

## 7. Revisão Bibliográfica e Conceitual

### 7.1. Referências Bibliográficas

[1] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7034**: Materiais isolantes elétricos – classificação térmica. Rio de Janeiro, dezembro de 1992.

[2] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5356**: Transformador de potência - especificação. Rio de Janeiro, agosto de 1993.

[3] SILVA, D.G.T.; GARCIA D.R. **Análise de Custos de Substituição de Transformadores em Ambientes não Senoidais**, VI Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, VI SBQEE, Belém.

[4] WEG, **Motores elétricos de Corrente Alternada - especificação**, Disponível em < <http://www.weblpc.com.br/download/Especificacoes.pdf> >. Acesso em: 12 de julho de 2007.

[5] Veratti (1984), A. B. **Termografia – Princípios e Aplicações**, AGA S.A. Sistemas Infravermelhos

[6] FUSIONE – Dipartimento Fusione, Tecnologie e Presidio Nucleari Programma. **Misure delle Perdite Radiative con Bolometri**. Disponível em < <http://fusfis.frascati.enea.it/FTUdoc/Diag/bolometria/bolometria.pdf> >. Acesso em: 15 de setembro de 2007.

[7] Domingos Guerra. **Manutenção preditiva dá retorno de até 30 vezes**. Canal Executivo, Carreira & Gestão. Disponível em: < <http://www2.uol.com.br/canalexecutivo/notas06/270720066.htm> >. Acesso em: 5 de abril de 2007.

[8] Light (1993). **Critério de Inspeção de Equipamentos Elétricos por Termografia**, Procedimento Técnico Light, PTL 0123GE/93-R0.

[9] ADITEQ - Análise e Diagnóstico de Equipamentos Ltda. **Manutenção preditiva de equipamentos industriais - definição, objetivos e benefícios.** Disponível em < <http://www.aditeq.com.br/preditiva.htm> >. Acesso em: 5 de abril de 2007.

[10] Sierra Pacific Innovations. **Infrared Wavelengths.** Disponível em < <http://fusfis.frascati.enea.it/FTUdoc/Diag/bolometria/bolometria.pdf> >. Acesso em: 15 de setembro de 2007.

[11] Holman (1971), J.P. **Experimental Methods for Engineers**, McGraw-Hill

[12] Benedict (1977), R.P. **Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements**, Wiley Intersciences

[13] INMETRO, **Guia para expressão da incerteza de medição**, Rio de Janeiro: INMETRO, 1997

[14] Kreith (1973), F. **Principles of Heat Transfer**, New York; Intext.

[15] ORLANDO (1985), A.F. **Determinação Experimental da Emissividade de Superfícies**, VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, VIII COBEM, São José dos Campos.

[16] Siegel (1972), R.; Howell, J.R. **Thermal Radiation Heat Transfer**, New York; McGraw-Hill.

[17] Orlando (2003), A.F. **Calibração de um Termômetro Pt-100 como Padrão de Trabalho de um Laboratório de Serviços Metrológicos.** Metrologia 2003. Recife.

[18] Chaves (2004), C.E.O. **Confiabilidade Metrológica da Medição de Elevadas Temperaturas em Processos Industriais**, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, orientadores Orlando, A.F. e Santos, P.R.F.

[19] ORLANDO (1998), A.F. **Resposta Transiente de Termômetros e sua Influência sobre a Medição e Calibração.** Encontro Nacional de Ciências Térmicas ENCIT98. Rio de Janeiro, RJ.

[20] QUALINCERT. **Calcular a incerteza combinada.** Disponível em < <http://www.qualincert.com.br/combinada.php> >. Acesso em: 15 de setembro de 2007.

[21] QUALINCERT. **Calcular a incerteza expandida.** Disponível em < <http://www.qualincert.com.br/combinada.php> >. Acesso em: 15 de setembro de 2007.

## 8. Anexo A – Cálculo da Incerteza Combinada[20]

A incerteza padrão combinada  $u_c(y)$  é a raiz quadrada positiva da variância combinada  $u_c^2(y)$ , que é dada, se os parâmetros  $x_1, x_2, \dots$  forem independentes por:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial y}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i), \quad \text{sendo que } y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \text{ e } \frac{\partial y}{\partial x_i} = c_i.$$

$c_i$  é denominado o coeficiente de sensibilidade e descreve como o valor de  $y$  varia com as mudanças nos parâmetros  $x_1, x_2, \dots$

Basicamente há 3 maneiras de calcular a incerteza combinada:

- Método por cálculo de derivadas;
- Método por combinação de incertezas absolutas e relativas;
- Método por simulação.

Nesta dissertação, utilizamos o Método por combinação de incertezas absolutas e relativas que será descrito em seguida:

### Método por combinação de incertezas absolutas e relativas

Freqüentemente, as expressões para combinar as incertezas reduzem-se a formas muito mais simples com as duas regras abaixo:

- Para os modelos que incluem apenas uma soma ou diferença de grandezas, por exemplo  $y = ax_1 + bx_2 + \dots$ , a incerteza padrão combinada  $u_c(y)$  é dada por:

$$u_c(y) = \sqrt{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2 + \dots + u_{x_N}^2}$$

ou seja, uma soma quadrática de desvios-padrão absolutos. Quando a incerteza sobre um parâmetro é expressa diretamente em termos do seu

efeito sobre  $y$ , o coeficiente de sensibilidade  $\frac{\partial y}{\partial x_i} = c_i$  é igual a 1,0.

- Para os modelos que incluem apenas um produto ou quociente, por exemplo

$y = \frac{ax_1 \times bx_2}{cx_3 \times \dots \times zx_N}$ , a incerteza padrão combinada  $u_c(y)$  é dada por:

$$u_c(y) = y \sqrt{\left(\frac{u_{x1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{x2}}{x_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{x3}}{x_3}\right)^2 + \dots + \left(\frac{u_{xN}}{x_N}\right)^2} \quad \text{onde}$$

$\left(\frac{u_{xN}}{x_N}\right)$  etc... são as incertezas nos parâmetros, expressas como desvios-padrão relativos.

- Para fins de combinação dos componentes de incerteza, é mais conveniente decompor o modelo matemático original em expressões consistindo unicamente de operações cobertas por uma das regras acima. Por exemplo,

a expressão  $\frac{(ax_1 + bx_2)}{(cx_3 + dx_4)}$  deve ser decomposta em dois elementos  $(ax_1 + bx_2)$  e  $(cx_3 + dx_4)$ .

As incertezas intermediárias para cada um desses elementos podem então ser calculadas usando a primeira regra acima.

Elas são combinadas usando a segunda regra para chegar à incerteza padrão combinada.

**Observação:** Estas regras de propagação das incertezas descritas acima aplicam-se tanto a incertezas de tipo A quanto aos componentes de incerteza de tipo B.

## 9. Anexo B – Calculo da Incerteza Expandida[21]

Corresponde, conforme equação abaixo, em multiplicar a incerteza padrão combinada pelo fator de abrangência  $k$  escolhido a fim de obter uma incerteza expandida. A incerteza expandida fornece um intervalo que abrange uma grande fração da distribuição de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando.

Ao adotar o nível de confiança de 95,45% ( $\approx 95\%$ ),  $k$  será igual a 2 para quase todos os fins.

Porém, quando o número de graus de liberdade for pequeno, este valor de  $k$  deverá ser calculado, devido ao valor  $k=2$ , nestes casos, ser insuficiente. Isto acontece na prática quando a contribuição dos componentes de tipo A é significativa em relação à incerteza combinada.

### 1. Calculo o grau de liberdade efetivo

Para calcular o grau de liberdade efetivo, que é o número de graus de liberdade associado à incerteza padrão combinada, utiliza-se a equação de Welch-Satterthwaite:

$$u_{eff} = \frac{(uc)^4}{\sum_{i=1}^n \frac{(u_i)^4}{u_i}}$$

onde:

$n$  = nº de medições efetuadas;

$\nu_i$  = nº do grau de liberdade de cada uma das fontes de incerteza de tipo A e B;

$u_i$  = incerteza padrão de cada uma das fontes de incerteza de tipo A e B;

$uc$  = incerteza combinada.

**Observação 1:**  $\nu_i$  será igual a  $(n - 1)$ ,  $n$  sendo o número de valores observados.

**Observação 2:** Quando não podemos saber o nº de medições realizadas para a obtenção de determinada incerteza padrão, o grau de liberdade será:  $\nu_i = \infty$ .

## 2. Determinação do fator de abrangência

Para atingir um certo nível de confiança, a incerteza padrão combinada ( $u_c$ ) que corresponde apenas a um desvio-padrão, deve ser multiplicada por um coeficiente numérico, o coeficiente de Student, denominado fator de abrangência.

Conforme já mencionado acima, ao adotar o nível de confiança de 95,45% ( $\approx 95\%$ ),  $k$  será igual a 2 para quase todos os fins.

Porém, quando o número de graus de liberdade for pequeno, este valor de  $k$  deverá ser calculado, devido ao valor  $k=2$ , nestes casos, ser insuficiente.

### Tabela de Student para 95,45% de confiança:

ueff	t95(u)	ueff	t95(u)	ueff	t95(u)
1	13,97	10	2,28	35	2,07
2	4,53	12	2,23	40	2,06
3	3,31	14	2,20	45	2,06
4	2,87	16	2,17	50	2,05
5	2,65	18	2,15	60	2,04
6	2,52	20	2,13	80	2,03
7	2,43	25	2,11	100	2,02
8	2,37	30	2,09	>100	2,00

Por esta tabela, o grau de liberdade efetivo ueff leva diretamente ao valor de  $t_{95}(u)$  ou ainda  $k_{95}$ .

Para calcular a incerteza expandida, multiplica-se a incerteza combinada pelo fator  $k$ :

$$U = k_{95} \cdot u_c$$

onde:

$k_{95}$  = fator de abrangência de nível de confiança de 95%.

$u_c$  é a incerteza combinada.

## 10. Anexo C – Tabela de Emissividade das Superfícies

Tabela25: Emissividade das superfícies

Material	Temperatura média (°C)	Emissividade
<b>ALUMÍNIO</b>		
Altamente oxidado	93 – 504	0.2 – 0.31
Oxidado	500 – 827	0.42 – 0.326
Anodizado	100	0.55
<b>LATÃO</b>		
Placa fosca	50 - 350	0.22
Oxidado a 600 °C	200 - 600	0.61 – 0.69
<b>COBRE</b>		
Comercial	22	0.07
Placa aquecida a 600 °C	200 – 600	0.57
<b>FERRO E AÇO</b>		
Ferro polido	40 – 200	0.25
Ferro fundido oxidado	100	0.64
Ferro fundido oxidado	20	0.90
Óxido de ferro	20 – 1200	0.85 – 0.89
Aço , Polido	100	0.07
Chapa de aço	600 – 1040	0.80 – 0.60
Chapa de aço laminada	21	0.56
Aço oxidada a 600 °C	200 – 600	0.79
Placa de aço áspera	38 - 370	0.94 – 0.97
Aço inox 18-8 oxidado	60	0.85
<b>NÍQUEL</b>		
Polido	100	0.07
<b>ESTANHO</b>		
Chapa de aço estanhada	100	0.07
<b>ZINCO</b>		
Puro, comercial, polido	260	0.05
Chapa de aço galvanizada	24	0.28
<b>Porcelana, Vítrea</b>		
Porcelana, Vítrea	22	0.92



## 11. Anexo D – Emissividade x Temperatura do Objeto

Temp = Temperatura da objeto, em °C

D = Distância entre o objeto e o termovisor, em metros

Tabela 26: Ambiente =20 °C; Distância do objeto - termovisor = 2 m

$\varepsilon$	Temp	$\varepsilon$	Temp
1,00	48,59	0,89	51,63
0,99	48,84	0,88	51,94
0,98	49,10	0,87	52,26
0,97	49,36	0,86	52,58
0,96	49,62	0,85	52,91
0,95	49,89	0,84	53,25
0,94	50,17	0,83	53,59
0,93	50,45	0,82	53,94
0,92	50,74	0,81	54,30
0,91	51,03	0,80	54,66
0,90	51,33		

Tabela 27: Ambiente =22 °C; Distância do objeto - termovisor = 2 m

$\varepsilon$	Temp	$\varepsilon$	Temp
1,00	48,59	0,89	51,45
0,99	48,82	0,88	51,74
0,98	49,06	0,87	52,04
0,97	49,31	0,86	52,34
0,96	49,56	0,85	52,65
0,95	49,81	0,84	52,97
0,94	50,07	0,83	53,29
0,93	50,34	0,82	53,62
0,92	50,61	0,81	53,96
0,91	50,88	0,80	54,30
0,90	51,16		

Tabela 28: Ambiente =24 °C; Distância do objeto - termovisor = 2 m

$\varepsilon$	Temp	$\varepsilon$	Temp
1,00	48,59	0,89	51,26
0,99	48,81	0,88	51,54
0,98	49,03	0,87	51,81
0,97	49,26	0,86	52,10
0,96	49,50	0,85	52,39
0,95	49,73	0,84	52,68
0,94	49,98	0,83	52,99
0,93	50,22	0,82	53,30
0,92	50,48	0,81	53,61
0,91	50,73	0,80	53,93
0,90	50,99		

Tabela 29: Ambiente =26 °C; Distância do objeto - termovisor = 2 m

$\varepsilon$	Temp	$\varepsilon$	Temp
1,00	48,59	0,89	51,07
0,99	48,79	0,88	51,32
0,98	49,00	0,87	51,58
0,97	49,21	0,86	51,85
0,96	49,43	0,85	52,12
0,95	49,65	0,84	52,39
0,94	49,88	0,83	52,67
0,93	50,11	0,82	52,96
0,92	50,34	0,81	53,26
0,91	50,58	0,80	53,56
0,90	50,82		

Tabela 30: Ambiente =28°C; Distância do objeto - termovisor = 2 m

$\varepsilon$	Temp	$\varepsilon$	Temp
1,00	48,59	0,89	50,88
0,99	48,78	0,88	51,11
0,98	48,97	0,87	51,35
0,97	49,16	0,86	51,59
0,96	49,36	0,85	51,84
0,95	49,57	0,84	52,09
0,94	49,77	0,83	52,35
0,93	49,99	0,82	52,62
0,92	50,20	0,81	52,89
0,91	50,42	0,80	53,17
0,90	50,65		

Tabela 31: Ambiente =30 °C; Distância do objeto - termovisor = 2 m

$\varepsilon$	Temp	$\varepsilon$	Temp
1,00	48,59	0,89	50,67
0,99	48,76	0,88	50,89
0,98	48,93	0,87	51,11
0,97	49,11	0,86	51,33
0,96	49,30	0,85	51,56
0,95	49,48	0,84	51,79
0,94	49,67	0,83	52,03
0,93	49,86	0,82	52,27
0,92	50,06	0,81	52,52
0,91	50,26	0,80	52,77
0,90	50,47		

Tabela 32: Ambiente =32 °C; Distância do objeto - termovisor = 2 m

$\epsilon$	Temp	$\epsilon$	Temp
1,00	48,59	0,89	50,47
0,99	48,74	0,88	50,66
0,98	48,90	0,87	50,86
0,97	49,06	0,86	51,06
0,96	49,23	0,85	51,27
0,95	49,39	0,84	51,48
0,94	49,56	0,83	51,69
0,93	49,74	0,82	51,91
0,92	49,91	0,81	52,13
0,91	50,10	0,80	52,36
0,90	50,28		

Tabela 33: Ambiente =20 °C; Emissividade no termovisor = 1

D	Temp
2,00	48,59
4,00	48,59
6,00	48,59
8,00	48,59
10,00	48,59
12,00	48,59
14,00	48,59
16,00	48,59
18,00	48,59
20,00	48,59
22,00	48,59

Tabela 34: Ambiente =22 °C; Emissividade no termovisor = 1

D	Temp
2,00	48,59
4,00	48,59
6,00	48,59
8,00	48,59
10,00	48,59
12,00	48,59
14,00	48,59
16,00	48,59
18,00	48,59
20,00	48,59
22,00	48,59

Tabela 35: Ambiente =24 °C; Emissividade no termovisor = 1

D	Temp
2,00	48,59
4,00	48,59
6,00	48,59
8,00	48,59
10,00	48,59
12,00	48,59
14,00	48,59
16,00	48,59
18,00	48,59
20,00	48,59
22,00	48,59

Tabela 36: Ambiente =20 °C; Emissividade no termovisor = 0,99

D	Temp
2,00	48,84
4,00	48,84
6,00	48,84
8,00	48,84
10,00	48,84
12,00	48,84
14,00	48,84
16,00	48,84
18,00	48,84
20,00	48,84
22,00	48,84

Tabela 37: Ambiente =22 °C; Emissividade no termovisor = 0,99

D	Temp
2,00	48,82
4,00	48,82
6,00	48,82
8,00	48,82
10,00	48,82
12,00	48,82
14,00	48,82
16,00	48,82
18,00	48,82
20,00	48,82
22,00	48,82

Tabela 38: Ambiente =24 °C; Emissividade no termovisor = 0,99

D	Temp
2,00	48,81
4,00	48,81
6,00	48,81
8,00	48,81
10,00	48,81
12,00	48,81
14,00	48,81
16,00	48,81
18,00	48,81
20,00	48,81
22,00	48,81

Tabela 39: Ambiente =20 °C; Emissividade no termovisor = 0,98

D	Temp
2,00	49,10
4,00	49,10
6,00	49,10
8,00	49,10
10,00	49,10
12,00	49,10
14,00	49,10
16,00	49,10
18,00	49,10
20,00	49,10
22,00	49,10

Tabela 40: Ambiente =22 °C; Emissividade no termovisor = 0,98

D	Temp
2,00	49,06
4,00	49,06
6,00	49,06
8,00	49,06
10,00	49,06
12,00	49,06
14,00	49,06
16,00	49,06
18,00	49,06
20,00	49,06
22,00	49,06

Tabela 41: Ambiente =24 °C; Emissividade no termovisor = 0,98

D	Temp
2,00	49,03
4,00	49,03
6,00	49,03
8,00	49,03
10,00	49,03
12,00	49,03
14,00	49,03
16,00	49,03
18,00	49,03
20,00	49,03
22,00	49,03



Tabela 42: Ambiente =20 °C; Emissividade no termovisor = 0,97

D	Temp
2,00	49,36
4,00	49,36
6,00	49,36
8,00	49,36
10,00	49,36
12,00	49,36
14,00	49,36
16,00	49,36
18,00	49,36
20,00	49,36
22,00	49,36

Tabela 43: Ambiente =22 °C; Emissividade no termovisor = 0,97

D	Temp
2,00	49,31
4,00	49,31
6,00	49,31
8,00	49,31
10,00	49,31
12,00	49,31
14,00	49,31
16,00	49,31
18,00	49,31
20,00	49,31
22,00	49,31

Tabela 44: Ambiente =24 °C; Emissividade no termovisor = 0,97

D	Temp
2,00	49,26
4,00	49,26
6,00	49,26
8,00	49,26
10,00	49,26
12,00	49,26
14,00	49,26
16,00	49,26
18,00	49,26
20,00	49,26
22,00	49,26

## 12. Anexo E – Imagens do Termovisor Agema Scanner 487



Figura 35: Câmera do conjunto do termovisor AGEMA Scanner 487



Figura 36: Interface da câmera do termovisor AGEMA Scanner 487

## 13. Anexo F – Certificados de Calibração da FLIR

Página 1 de 4

### **Certificado Estendido de Calibração ThermaCAM P45 NTSC**

#### **Câmera calibrada**

Part number:XXXXXXXX

Número de Série: xxxxxxxx

Este equipamento é produzido pela FLIR Systems AB Danderyd, Suécia

#### **Resultados e Condições de Calibração**

**Resultado de Calibração:** A Calibração dentro das especificações foi carregada na memória interna da câmera. Estão apresentados os pontos de Calibração neste documento.

**Temperatura Ambiente durante a calibração:** 23.1 °C

**Umidade Relativa do Ar durante a Calibração:** 44 %

**Data da Calibração:** 23-01-2007

A calibração da câmera é orientada pelo NIST, o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA, e pelo SP, Instituto Nacional Sueco de Testes e Pesquisas. A calibração é baseada no ITS-90, Escala de Temperatura Internacional.

Data: 23-01-2007

Aprovado por

Luiz Gustavo V. Zuca  
Service Department  
FLIR Systems Brasil

Figura 37: Exemplificação do certificado de calibração emitido pela FLIR Systems

### Temperaturas de Calibração

Seguem abaixo os pontos padrões de calibração. Os pontos utilizados variam de acordo com o equipamento e faixas de temperaturas utilizadas pelos mesmos:

0°C, Ambiente, 35°C, 80°C, 110°C, 150°C, 200°C, 250°C, 350°C, 500°C, 600°C, 700°C, 850°C, 1000°C, 1200°C e 1500°C.

Favor notar que os valores de temperatura podem possuir erros dentro da classe, porém eles são considerados na temperatura real.

### Padrões Usados para a Calibração

**Nome:** BB-0            **S/N:** 50013

**Modelo:** BB0 - FLIR Systems AB

**Temperatura:** Até 2°C

**Precisão:**  $\pm 0,2^\circ\text{C}$

**Nome:** Ambient        **S/N:** 5004

**Modelo:** Ambient - FLIR Systems AB

**Temperatura:** Ambiente

**Precisão:**  $\pm 0,2^\circ\text{C}$

**Nome:** BB-3            **S/N:** 805019

**Modelo:** BB400 - FLIR Systems AB

**Temperatura:** 30°C – 350°C

**Precisão:**  $\pm(0,3 + 0,004^*t)^\circ\text{C}$ , onde **t** = temperatura em °C

**Nome:** BB-4            **S/N:** 805011

**Modelo:** BB400 - FLIR Systems AB

**Temperatura:** 30°C – 350°C

**Precisão:**  $\pm(0,3 + 0,004^*t)^\circ\text{C}$ , onde **t** = temperatura em °C

**Nome:** BB-8            **S/N:** 4781

**Modelo:** LS1250 – Electro Optical Industries, Inc.

**Temperatura:** 500°C – 1200°C

**Precisão:**  $\pm 3,0^\circ\text{C}$

Figura 38: Exemplificação do certificado de calibração emitido pela FLIR Systems

Part number:XXXXXXX

Número de Série: xxxxxxxx

**Tabela de Valores**

FOV 23, -10 - 55				
Padrão	Real Temp	Camera Temp	Erro	Emissividade
BB-0	2.50	xxx	xxx	0.996
Ambient	21.90	xxx	xxx	1.0000
BB-3	35.00	xxx	xxx	0.996
BB-3	54.90	xxx	xxx	0.996

FOV 23, -40 - 120				
Padrão	Real Temp	Camera Temp	Erro	Emissividade
BB-0	2.50	xxx	xxx	0.996
Ambient	21.90	xxx	xxx	1.0000
BB-3	35.00	xxx	xxx	0.990
BB-3	54.90	xxx	xxx	0.996
BB-3	119.80	xxx	xxx	0.996

FOV 23, 0 -500				
Padrão	Real Temp	Camera Temp	Erro	Emissividade
BB-0	2.50	xxx	xxx	0.996
Ambient	21.90	xxx	xxx	1.0000
BB-3	35.00	xxx	xxx	0.996
BB-3	54.90	xxx	xxx	0.996
BB-3	119.80	xxx	xxx	0.996
BB-4	249.30	xxx	xxx	0.996
BB-8	501.90	xxx	xxx	0.9900

Precisão Específica =  $\pm 2$  °C ou  $\pm 2\%$ 

Figura 39: Exemplificação do certificado de calibração emitido pela FLIR Systems