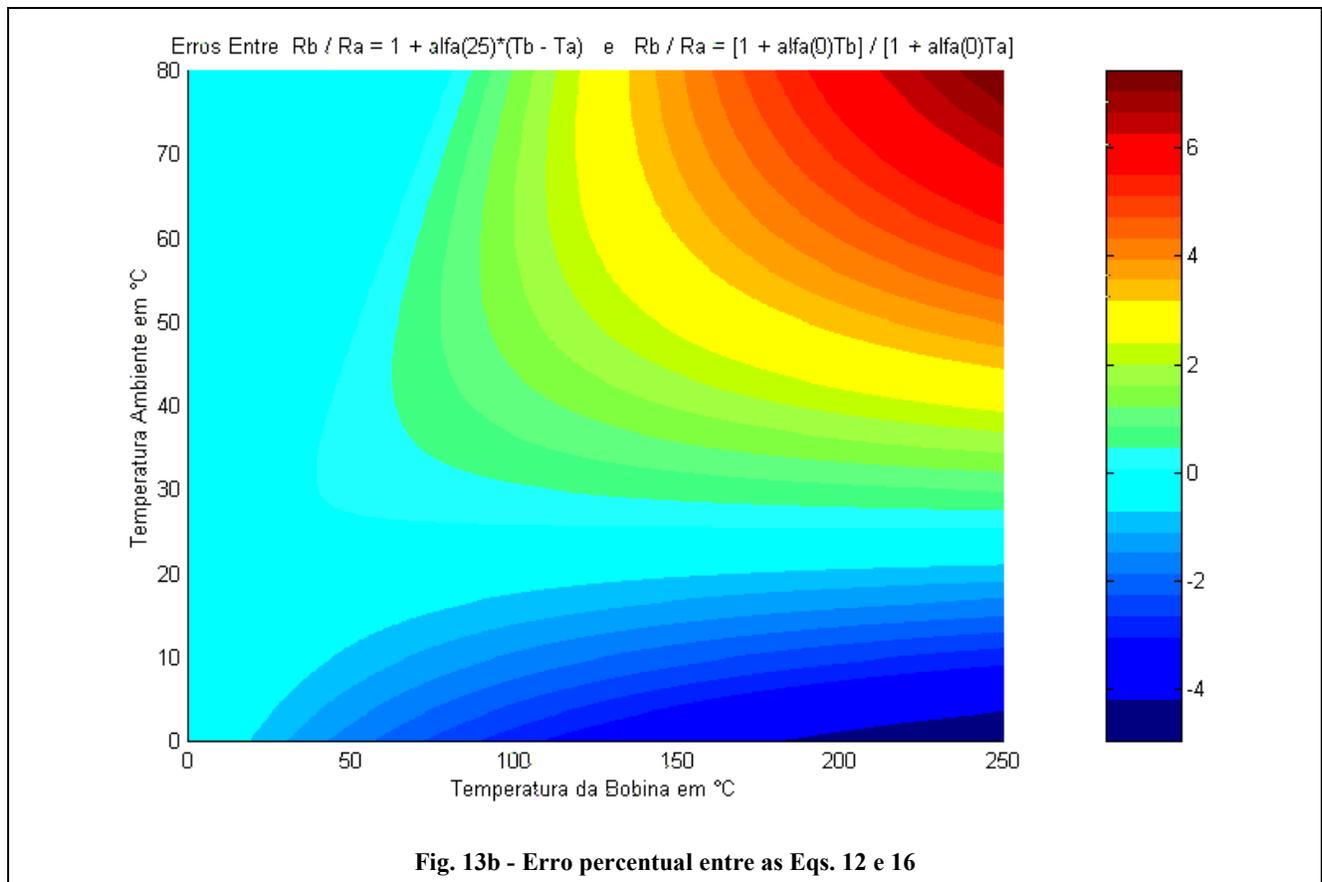
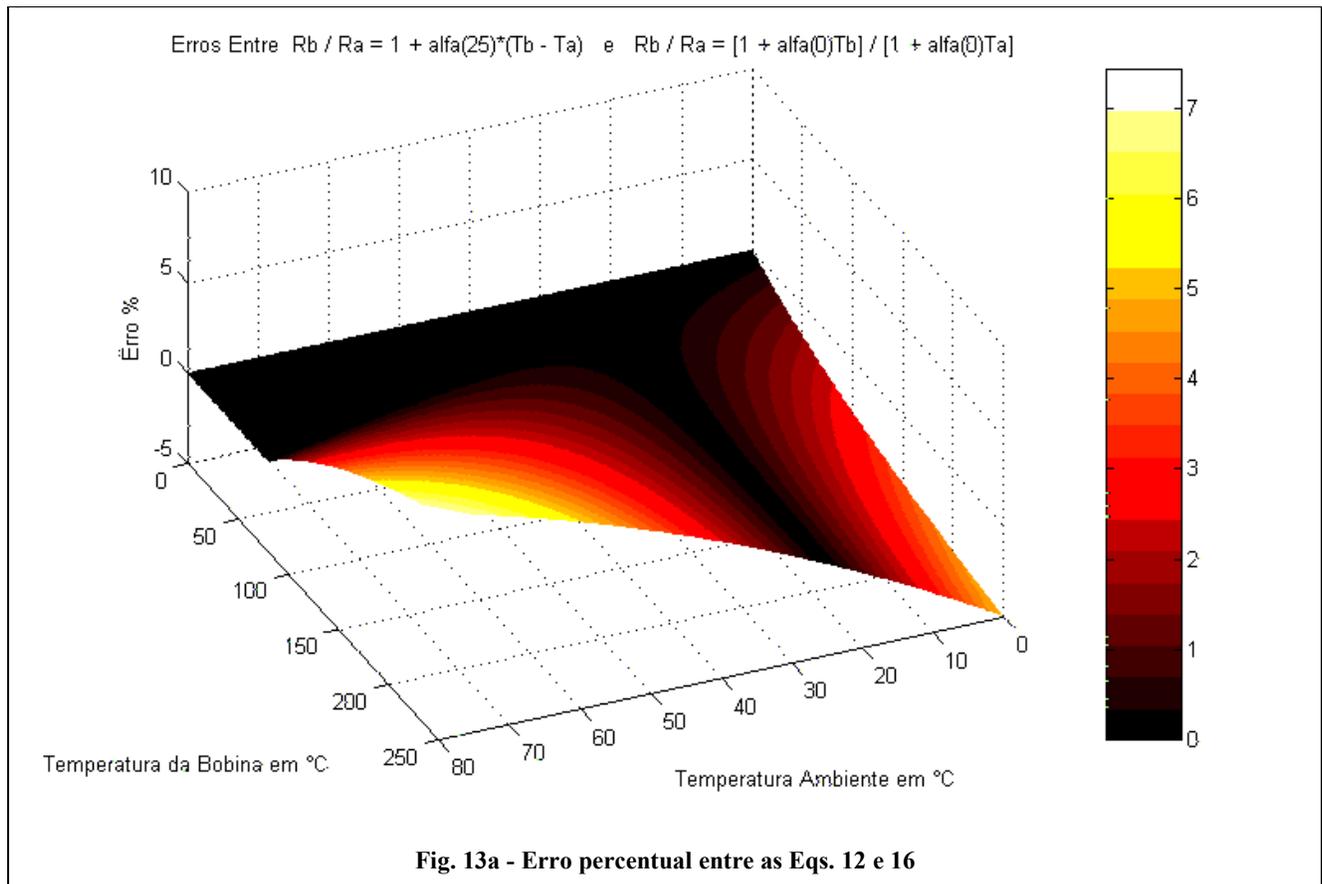
$$R_A = a \cdot T_A + R_0 \quad (17)$$

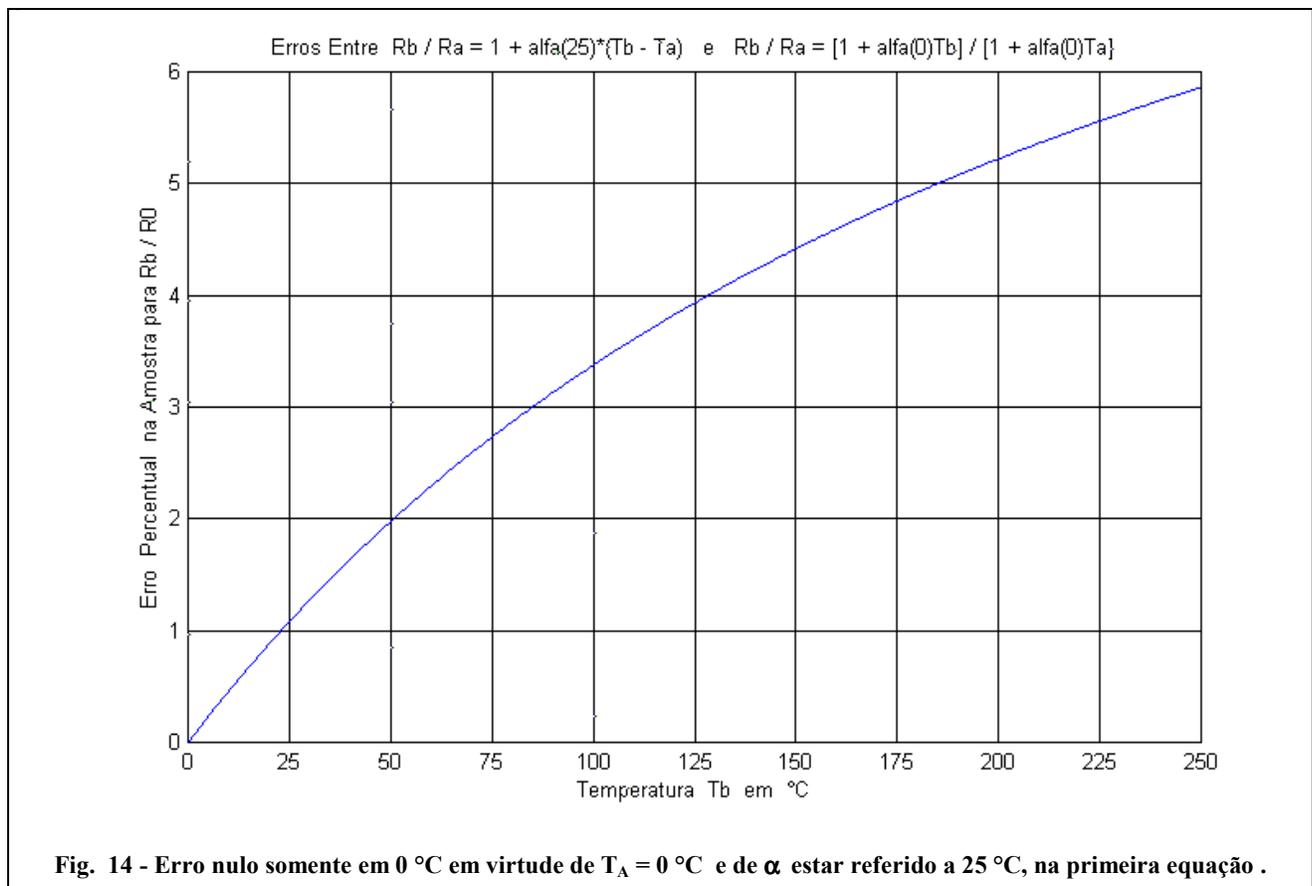
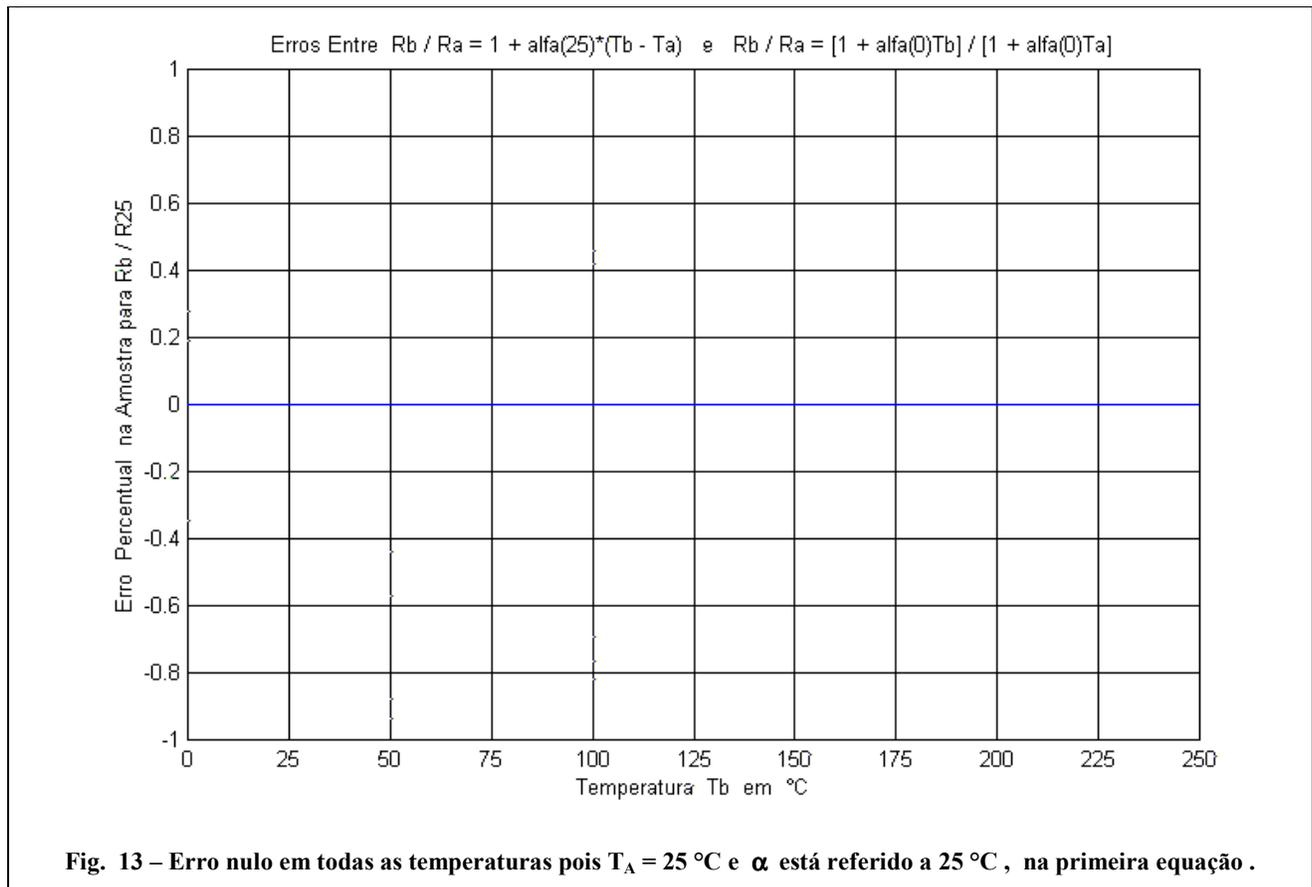
$$\alpha_A = \frac{a}{R_A} = \frac{a}{a \cdot T_A + R_0} = \frac{1}{T_A + \frac{R_0}{a}} = \frac{1}{T_A + \frac{1}{\alpha_0}} \quad (18)$$

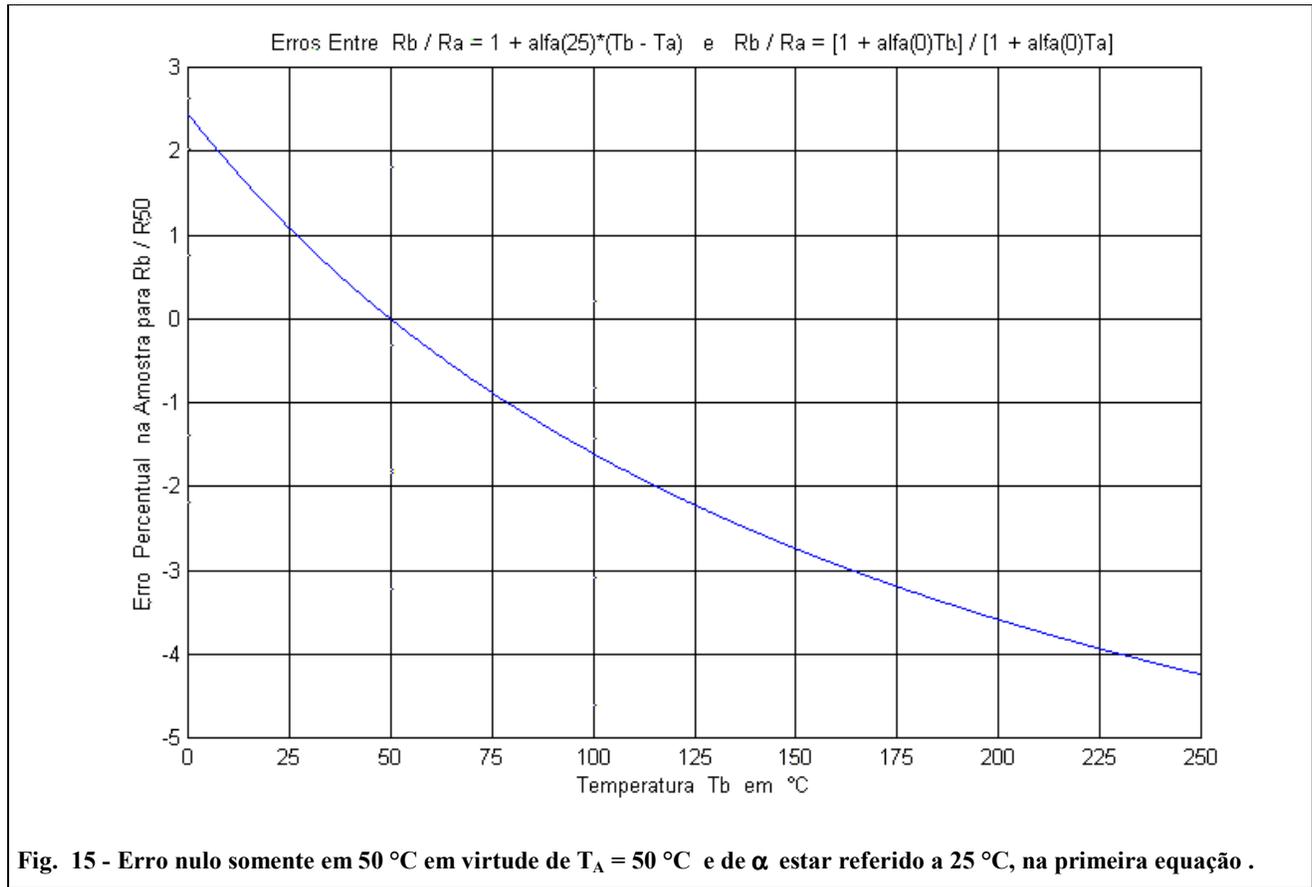
Pôr analogia com (18), vem:

$$\alpha_B = \frac{a}{R_B} = \frac{a}{a \cdot T_B + R_0} = \frac{1}{T_B + \frac{R_0}{a}} = \frac{1}{T_B + \frac{1}{\alpha_0}} \quad (19)$$

Explicitando α_0 em (18), vem :







$$\alpha_0 = \frac{a}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_A} - T_A} \quad (20)$$

$$\alpha_B = \frac{1}{T_B + \frac{1}{\alpha_0}} = \frac{1}{T_B - T_A + \frac{1}{\alpha_A}} \quad \text{pôr substituição de (20) em (19)} \quad (21)$$

$$\text{Se } T_A = 25^\circ \text{ então } \alpha_B = \frac{1}{T_B - 25 + \frac{1}{\alpha_{25}}} \quad (22)$$

Exemplo 2 – Calcule o valor do coeficiente de temperatura do cobre a 30 °C e 0 °C, a partir do seu valor a 25 °C.

Como $\alpha_{Cu_{25}} = 0,00385$, utilizando a **Eq. 21**, vem:

$$\alpha_{Cu_0} = \frac{1}{0 - 25 + \frac{1}{0,00385}} = 0,00426$$

$$\alpha_{Cu_{30}} = \frac{1}{30 - 25 + \frac{1}{0,00385}} = 0,00378$$

COEFICIENTES DE TEMPERATURA				
	α_0	α_{20}	α_{22}	α_{25}
COBRE	0,00426	0,00393	0,00390	0,00385
ALUMÍNIO	0,00446	0,00409	0,00406	0,00401
WPU1805	0,00435	0,00400	0,00397	0,00392
18SW1P	0,00461	0,00422	0,00419	0,00414
D4400	0,00462	0,00423	0,00419	0,00414

Tabela 4 - Resumo dos coeficientes de temperatura de interesse .

Na **Tabela 4**, encontramos um resumo com os coeficientes de temperatura das amostras, além daqueles do cobre e do alumínio, para diversas temperaturas.

Na **Fig. 16**, obtida utilizando-se a **Eq. 22** , podemos observar a variação do coeficiente de temperatura α , em um intervalo de 0 a 30 °C, para as três amostras utilizadas no experimento, além daqueles referentes ao cobre e ao alumínio.

A **Fig. 17**, criada a partir da **Eq. 11**, particularizada para $T_A = 25$ °C (e assim livre de erro), mostra a variação do cociente R_B/R_A para uma variação de temperatura na bobina de 0 a 250 °C .

Conforme o **Exemplo 2**, através das **Eqs. 20** ou **21**, podemos calcular o valor de α_0 em função do valor de α_A , conhecido para qualquer temperatura. Substituindo o valor de α_0 , assim obtido, poderemos sempre usar a **Eq. 16** ou até adequá-la para α_{25} .

Para isso basta reescrever a **Eq. 20** conforme abaixo e substituir α_0 na **Eq. 16** .

$$\alpha_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{25}} - 25} \quad \text{cuja dimensão é } \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right] \quad (23)$$

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{\alpha_{25}(T_B - 25) + 1}{\alpha_{25}(T_A - 25) + 1} \quad (24)$$

Como α_{25} é constante, a **Eq. 24** poderá ser usada, sem restrições, para quaisquer valores de temperatura.

Outro aspecto prático interessante, consiste na representação gráfica, em três dimensões, do cociente R_B / R_A em função da variação de temperatura $T_B - T_A$ e da temperatura T_A .

A **Fig. 18**, obtida a partir da **Eq. 16**, apresenta uma “zona morta”, destituída de significado prático, que corresponde aos valores de temperatura da bobina, T_B , iguais ou menores que os assumidos pela temperatura ambiente, T_A .

Uma expressão adequada para resolver esse inconveniente pode ser obtida reescrevendo as **Eqs. 13** e **14**, conforme o desenvolvimento que se segue, abaixo, e que leva à **Eq. 31**.

A **Fig. 19**, gerada pela **Eq. 31**, como utiliza a diferença de temperatura $T_B - T_A$, não apresenta o inconveniente observado na **Fig. 18** .

$$R_B = \alpha_0 \cdot R_0 \cdot T_B + R_0 \quad (25)$$

$$R_A = \alpha_0 \cdot R_0 \cdot T_A + R_0 \quad (26)$$

$$R_B - R_A = \alpha_0 \cdot R_0 (T_B - T_A) \quad (\text{subtraindo as Eqs. 25 e 26}) \quad (27)$$

Explicitando R_0 em (26), e substituindo em (25), chegaremos em (31):

$$R_0 = \frac{R_A}{\alpha_0 \cdot T_A + 1} \quad (28)$$

$$R_B - R_A = \frac{\alpha_0 (T_B - T_A) R_A}{\alpha_0 \cdot T_A + 1} \quad (29)$$

$$\frac{R_B - R_A}{R_A} = \frac{T_B - T_A}{T_A + \frac{1}{\alpha_0}} \quad (30)$$

$$\frac{R_B}{R_A} = 1 + \frac{T_B - T_A}{T_A + \frac{1}{\alpha_0}} \quad (31)$$

$$T_B = T_A + \left(\frac{R_B}{R_A} - 1 \right) \left(T_A + \frac{1}{\alpha_0} \right) \quad (32)$$

$$T_B = T_A + \left(\frac{R_B}{R_A} - 1 \right) \left(T_A - 25 + \frac{1}{\alpha_{25}} \right) \quad (33)$$

Explicitando T_B na Eq. 31, obteremos a Eq. 32 e substituindo α_0 , nesta equação, pela expressão encontrada na Eq. 23, teremos a Eq. 33, que nos permite determinar a temperatura da bobina, em função da variação da resistência e do coeficiente de temperatura do material a 25 °C. Esta equação é exata para qualquer valor de temperatura ambiente.

Exemplo 3 – Determine a temperatura da bobina do driver D4400 no momento em que a resistência da bobina chegou a 7,98 ohms, sabendo-se que a 35 °C esta resistência era igual a 5,48 ohms.

Utilizando as Eqs. 32 e 33, deveremos obter o mesmo resultado:

$$T_B = 35 + \left(\frac{7,98}{5,48} - 1 \right) \left(35 + \frac{1}{0,00462} \right) = 149,7 \text{ °C}$$

$$T_B = 35 + \left(\frac{7,98}{5,48} - 1 \right) \left(35 - 25 + \frac{1}{0,00414} \right) = 149,8 \text{ °C}$$

Exemplo 4 - Utilizando o gráfico da **Fig. 17**, determine temperatura de operação da bobina do falante 18SW1P para uma resistência na bobina igual a 9,36 ohms, sabendo-se que na temperatura ambiente de 30 °C essa resistência valia 6,24 ohms.

Determinando o cociente entre as resistências, encontraremos: $\frac{9,36}{6,24} = 1,5$.

Entrando com 1,5 no eixo vertical do gráfico mostrado na **Fig. 17**, na curva correspondente ao 18SW1P, encontraremos, no eixo horizontal, uma diferença de temperatura $T_B - T_A = 120$ °C .

Como a temperatura ambiente era igual a 30 °C, a temperatura de operação seria de $120 + 30 = 150$ °C .

No entanto, aplicando-se a **Eq. 33** encontraríamos 155,8. Esta discrepância deve-se ao fato de que o gráfico da **Fig. 17** apresenta um erro caso a temperatura ambiente seja diferente de 25 °C.

Conclusão

Embora o assunto abordado não constitua novidade, o Autor acredita ter colaborado para esclarecer e difundir os conceitos envolvidos.

Diversas equações foram obtidas, permitindo converter os coeficientes de temperatura para os valores desejados, e expressões relacionando a resistência da bobina com sua temperatura foram demonstradas,, inclusive sem o erro devido a temperaturas ambiente diferentes de 25 °C, valor geralmente usado no fornecimento dos coeficientes de temperatura.

Uma metodologia para a obtenção desses coeficientes foi sugerida, tendo sido fornecida uma rotina no MatLab para ajudar nessa tarefa.

O processo pelo qual passam os condutores, durante o processo de achatamento, contribui para o aumento do coeficiente de temperatura do material. Dado o papel que a resistência da bobina desempenha na compressão de potência dos alto-falantes, é importante a utilização de condutores com baixos coeficientes de temperatura.

Esperemos que este trabalho sirva como incentivo para que fabricantes, projetistas e usuários usem cada vez mais as informações relativas à temperatura da bobina, vitais para o aproveitamento máximo dos transdutores, minimizando os riscos de danos térmicos.

Bibliografia

Homero Sette, “O Alto-Falante em Regime de Grandes Sinais”
AES-Brasil, 1996

Rudra Pratap, Getting Started With MATLAB 5
Oxford University Press, 1999

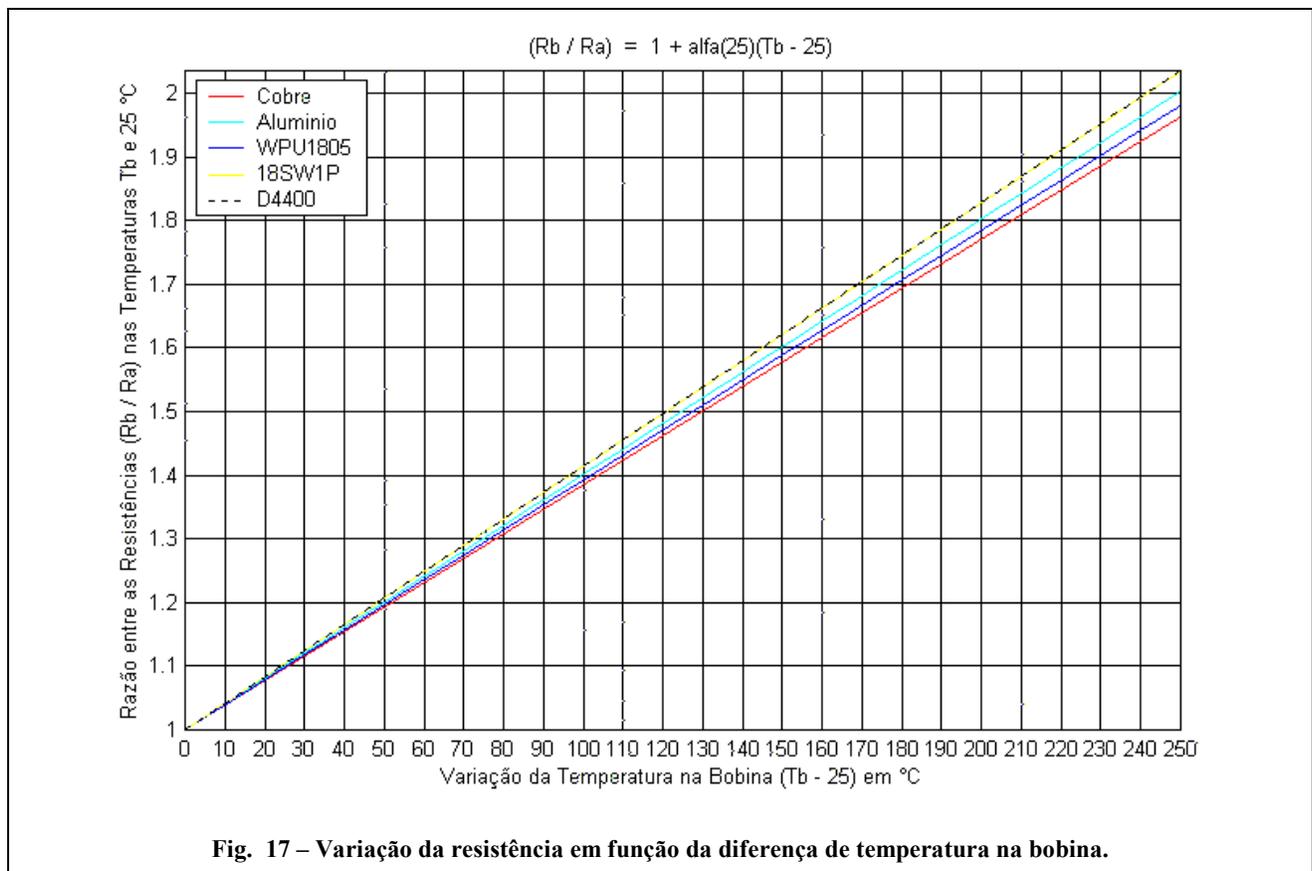
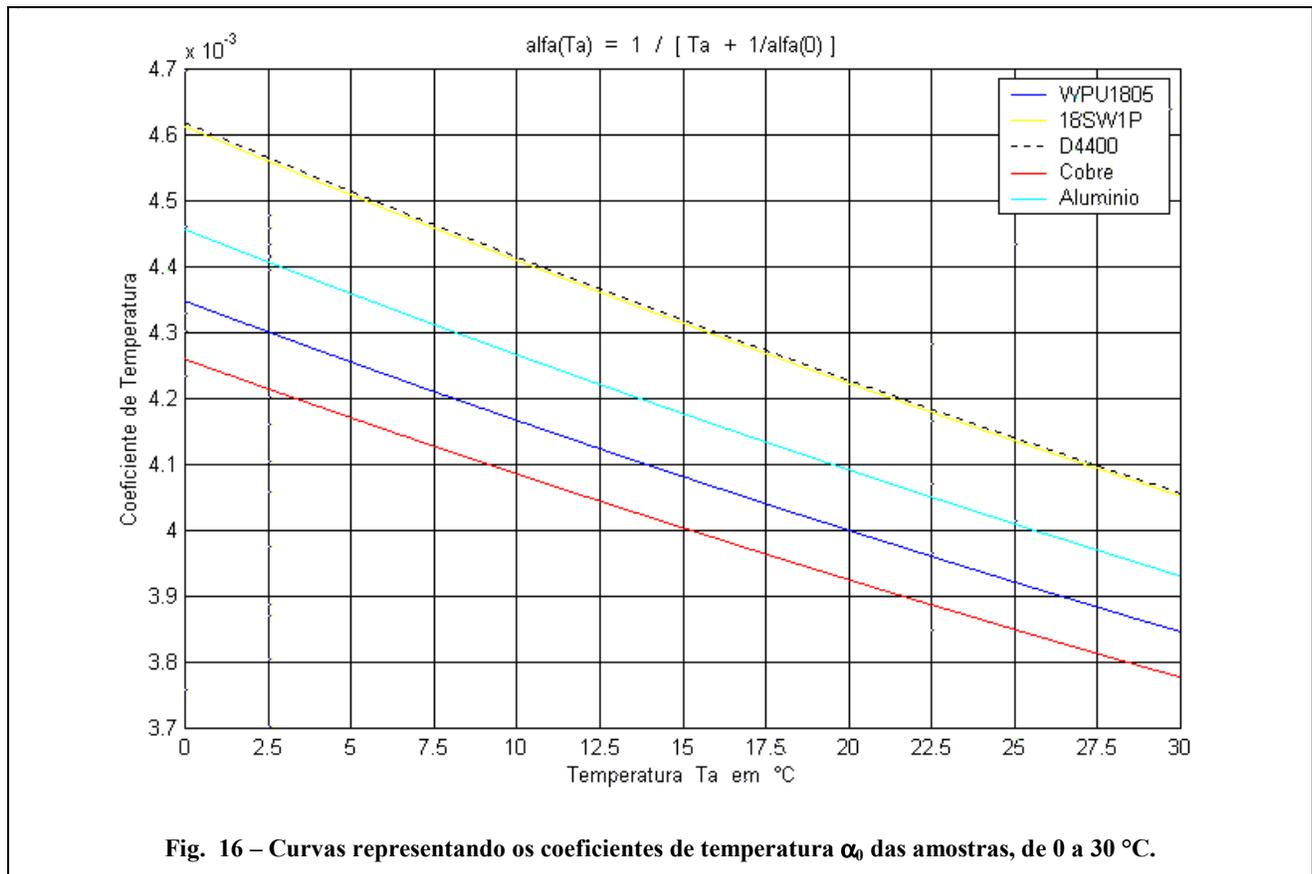
Agradecimentos

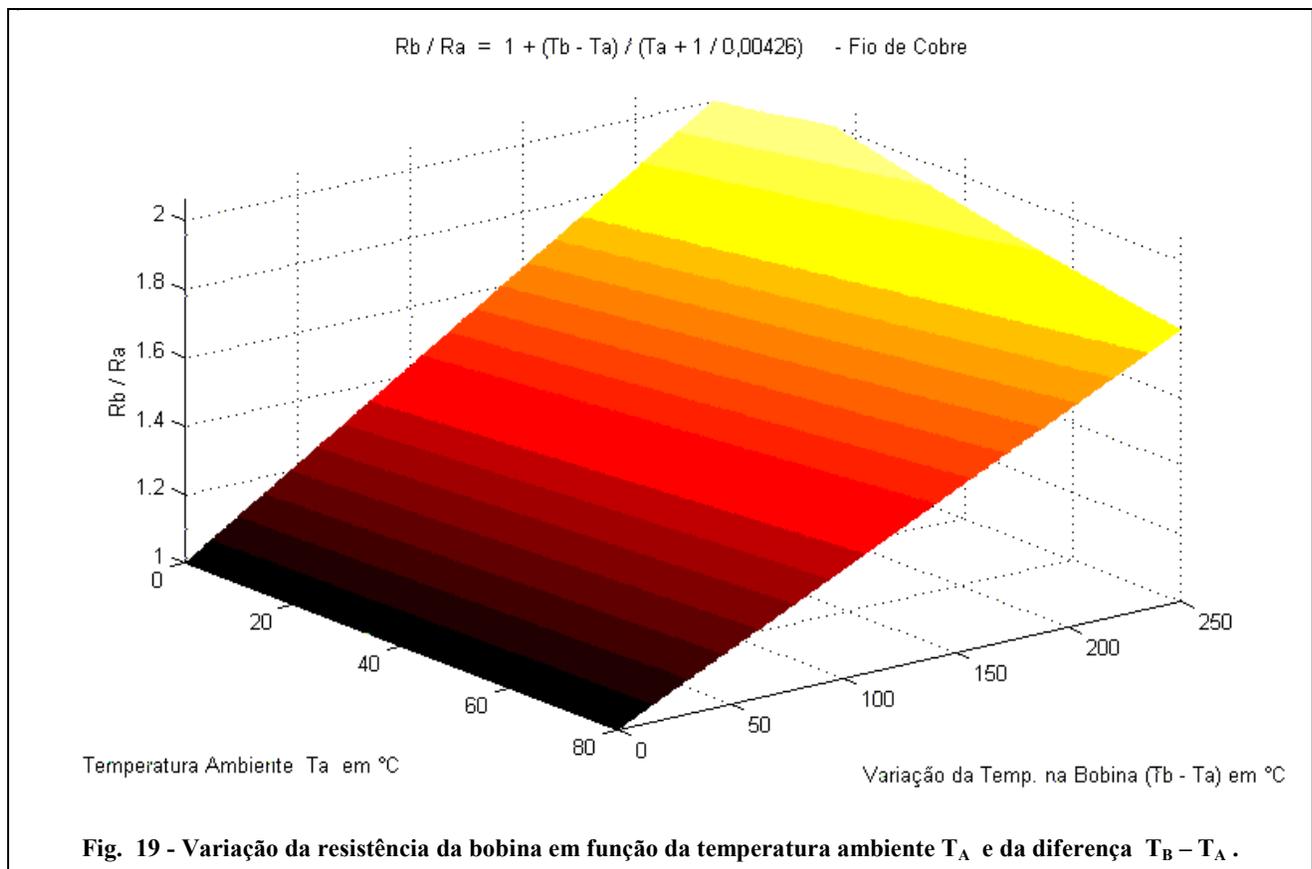
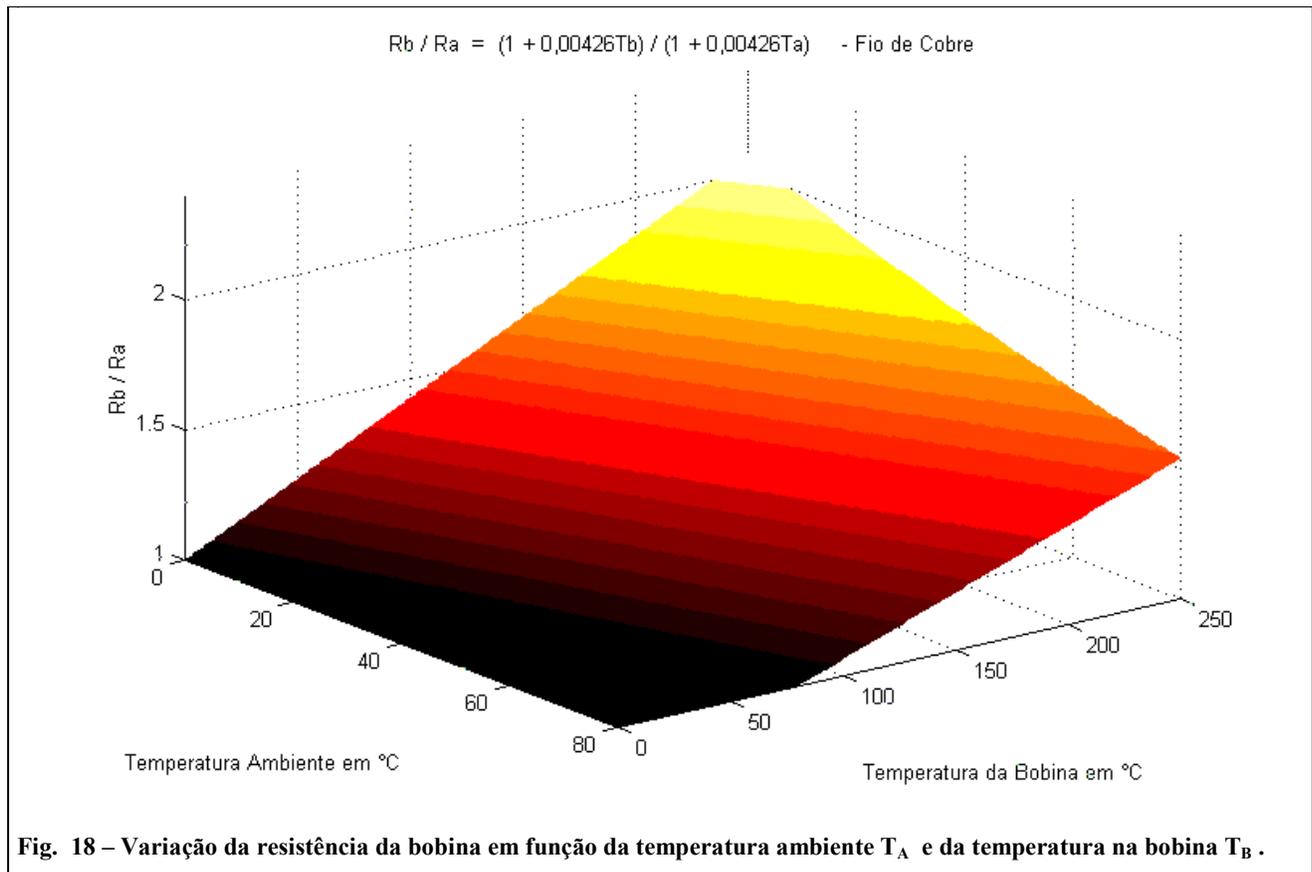
À **ELETRÔNICA SELENIUM S.A.** pelos recursos colocados à disposição do Autor que a exime de quaisquer responsabilidades quanto às informações aqui veiculadas, de inteira responsabilidade do Autor.

Ao Graduando em Engenharia Elétrica, **Leandro Eloy da Silva**, Estagiário da Unidade de Pesquisa Avançada na Eletrônica SELENIUM S.A., pela coleta dos dados utilizados neste trabalho.

Ao Engenheiro **Manfred Igor Treter**, Consultor de Pesquisa Avançada na Eletrônica SELENIUM S.A., por sua cuidadosa revisão do manuscrito.

Ao Engenheiro **Rosalfonso Bortoni**, MsC, pela leitura critica do manuscrito.





Programa escrito para o MATLAB 5.3 utilizado na geração dos gráficos e toda a computação envolvida. Maiores informações estão disponíveis no site www.mathworks.com.

```
% VARIAÇÃO DA RESISTENCIA DA BOBINA COM A TEMPERATURA          TEMPBOBS.m
% BOBINAS ENSAIADAS:          WPU185          18SW1P          D4400
```

```
close all ; clear all ; clc; format long
```

```
alfaCO = 0.00385 % Coeficiente de Temperatura do Cobre a 25 °C
alfaAL = 0.00401 % Coeficiente de Temperatura do Alumínio a 25 °C
```

```
TB      = [26.0 39.4 45.6 54.2 66.2 90.0 93.6 106.2 114.1 122.8 133.3 140.3 150.0 168.9 ];
RB1805  = [6.83 7.18 7.34 7.58 7.93 8.49 8.57 8.92 9.18 9.42 9.67 9.90 10.14 10.62 ];
RB18SW  = [6.17 6.49 6.63 6.86 7.20 7.73 7.77 8.13 8.38 8.60 8.85 9.08 9.30 9.76 ];
RB4400  = [5.28 5.57 5.71 5.88 6.18 6.67 6.75 7.01 7.20 7.41 7.63 7.79 7.98 8.37 ];
```

```
TBL=linspace (0 , 250 , 1000) ;
```

```
p1 = polyfit(TB,RB1805,1) , v1 = polyval(p1,TB) ; vv1=polyval(p1,TBL) ; % WPU1805
p2 = polyfit(TB,RB18SW,1) , v2 = polyval(p2,TB) ; vv2=polyval(p2,TBL) ; % 18SW1P
p3 = polyfit(TB,RB4400,1) , v3 = polyval(p3,TB) ; vv3=polyval(p3,TBL) ; % D4400
```

```
alfaAM1 = p1(1,1)/p1(1,2) , R01 = p1(1,2) % coefic. do polin. de ajuste WPU1805
alfaAM2 = p2(1,1)/p2(1,2) , R02 = p2(1,2) % coefic. do polin. de ajuste 18SW1P
alfaAM3 = p3(1,1)/p3(1,2) , R03 = p3(1,2) % coefic. do polin. de ajuste D4400
```

```
% Plota os Dados Obtidos e o Polinomios de Ajuste
```

```
plot (TB,RB1805, 'm+',TBL,vv1,'b-' , ...
      TB,RB18SW, 'm+',TBL,vv2,'r-' , ...
      TB,RB4400, 'm+',TBL,vv3,'g-' )
```

```
legend ( ' ', 'WPU1805' , " , '18SW1P' , " , 'D4400' , 4) % Legenda em cores das curvas
```

```
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ; ylabel ('Resistência da Bobina em Ohms')
title ('Variação da Resistência da Bobina com a Temperatura')
```

```
text(12 , 12.5 , 'Rb = 0,02664Tb + 6,12748 WPU1805') % Texto nas Coordenadas das Escalas X e Y
text(12 , 11.5 , 'Rb = 0,02530Tb + 5,48427 18SW1P') % Texto nas Coordenadas das Escalas X e Y
text(12 , 10.5 , 'Rb = 0,02178Tb + 4,71532 D4400') % Texto nas Coordenadas das Escalas X e Y
```

```
set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:25:250] )
grid on ; pause
```

```
% Calcula o Erro do Ajuste
```

```
erroajuste1 = 100*(RB1805./v1 - 1) ;
erroajuste2 = 100*(RB18SW./v2 - 1) ;
erroajuste3 = 100*(RB4400./v3 - 1) ;
```

```
erro1 = sqrt( mean(erroajuste1.^2) ) ; % Erro RMS
erro2 = sqrt( mean(erroajuste2.^2) ) ; % Erro RMS
erro3 = sqrt( mean(erroajuste3.^2) ) ; % Erro RMS
```

```

plot (TB,erroajuste1,'b+' , ...
      TB,erroajuste2,'rs' , ...
      TB,erroajuste3,'go' ) ; grid on ; % Plota o Erros dos Ajustes

legend ('WPU1805' , '18SW1P' , 'D4400' , 4) % Legenda em cores das curvas

xlabel ('Temperatura das Bobinas em °C') ; ylabel ('Erros dos Ajustes em %')
set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:25:250] )
pause

% Representação por Barras dos Erros de Ajuste

% WPU1805

bar(TB, erroajuste1 , 'b') ; grid on ; hold on ;
plot(TB,erro1*TB./TB,'m-') ; % Plota Erro RMS de Ajuste
legend ('Erro Médio Quadrático' , 4) % Legenda em cores das curvas
title ('WPU1805')
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ; ylabel ('Erros do Ajuste em %')
set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:25:250] )
% set(gca, 'XTick', [0:25:250]);
pause ; hold off

% 18SW1P

bar(TB, erroajuste2 , 'r') ; grid on ; hold on ;
plot(TB,erro2*TB./TB,'m-') ; % Plota Erro RMS de Ajuste
legend ('Erro Médio Quadrático' , 4) % Legenda em cores das curvas
title ('18SW1P')
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ; ylabel ('Erros do Ajuste em %')
set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:25:250] )
% set(gca, 'XTick', [0:25:250]);
pause ; hold off

% D4400

bar(TB, erroajuste3 , 'g') ; grid on ; hold on ;
plot(TB,erro3*TB./TB,'m-') ; % Plota Erro RMS de Ajuste
legend ('Erro Médio Quadrático' , 1) % Legenda em cores das curvas
title ('D4400')
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ; ylabel ('Erros do Ajuste em %')
set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:25:250] )
% set(gca, 'XTick', [0:25:250]);
pause ; hold off

% Histograma dos Erros de Ajuste

% WPU1805

hist(erroajuste1,15 ) ; grid on ;
title ('WPU1805')
xlabel ('Erros do Ajuste em %') ; ylabel ('Número de Medidas')
axis tight
pause

```

```

% 18SW1P

hist(erroajuste2,15 ) ; grid on ;
title ('18SW1P')
xlabel ('Erros do Ajuste em %') ; ylabel ('Número de Medidas')
axis tight
pause

% D4400

hist(erroajuste3,15 ) ; grid on ;
title ('D4400')
xlabel ('Erros do Ajuste em %') ; ylabel ('Número de Medidas')
axis tight
pause

% Calcula os Coeficientes de Temperatura das Amostras - alfa(0)

alfa1 = ( RB1805/R01 - 1 )./TB ; % usa o valor R0 do Polinômio de Ajuste
alfa2 = ( RB18SW/R02 - 1 )./TB ; % usa o valor R0 do Polinômio de Ajuste
alfa3 = ( RB4400/R03 - 1 )./TB ; % usa o valor R0 do Polinômio de Ajuste

mean(alfa1) , min(alfa1) , max(alfa1) , std(alfa1) ,
mean(alfa2) , min(alfa2) , max(alfa2) , std(alfa2) ,
mean(alfa3) , min(alfa3) , max(alfa3) , std(alfa3) ,

% Plota os Coeficientes de Temperatura das Amostras - alfa(0)

plot(TB, alfa1,'b+' , ...
      TB, alfa2,'rs' , ...
      TB, alfa3,'go') ; grid on ; grid on % Plota os Coef. de Temperatura das Amostras

set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:25:250] )
hold on
xlabel ('Temperatura das Bobinas em °C') ;
ylabel ('Coeficientes de Temperatura alfa(0) das Amostras em 1/°C') ;
title ('alfa(0) = [ ( Rb / Ro ) - 1 ] / Tb');
legend ('WPU1805' , '18SW1P' , 'D4400' , 1) % Legenda em cores das curvas

plot(TB,mean(alfa1)*TB./TB,'b-' , ...
      TB,mean(alfa2)*TB./TB,'r-' , ...
      TB,mean(alfa3)*TB./TB,'g-') ; % Plota o Valor Médio dos Coef. de Temperatura

pause ; hold off

% Representação por Barras dos Coef. de Temp da Amostras - alfa(0)

% WPU1805

bar(TB, alfa1, 'b') ; grid on ; hold on
plot(TB,mean(alfa1)*TB./TB,'m-' , % Plota o Valor Médio dos Coef. de Temp.
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ;
ylabel ('Coeficientes de Temperatura alfa(0) do WPU1805 em 1/°C') ;
title ('alfa(0) = [ ( Rb / R0 ) - 1 ] / Tb');
text(70 , 0.0042 , 'Media') % Texto nas Coordenadas das Escalas X e Y

```

```

pause ; hold off

% 18SW1P

bar(TB, alfa2, 'r') ; grid on ; hold on
plot(TB,mean(alfa2)*TB./TB,'m-') , % Plota o Valor Médio dos Coef. de Temp.
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ;
ylabel ('Coeficientes de Temperatura alfa(0) do 18SW1P em 1/°C') ;
title ('alfa(0) = [ ( Rb / R0 ) - 1 ] / Tb');
text(70 , 0.0042 , 'Media') % Texto nas Coordenadas das Escalas X e Y
pause ; hold off

% D4400

bar(TB, alfa3, 'g') ; grid on ; hold on
plot(TB,mean(alfa3)*TB./TB,'m-') , % Plota o Valor Médio dos Coef. de Temp.
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ;
ylabel ('Coeficientes de Temperatura alfa(0) do D4400 em 1/°C') ;
title ('alfa(0) = [ ( Rb / R0 ) - 1 ] / Tb');
text(70 , 0.0042 , 'Media') % Texto nas Coordenadas das Escalas X e Y
pause ; hold off

% Histograma dos Coeficientes de Temperatura da Amostra - alfa(0)

hist(alfa1,20) ; grid on ;
xlabel ('Coeficientes de Temperatura alfa(0) do WPU1805 em 1/°C') ;
ylabel ('Número de Medidas')
title ('alfa(0) = [ ( Rb / R0 ) - 1 ] / Tb');
pause

% Diferença entre os coef. de temp. calculados a partir das medidas,
% em relação ao obtido através do Ajuste para cada Amostra ( alfaAM ).

difalfaAM1 = 100*(alfa1/alfaAM1 - 1) ;
difalfaAM2 = 100*(alfa2/alfaAM2 - 1) ;
difalfaAM3 = 100*(alfa3/alfaAM3 - 1) ;

dif1 = sqrt( mean(difalfaAM1.^2) ) ; % Diferença RMS
dif2 = sqrt( mean(difalfaAM2.^2) ) ; % Diferença RMS
dif3 = sqrt( mean(difalfaAM3.^2) ) ; % Diferença RMS

plot (TB,difalfaAM1,'b+' , ...
      TB,difalfaAM2,'rs' , ...
      TB,difalfaAM3,'go' ) ; grid on ; % Plota as diferenças

legend ('WPU1805' , '18SW1P' , 'D4400' , 4) % Legenda em cores das curvas
xlabel ('Temperatura das Bobinas em °C') ;
ylabel ('Diferenças em % entre alfa(0) Medidos e Ajustado. ')
set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:25:250] )
pause

% Representação por Barras das Diferenças entre os coef. de temp. calculados a partir
% das medidas, em relação ao obtido através do Ajuste para cada Amostra ( alfaAM ).

```

```
% WPU1805
```

```
bar(TB, difalfaAM1, 'b') ; grid on ; hold on
plot(TB,dif1*TB./TB,'m-') ; % Plota Diferença RMS
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ;
ylabel ('Diferenças em % entre alfa(0) Medidos e Ajustado. ')
legend ('Diferença Média Quadrática' , 1) % Legenda em cores das curvas
title ('WPU1805')
pause ; hold off
```

```
% 18SW1P
```

```
bar(TB, difalfaAM2, 'r') ; grid on ; hold on
plot(TB,dif2*TB./TB,'m-') ; % Plota Diferença RMS
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ;
ylabel ('Diferenças em % entre alfa(0) Medidos e Ajustado. ')
legend ('Diferença Média Quadrática' , 1) % Legenda em cores das curvas
title ('18SW1P')
pause ; hold off
```

```
% D4400
```

```
bar(TB, difalfaAM3, 'g') ; grid on ; hold on
plot(TB,dif3*TB./TB,'m-') ; % Plota Diferença RMS
xlabel ('Temperatura da Bobina em °C') ;
ylabel ('Diferenças em % entre alfa(0) Medidos e Ajustado. ')
legend ('Diferença Média Quadrática' , 1) % Legenda em cores das curvas
title ('D4400')
pause ; hold off
```

```
% Coeficientes de Temperatura das Amostras Ajustadas em Função da Temperatura: alfa(Ta)
```

```
TAA = linspace (0 , 30 , 1000) ;
```

```
alfa1TA = 1./( TAA + R01/p1(1,1) ) ;
alfa2TA = 1./( TAA + R02/p2(1,1) ) ;
alfa3TA = 1./( TAA + R03/p3(1,1) ) ;
alfaCOTA= 1./( TAA - 25 + 1/alfaCO);
alfaALTA= 1./( TAA - 25 + 1/alfaAL);
```

```
plot (TAA , alfa1TA , 'b' , ...
      TAA , alfa2TA , 'y' , ...
      TAA , alfa3TA , 'k' , ...
      TAA , alfaCOTA, 'r' , ...
      TAA , alfaALTA, 'c' ) ; grid on ; % axis tight ;
```

```
legend ('WPU1805' , '18SW1P' , 'D4400' , 'Cobre' , 'Aluminio' , 1) % Legenda nas cores das curvas
xlabel ('Temperatura Ta em °C') ;
ylabel ('Coeficiente de Temperatura');
title ('alfa(Ta) = 1 / [ Ta + 1/alfa(0) ]');
set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:2.5:30] )
pause
```

```

% Grafico de (Rb/Ra) = 1 + alfa(25)(Tb - 25) para Cobre, Aluminio e Amostras
% alfaAM = alfa0 da amostra
% Coef. de Temp. das Amostras para 20, 22 e 25 °C

alfa120 = 1/( 20 + 1/alfaAM1 ) , alfa122 = 1/( 22 + 1/alfaAM1 ) , alfa125 = 1/( 25 + 1/alfaAM1 ) ,
alfa220 = 1/( 20 + 1/alfaAM2 ) , alfa222 = 1/( 22 + 1/alfaAM2 ) , alfa225 = 1/( 25 + 1/alfaAM2 ) ,
alfa320 = 1/( 20 + 1/alfaAM3 ) , alfa322 = 1/( 22 + 1/alfaAM3 ) , alfa325 = 1/( 25 + 1/alfaAM3 ) ,

T = linspace ( 0 , 250 , 1000 ) ; % corresponde a TB - TA

RBACO = alfaCO*T + 1 ; % cobre = vermelho
RBAAL = alfaAL*T + 1 ; % aluminio = azul
RBAA1 = alfa125*T + 1 ; % WPU1805
RBAA2 = alfa225*T + 1 ; % 18SW1P
RBAA3 = alfa325*T + 1 ; % D4400

plot (T,RBACO,'r' , ...
      T,RBAAL,'c' , ...
      T,RBAA1,'b' , ...
      T,RBAA2,'y' , ...
      T,RBAA3,'k:' ) ; grid on , axis tight ;

set( gca , 'GridLineStyle','-' , 'XTick', [0:10:250] )
xlabel ('Variação da Temperatura na Bobina (Tb - 25) em °C') ;
ylabel ('Razão entre as Resistências (Rb / Ra) nas Temperaturas Tb e 25 °C');
title ('(Rb / Ra) = 1 + alfa(25)(Tb - 25)');
legend ('Cobre' , 'Aluminio' , 'WPU1805' , '18SW1P' , 'D4400' , 2) % melhor que abaixo
pause

% Grafico para RB/RA = [1 + alfaCO*TB]/[1 + alfaCO*TA] com fio de Cobre Generico

T Amin = 0 ; T Amax = 80 ; T Bmin = 0 ; T Bmax = 250 ; NP = 200 ;

alfaCO0 = 1 / ( -25 + 1/alfaCO ) % alfaCobreZero Coef de Temp do Cobre Generico a 0 °C

[TAA,TBB] = meshgrid( linspace(TAmin,TAmax,NP) , linspace(TBmin,TBmax,NP) ) ;

RBA = (1 + alfaCO0*TBB)./(1 + alfaCO0*TAA) ;

RBC = RBA >= 1 ; % Gera uma matriz com elementos 1 se verdade e 0 se falso
RBD = RBA < 1 ; % Gera uma matriz com elementos 1 se falso e 0 se verdade
RBA = RBA.*RBC ; % Substitui por 0 os elementos menores que 1
RBA = RBA + RBD; % Substitui por 1 os elementos iguais a 0

surf(TBB, TAA, RBA); colormap(hot) ; shading interp;

title('Rb / Ra = (1 + 0,00426Tb) / (1 + 0,00426Ta) - Fio de Cobre');

xlabel('Temperatura da Bobina em °C');
ylabel('Temperatura Ambiente em °C') ;
zlabel('Rb / Ra');
axis ij ; grid on ; rotate3d on ; % axis tight ;
% [imagem , cormap] = capture ; imwrite(imagem , cormap , 'figura5.bmp') % salva figura
pause

```

```

% Grafico para  $Rb/Ra = 1 + (Tb-Ta)/(Ta + 1/\alpha(0))$  com fio de Cobre Generico
% Opção idêntica à anterior porem mais adequada para gráfico
% pois no eixo x teremos  $Tb-Ta$  em lugar de  $Tb$ , o que é mais conveniente pois  $Tb \geq Ta$ 

TAmin = 0 ; TAmix = 80 ; TBmin = 0 ; TBmax = 250 ; NP = 200 ;

[TAA,TBA] = meshgrid( linspace(TAmin,TAmix,NP) , linspace(TBmin,TBmax,NP) ) ;

RBA = 1 + (TBA)./(TAA + 1/alfaCO0) ; % alfaCObreZero Coef de Temp do Cobre a 0 °C
surf(TBB, TAA, RBA); colormap(hot) ; shading interp;

title('Rb / Ra = 1 + (Tb - Ta) / (Ta + 1 / 0,00426) - Fio de Cobre');

xlabel('Variação da Temp. na Bobina (Tb - Ta) em °C');
ylabel('Temperatura Ambiente Ta em °C') ;
zlabel('Rb / Ra');
axis ij ; grid on ; rotate3d on ; axis tight ;
% [imagem , cormap] = capture ; imwrite(imagem , cormap , 'figura5.bmp') % salva figura
pause

% Grafico 3D do Erro entre  $Rb/Ra = 1 + \alpha(25)(Tb - Ta)$  e
%  $Rb/Ra = [1 + \alpha(0)*Tb]/[1 + \alpha(0)*Ta]$ 
% Para fio de Cobre Generico Vista do angulo 66 e 48 graus

mymap = [jet(128) ; hot(128)] ; % combina dois color maps
TAmin = 0 ; TAmix = 80 ; TBmin = 0 ; TBmax = 250 ; NP = 200 ;
alfaCO0 = 1 / (-25 + 1/alfaCO) % alfaCObreZero Coef de Temp do Cobre Generico a 0 °C
[TAA,TBB] = meshgrid( linspace(TAmin,TAmix,NP) , linspace(TBmin,TBmax,NP) ) ;

E = 100*(TBB - TAA).*( ( 0.00385*(TAA + 1/0.00426) - 1 )./(TBB + 1/0.00426) ) ;
EC = TBB >= TAA ; ED = TBB < TAA ; E = E.*EC; % substitui por 0 erros quando  $Tb < Ta$ 
%surf(TBB, TAA, E); colormap(jet(128)) ; shading interp ; view (66 , 48) ;
%surf(TBB, TAA, E, abs(E)); colormap(mymap) ; shading interp ; view (66 , 48) ;
surf(TBB, TAA, E, abs(E)); colormap(hot(128)) ; shading interp ; view (66 , 48) ;
title ('Erros Entre  $Rb / Ra = 1 + \alpha(25)*(Tb - Ta)$  e  $Rb / Ra = [1 + \alpha(0)Tb] / [1 + \alpha(0)Ta]$ );
xlabel('Temperatura da Bobina em °C');
ylabel('Temperatura Ambiente em °C') ;
zlabel('Erro %');
axis ij ; grid on ; rotate3d on ; % axis tight ;
colorbar; pause

% Grafico 3D do Erro entre  $Rb/Ra = 1 + \alpha(25)(Tb - Ta)$  e
%  $Rb/Ra = [1 + \alpha(0)*Tb]/[1 + \alpha(0)*Ta]$ 
% Para fio de Cobre Generico Vista do angulo 0 e -90 graus

TAmin = 0 ; TAmix = 80 ; TBmin = 0 ; TBmax = 250 ; NP = 200 ;
alfaCO0 = 1 / (-25 + 1/alfaCO) % alfaCObreZero Coef de Temp do Cobre Generico a 0 °C
[TAA,TBB] = meshgrid( linspace(TAmin,TAmix,NP) , linspace(TBmin,TBmax,NP) ) ;

E = 100*(TBB - TAA).*( ( 0.00385*(TAA + 1/0.00426) - 1 )./(TBB + 1/0.00426) ) ;
EC = TBB >= TAA ; ED = TBB < TAA ; E = E.*EC; % substitui por 0 erros quando  $Tb < Ta$ 
surf(TBB, TAA, E); colormap(jet(128)) ; shading interp ; view (0 , -90) ;
% surf(TBB, TAA, E); colormap(mymap) ; shading interp ; view (0 , -90) ;
% surf(TBB, TAA, E, abs(E)); colormap(hot(128)) ; shading interp ; view (0 , -90) ;
title ('Erros Entre  $Rb / Ra = 1 + \alpha(25)*(Tb - Ta)$  e  $Rb / Ra = [1 + \alpha(0)Tb] / [1 + \alpha(0)Ta]$ );
xlabel('Temperatura da Bobina em °C');

```

```
ylabel('Temperatura Ambiente em °C') ;
xlabel('Erro %');
axis ij ; grid on ; rotate3d on ; % axis tight ;
colorbar; pause
```

```
% Erro Comparativo Entre os Métodos - Amostra 18SW1P - Ta = 25 °C
```

```
T = linspace(0 , 250 , 1000);
RBA1 = 1 + alfa225*(T - 25) ;
RBA2 = (1 + alfaAM2*T)/(1 + alfaAM2*25) ;
erro = 100*(RBA2./RBA1 - 1) ;
if abs(erro) <= 0.0001 ; erro = erro > 1000000 ; end % arredonda para 0 erros muito pequenos
plot (T , erro) ; grid on ; % axis tight ;
xlabel ('Temperatura Tb em °C') ;
ylabel ('Erro Percentual na Amostra para Rb / R25');
title ('Erros Entre Rb / Ra = 1 + alfa(25)*(Tb - Ta) e Rb / Ra = [1 + alfa(0)Tb] / [1 + alfa(0)Ta]');
set( gca , 'GridLineStyle','-', 'XTick', [0:25:250] )
pause
```

```
% Erro Comparativo Entre os Metodos - Amostra - Ta = 0 °C
```

```
RBA1 = 1 + alfa225*T ;
RBA2 = (1 + alfaAM2*T) ;
erro = 100*(RBA2./RBA1 - 1) ;
plot (T , erro) ; grid on ; % axis tight ;
xlabel ('Temperatura Tb em °C') ;
ylabel ('Erro Percentual na Amostra para Rb / R0');
title ('Erros Entre Rb / Ra = 1 + alfa(25)*(Tb - Ta) e Rb / Ra = [1 + alfa(0)Tb] / [1 + alfa(0)Ta]');
set( gca , 'GridLineStyle','-', 'XTick', [0:25:250] )
pause
```

```
% Erro Comparativo Entre os Metodos - Amostra - Ta = 50 °C
```

```
RBA1 = 1 + alfa225*(T - 50) ; % polinomio do ajuste
RBA2 = (1 + alfaAM2*T)/(1 + alfaAM2*50) ;
erro = 100*(RBA2./RBA1 - 1) ;
plot (T , erro) ; grid on ; % axis tight ;
xlabel ('Temperatura Tb em °C') ;
ylabel ('Erro Percentual na Amostra para Rb / R50');
title ('Erros Entre Rb / Ra = 1 + alfa(25)*(Tb - Ta) e Rb / Ra = [1 + alfa(0)Tb] / [1 + alfa(0)Ta]');
set( gca , 'GridLineStyle','-', 'XTick', [0:25:250] )
% Cria Tabela Com: Temperatura - Valores Medidos - Ajustados - Erro Percentual
% Grava o arquivo tab1.txt
```

```
format bank ;
disp (' TEMPERATURA MEDIDAS AJUSTE Erro %')
TABELA1 = [ TB', RB1805', v1', erroajuste1' ] % Formata TABELA1 para tela
TABELA1 = [ TB ; RB1805 ; v1 ; erroajuste1 ] ; % Formata para o arquivo tab1.txt
fid = fopen('tab1.txt','w') ; % Salva com Formatação a TABELA Comparativa em tab1.txt
fprintf(fid, ' TABELA COMPARATIVA \r\n');
fprintf(fid, '\r\n');
fprintf(fid, ' TEMPERATURA MEDIDAS AJUSTE Erro \r\n');
fprintf(fid, '\r\n');
fprintf(fid, ' %4.2f %4.2f %4.2f %4.2f \r\n',TABELA1);
fclose(fid) ; pause
```

```

% Grava o arquivo tab2.txt
format bank ;
disp ('  TEMPERATURA  MEDIDAS  AJUSTE  Erro %')
TABELA2 = [ TB' , RB18SW' , v2' , erroajuste2' ] % Formata TABELA2 para tela
TABELA2 = [ TB ; RB18SW ; v2 ; erroajuste2 ] ; % Formata para o arquivo tab2.txt
fid = fopen('tab2.txt','w') ; % Salva com Formatação a TABELA Comparativa em tab2.txt
fprintf (fid, '
                TABELA COMPARATIVA \r\n');
fprintf (fid, '\r\n');
fprintf (fid, '  TEMPERATURA  MEDIDAS  AJUSTE  Erro % \r\n');
fprintf (fid, '\r\n');
fprintf (fid, '      %4.2f      %4.2f      %4.2f      %4.2f \r\n',TABELA2);
close(fid) ; pause

```

```

% Grava o arquivo tab3.txt
format bank ;
disp ('  TEMPERATURA  MEDIDAS  AJUSTE  Erro %')
TABELA3 = [ TB' , RB4400' , v3' , erroajuste3' ] % Formata TABELA3 para tela
TABELA3 = [ TB ; RB4400 ; v3 ; erroajuste3 ] ; % Formata para o arquivo tab3.txt
fid = fopen('tab3.txt','w') ; % Salva com Formatação a TABELA Comparativa em tab3.txt
fprintf (fid, '
                TABELA COMPARATIVA \r\n');
fprintf (fid, '\r\n');
fprintf (fid, '  TEMPERATURA  MEDIDAS  AJUSTE  Erro % \r\n');
fprintf (fid, '\r\n');
fprintf (fid, '      %4.2f      %4.2f      %4.2f      %4.2f \r\n',TABELA3);
fclose(fid) ;

```

```

% F I M

```