

ESTABILIZAÇÃO DA TEMPERATURA DA CÂMARA DIGITAL Magi DC575 UTILIZANDO PASTILHA TERMOELÉTRICA PARA OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE CORREÇÃO DO EFEITO DA CORRENTE ESCURA

Temperature Stabilization of the Digital Camera Magi DC 575 Using a Thermoelectric Device to Obtain the Correction Parameters of the Effect the Dark Current

João Batista Tavares Júnior^{1,3}

Evaldo Ribeiro^{1,2}

Daniel Rodrigues dos Santos¹

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Caixa Postal 19001, CEP: 81531-990 - Curitiba, PR
joaotavaresjunior@yahoo.com.br
danielsantos@ufpr.br

²Universidade Federal do Paraná – UFPR
Programa de Pós-Graduação em Física
Caixa Postal 19044, CEP: 81531-990 - Curitiba, PR
evaldo@fisica.ufpr.br

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais
Campus Inconfidentes
Praça Tiradentes, 416 - Centro, CEP 37.576-000 - Inconfidentes, MG

RESUMO

Conhecer os parâmetros de correções do efeito da corrente escura é fundamental para efetuar a calibração radiométrica de uma câmara digital. Para obter estes parâmetros é necessário manter constante a temperatura do dispositivo CCD da câmara, pois a corrente escura é resultante da agitação térmica e sua taxa de geração está fortemente correlacionada com a temperatura do dispositivo. Neste trabalho, é proposto o uso de pastilha termoeétrica para montar um sistema de refrigeração e de sensor termistor para medir e monitorar a temperatura do sistema. O sistema de refrigeração proposto foi acoplado na câmara Magi DC575 e os resultados obtidos foram apresentados em gráficos e em figuras. Foi demonstrada sua aplicabilidade e potencialidade no processo de refrigeração e estabilização da temperatura da câmara digital.

Palavras-chave: CCD, Corrente Escura, Peltier, Resfriamento, Câmara Digital.

ABSTRACT

Knowing the dark current correction parameters is fundamental to carry out radiometric calibration of a digital camera. To obtain these parameters it is necessary to keep the CCD device temperature constant, since the dark current is resultant from the thermal agitation and its generation rate is strongly correlated with the device temperature. In this paper it is proposed the use of a thermoelectric cooling device for decreasing and controlling the system temperature and a thermistor sensor to measure and monitor the temperature of the system. The proposed cooling system was coupled into a Magi DC575 camera and the obtained results have been presented in graphs and pictures. Results have confirmed both its applicability and potentiality in the refrigeration process and stabilization of the temperature of the digital camera.

Keywords: CCD, Dark Current, Peltier, Cooling, Digital Camera.

1. INTRODUÇÃO

Em 1970 Boyle e Smith desenvolveram um dispositivo capaz de armazenar e transferir cargas elétricas introduzidas eletronicamente ou opticamente sendo este denominado “dispositivo semicondutor de carga acoplada - CCSD” (em inglês: *Charge Coupled Semiconductor Devices*), o atual CCD (em inglês: *Charge Coupled Device*). O primeiro CCD obtido se deu pela associação linear de capacitores MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) de efeito de campo, sendo este denominado CCD linear, em seguida, pela junção paralela de CCD linear, surgiu o CCD de quadro (BOYLE e SMITH, 1970; TURNER, 1997; SZE e NG, 2007).

Um capacitor MOS de efeito de campo possui uma fonte, uma porta e um dreno. A fonte funciona como poço de potencial capaz de absorver fótons da luz incidente e armazená-los na forma de carga elétrica. O dreno funciona como coletor da carga elétrica armazenada nos poços de potencial (BARBE, 1975; SZE e NG, 2007). Já a porta controla a transferência de carga entre os n poços de potencial (n canais e/ou n pixels). O controle da transferência de carga se dá pela aplicação de pulsos elétricos - controlados por um sinal de *clock* (ver TOCCI e WIDMER (2003) pág. 163) - na porta ocasionando a formação de uma camada de depleção que se estende para dentro do canal, obstruindo a passagem da corrente; detalhes em: BOYLE e SMITH, 1970; KOSONOCKY, 1974; KOSONOCKY e SAUER, 1975; BEYNON e LAMB, 1980; SZE e NG, 2007.

A concepção de um dispositivo CCD se dá pela associação de sucessivas camadas de silício, óxido de silício e um metal (alumínio ou silício) (TURNER, 1997). O silício é um material semicondutor com propriedades fotoelétricas, ou seja, é um material capaz de converter a radiação incidente em sinal elétrico, sendo sua eficiência limitada pelos ruídos (SZE e NG, 2007). Os ruídos são provocados por causa de efeitos sistemáticos ou de efeito transiente causados por falhas na fabricação do sensor ou deficiência na tecnologia do dispositivo, sendo a corrente escura e o ponto *blemishes* as fontes de ruído de maior relevância (SHORTIS e BEYER, 1996).

A corrente escura origina-se da agitação térmica dos portadores minoritários, que no caso do silício são os elétrons, presentes no semicondutor (BEYNON e LAMB, 1980; SZE e NG, 2007; SHORTIS e BEYER, 1996). Sua presença está fortemente correlacionada com a temperatura a qual exerce influência sobre o fenômeno físico responsável pela condutividade elétrica nos materiais semicondutores.

A condutividade elétrica dos materiais semicondutores pode ser explicada utilizando o conceito de níveis de energia e sua ocupação; os níveis mais altos ocupados dão origem à banda de condução e à banda de valência. Para que haja a condutividade elétrica é necessário que os elétrons da banda de valência adquiram energia suficiente para serem promovidos

para a banda de condução, caso contrário, o material funciona como isolante (mais informações em: CASSIGNOL, 1967; YU e CARDONA, 1996; SWART, 2006; PEREIRA, 2006; SZE e NG, 2007).

Quanto à disposição dos níveis de energia, a 0 K, um material semicondutor possui características idênticas aos dos materiais isolantes, porém, quando a temperatura do cristal aumenta, os elétrons adquirem energia térmica suficiente para serem elevados a níveis de energia mais altos, sendo este processo conhecido como geração termal ou corrente escura (CASSIGNOL, 1967 e BEYNON e LAMB, 1980).

A geração de corrente escura tende a ser não uniforme sobre todo o dispositivo havendo pontos ou áreas fixas com taxa de geração de corrente escura diferenciada dos demais elementos devido à deficiência do material, tal como defeito na cristalografia do silício, ou por defeitos introduzidos no processo de fabricação; sendo este efeito denominado ponto *blemishes* ou pontos de corrente escura (BEYNON e LAMB, 1980; SHORTIS e BEYER, 1996).

A corrente escura é produzida continuamente em taxas proporcionais à temperatura absoluta do dispositivo, sendo assim exponencialmente dependente da temperatura, diminuindo por um fator de aproximadamente 2 (dois) para cada redução de 10 °C na temperatura do dispositivo. As não uniformidades da corrente escura serão diminuídas similarmente, melhorando desse modo consideravelmente a sensibilidade do dispositivo (BEYNON e LAMB, 1980; SZE e NG, 2007).

A taxa de ruídos dos sensores empregados em câmaras imageadoras científicas é reduzida a valores negligenciáveis refrigerando o dispositivo CCD à temperatura do nitrogênio líquido (77 K); no entanto, devido ao valor agregado, a estética do produto e o comprometimento do funcionamento de outros componentes eletrônicos, torna-se inviável sua aplicação em câmaras imageadoras convencionais (câmaras de pequeno formato, câmaras digitais não métrica e/ou câmaras digitais convencionais) (SHORTIS e BEYER, 1996).

Devido ao avanço tecnológico do sensor CCD e sua conseqüente popularização, cientistas almejam empregar câmaras imageadoras convencionais como instrumento de coleta de dados para trabalhos técnico-científicos.

Para Cunha et al. (2009) já está provado o real potencial do uso das câmaras imageadoras convencionais em levantamentos aerofotogramétricos, havendo pesquisas e aplicações em diversas áreas do conhecimento (GONÇALVES, et al. (2005); DISPERATI et al. (2009); DISPERATI et al. (2007), MACHADO et al. (2003), MACHADO et al. (2004), MITISHITA et al. (2009); CORTES e MITISHITA (1999), MENDONÇA e MITISHITA (2007) RUY et al.(2007); RUY et al. (2008).

Já Sartori et al. (2007) destaca a potencialidade e aplicabilidade da banda do infravermelho próximo adquirida por câmaras imageadoras convencionais,

porém, para Disperati et al. (2007) seu emprego ainda é limitado pela real compreensão do funcionamento do seu sistema radiométrico.

De acordo com Tavares Jr. et al. (2010), para melhor explorar a potencialidade das câmaras imageadoras convencionais deve-se efetuar a calibração radiométrica destes dispositivos. O ato de efetuar a calibração radiométrica implica na obtenção dos coeficientes que permitem transformar valores digitais em valores físicos (radiância/reflectância), sendo o L_{min} um destes fatores (CHANDER e MARKHAM, 2003). O L_{min} representa a quantidade de carga acumulada no dispositivo gerada sem o sensor ter sido exposto à radiação eletromagnética, ou seja, representa a corrente escura conforme acima discorrido.

Tavares Jr. et al. (2010) retratam que mesmo na ausência de radiação eletromagnética a câmara imageadora convencional registra valores de NC (Nível de Cinza), sendo este relacionado ao efeito da corrente escura. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo estabelecer um sistema de refrigeração do CCD da câmara imageadora convencional para estabilizar a temperatura do dispositivo, possibilitando a obtenção de coeficientes - para a câmara em análise - para correção do efeito da corrente escura; para tanto é proposto o uso de pastilha termoelétrica para refrigerar o dispositivo e de um sensor termistor para mensurar e monitorar a temperatura no sistema.

2. MÉTODO

Constituído de material semicondutor, um sensor termistor (Figura 1) é um resistor sensível à variação da temperatura, sendo classificado em duas classes distintas: semicondutores de óxido de metal e cristal simples, que apesar de pertencer a classes distintas, não competem entre si, ou seja, se complementam. Os termistores podem apresentar diferentes formas (circular, cilíndrica, plana, etc) e tamanho, podendo ser utilizados para medir e monitorar temperaturas de, por exemplo: ar ambiente, líquidos, superfícies sólidas e radiações. A amplitude da faixa de operação de um termistor, em primeira ordem, depende da energia de *gap* do material utilizado, sendo os termistores de óxido de metal os mais comuns para medir temperaturas entre -73 °C a 426 °C (SZE e NG, 2007).



Fig. 1 - Termistor 200kΩ para temperatura ambiente.

As vantagens em utilizar termistores para medida de temperatura incluem o baixo custo, a alta resolução (décimos de °C), e a flexibilidade no tamanho e forma. No entanto, devido ao fato da temperatura ser medida em função do valor absoluto da resistência

elétrica do dispositivo, há necessidade de efetuar a calibração do mesmo.

Neste trabalho é proposto o uso do equipamento PolyScience Modelo 9112 (Figura 2 - a) para calibrar o sensor termistor. O PolyScience é um equipamento capaz de manter a temperatura do seu fluido interno dentro de uma faixa de temperatura de -20 °C à 200 °C com estabilidade de $\pm 0,01$ °C.

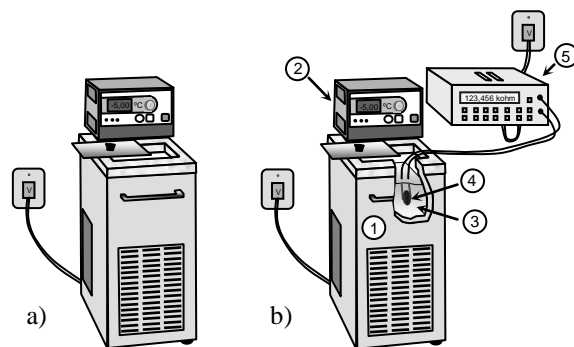


Fig. 2 - a) Equipamento PolyScience Modelo 9112; e b) Processo de calibração do sensor termistor.

Para calibrar o termistor, o mesmo é mergulhado no banho térmico do equipamento PolyScience e sua resistência elétrica medida com um multímetro configurado para leitura da resistência elétrica (ohmímetro) conforme descrito na Figura 2 - b, onde: (1) Cuba de armazenamento do banho térmico; (2) Controlador digital da temperatura; (3) Banho térmico; (4) Termistor a ser calibrado e (5) Multímetro. Neste trabalho propõe-se o uso do multímetro Keithley Modelo 2000 para medir a resistência elétrica do termistor.

Já a pastilha termoelétrica é um dispositivo concebido pela junção de elementos semicondutores tipo p e tipo n soldados entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo (Figura 3).

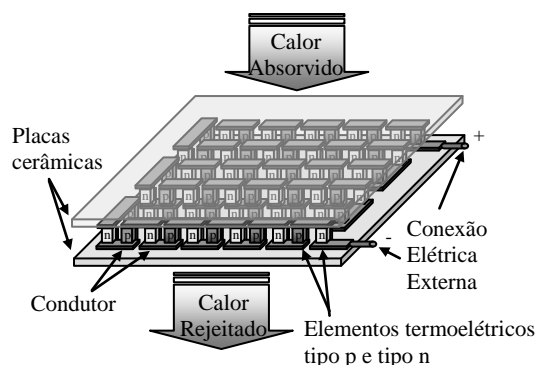


Fig. 3 - Pastilha termoelétrica de efeito Peltier.

Seu princípio de operação é regido pela teoria do efeito Peltier, pelo qual a corrente elétrica ao passar de um elemento tipo p para um elemento tipo n transforma a energia elétrica em energia térmica produzindo calor na junção. Ao passo que, a corrente elétrica ao passar do elemento tipo n para o elemento do tipo p, transforma a energia térmica em energia elétrica, reduzindo a

temperatura na junção, absorvendo calor do ambiente. O calor absorvido nesta junção é transferido para a outra junção pelos elétrons emitindo-a no outro lado (lado quente) (Ver Figura 3) (DUCKWOORTH, 1960).

A absorção ou a produção de calor em uma junta são indicações de que há atuação de uma força eletromotriz na junção, sendo sua intensidade proporcional à corrente e o número de pares de elementos tipo n e tipo p (CRECRAFT et al. 1993). Cada material termoeletrico reage de maneira diferente, havendo um ponto onde o calor gerado internamente anula a capacidade de o módulo transferir calor. Desse modo cada pastilha possui seu próprio limite de quanto calor pode transferir sendo este valor denominado Q_{max} .

A intensidade de corrente elétrica associada ao Q_{max} é conhecida como I_{max} . Ao atingir a corrente I_{max} , haverá uma diferença máxima de temperatura entre o lado frio e o lado quente, designado ΔT_{max} (SNYDER e URSELL, 2003).

A diferença de temperatura ΔT_{max} pode ser aumentada utilizando dissipador térmico e ventilador em conjunto com uma ou mais pastilhas termoeletricas.

Neste trabalho é proposta a associação de pastilhas termoeletricas com um dissipador térmico e um ventilador perfazendo as configurações sugeridas na Figura 4 para refrigerar o CCD da câmara imageadora convencional Magi DC575.

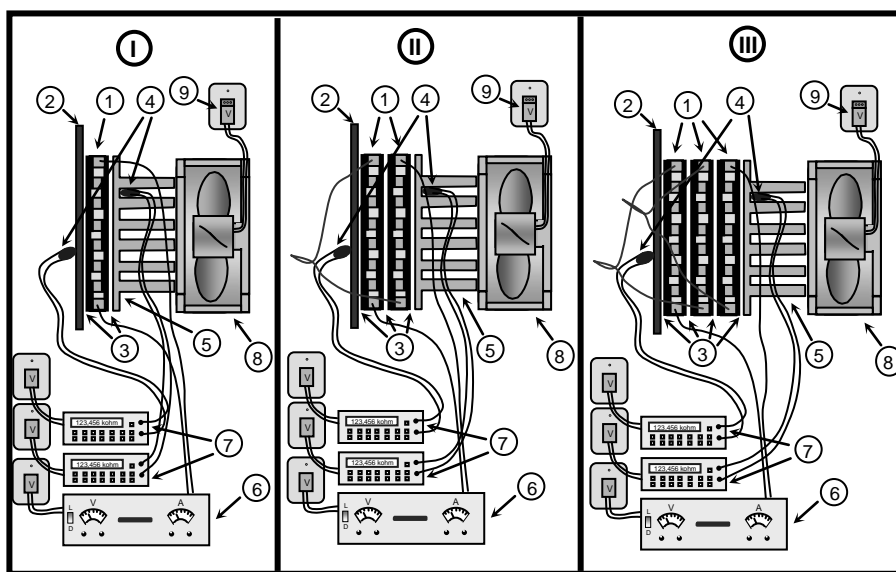


Fig. 4 - Configurações propostas para montagem do sistema de refrigeração.

Na Figura 4 tem-se: **(I)** Configuração de um dispositivo de refrigeração com apenas uma pastilha termoeletrica; **(II)** Configuração do dispositivo com duas pastilhas termoeletricas e **(III)** Configuração com três pastilhas termoeletricas; sendo: (1) Pastilha termoeletrica; (2) Placa de circuito impresso; (3) junção entre a placa de circuito impresso com a pastilha termoeletrica, junção entre as pastilhas termoeletricas e a junção da pastilha termoeletrica com o dissipador térmico; (4) Termistor; (5) Dissipador térmico; (6) Fonte estabilizadora de corrente elétrica; (7) Multímetro; (8) Ventilador e (9) Fonte de tensão elétrica regulável de 3 a 12 Volts.

Para obter o valor de Q_{max} , I_{max} e ΔT_{max} dos sistemas de refrigeração acima citados é proposta a realização de medidas em laboratório. Para tanto, é proposto o uso da fonte estabilizadora TECTROL Modelo TCA 60-10 para controlar a corrente elétrica na pastilha termoeletrica e do multímetro Keithley Modelo 2000 para medir a resistência elétrica do termistor (temperatura). Também é proposto o uso de pasta térmica - composto químico elaborado com elementos com propriedades de condução térmica - na junção entre os componentes acima descritos, assegurando a transferência térmica entre os constituintes.

Após aplicar uma corrente elétrica na pastilha termoeletrica ocorrerá o resfriamento de um lado e aquecimento do outro lado da placa, até chegar a um ponto de estabilidade, podendo assim, efetuar a leitura da resistência elétrica do termistor do lado quente e do lado frio. Estes valores são plotados em um gráfico no qual a abscissa representa a corrente elétrica aplicada na pastilha termoeletrica e a ordenada a temperatura de ambos os lados da pastilha termoeletrica.

Após conhecer os valores dos parâmetros Q_{max} , I_{max} e ΔT_{max} , inicia-se a montagem de adaptação do sistema de resfriamento na câmara imageadora convencional, conforme descrito na Figura 5.

Na Figura 5: **(I)** Câmara imageadora Magi DC575; **(II)** Visão global da montagem final do sistema de refrigeração; **(III, IV, V e VI)** Partes constituintes da câmara e do sistema de refrigeração, sendo: (1) Sensor CCD da câmara imageadora convencional; (2) caixa de proteção do CCD, (3) Objetiva; (4) Placa de circuito impresso; (5) Display LCD; (6) Sensor termistor; (7) Multímetro configurado para leitura da resistência elétrica (ohmímetro); (8) Pastilha termoeletrica; (9) Lado frio da pastilha termoeletrica; (10) Lado quente da pastilha termoeletrica; (11) Fonte estabilizadora de corrente para a pastilha termoeletrica; (12) Dissipador

térmico; (13) Ventilador; (14) Fonte estabilizadora de corrente para o ventilador.

Após a montagem do sistema de refrigeração na câmara imageadora, propõe-se a execução de tomada de um conjunto de imagens em intervalos de temperatura

de $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para monitorar a alteração do valor de NC ao variar a temperatura do dispositivo, assim como localizar os pontos *blemishes*.

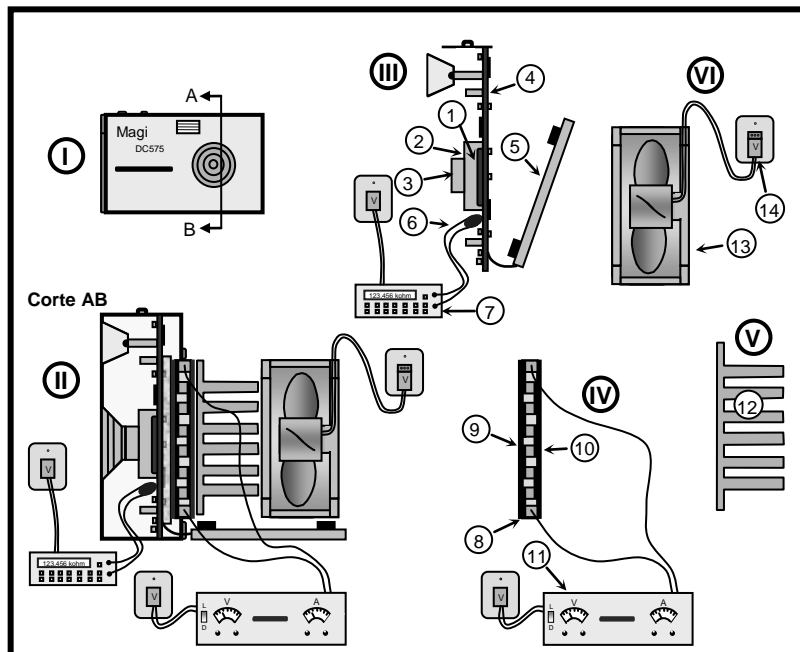


Fig. 5 - Montagem do sistema de refrigeração na câmara imageadora e os seus componentes.

Para avaliar os resultados, adotou-se o método descrito por Tavares Jr. et al (2010), sendo assim proposto a construção de histogramas (4^a Etapa – Figura 6) representando os valores: médio ($NC_{m\u00e9dio} = \text{mean}(A)$) e desvio padr\u00e3o ($NC_{Desv\text{ipad}} = \text{std}(A)$), onde ($A = p(l, c, k)$); p \u00e9 o pixel na posi\u00e7\u00e3o (l, c), e l o n\u00famero da linha, c o n\u00famero da

coluna e k o n\u00famero de cenas que comp\u00f5em o conjunto de imagem em an\u00e1lise) de NC (3^a Etapa – Figura 6) registrados em cada pixel do conjunto de cenas (2^a Etapa – Figura 6) que comp\u00f5em o conjunto de imagens (1^a Etapa – Figura 6) adquirido em ambiente escuro, como pode ser observado no fluxograma da Figura 6.

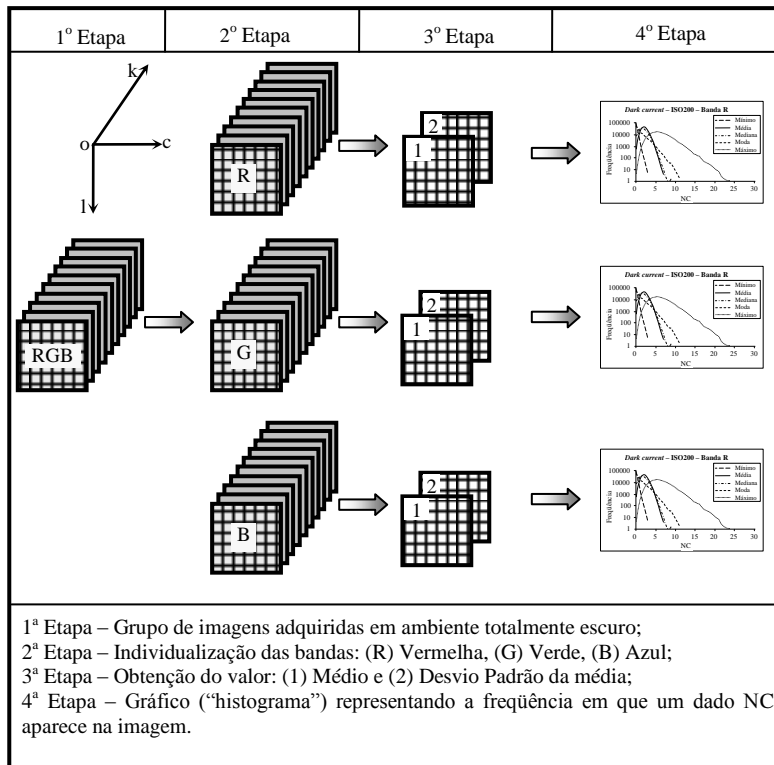


Fig. 6 – Fluxograma das etapas para avaliar o efeito da variação da temperatura do dispositivo CCD.

Segundo Beynon e Lamb (1980) a taxa de geração de corrente escura tende ser não uniforme sobre todo o dispositivo, havendo áreas ou pontos com taxa de geração de corrente escura diferenciada dos demais elementos – pontos *blemishes* - devido a defeitos na cristalografia do silício ou por defeitos introduzidos no processo de fabricação.

Para identificar e localizar os pontos *blemishes* na imagem, neste trabalho propõe-se a adoção da teoria da distribuição normal a qual pressupõe que a medida de uma grandeza tende a se agrupar em torno de um valor, o qual a probabilidade de ocorrência é máxima próximo ao valor médio e diminui com o afastamento do valor médio. O afastamento máximo permitido, ou seja, o valor de erro a partir do qual não se aceita para fazer parte da medida é denominado erro médio quadrático.

Assim, adotou-se o seguinte critério para identificar os pontos *blemishes* na imagem:

$$\text{se } \begin{cases} NC < \overline{NC} - \sigma \\ NC > \overline{NC} + \sigma \end{cases} \Rightarrow \text{é ponto } \textit{blemishes}$$

Caso contrário,

$$\text{se } \overline{NC} - \sigma \leq NC \leq \overline{NC} + \sigma \Rightarrow \text{não é ponto } \textit{blemishes}$$

Onde:

\overline{NC} \Rightarrow Nível de cinza médio;

NC \Rightarrow Nível de cinza em análise;

σ \Rightarrow Desvio padrão médio.

3. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os experimentos e análises conduzidos neste trabalho foram divididos em três etapas, a saber: 1) Calibração do sensor termistor; 2) Definição dos parâmetros Q_{\max} , I_{\max} e ΔT_{\max} da pastilha termoeletrica 3) Identificação de pontos *blemishes* do sensor CCD da câmara Magi DC575 e obtenção dos parâmetros de correção do efeito da corrente escura.

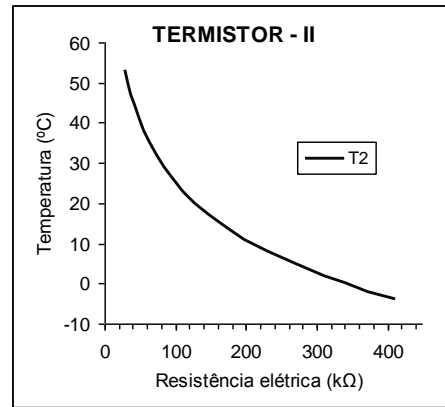
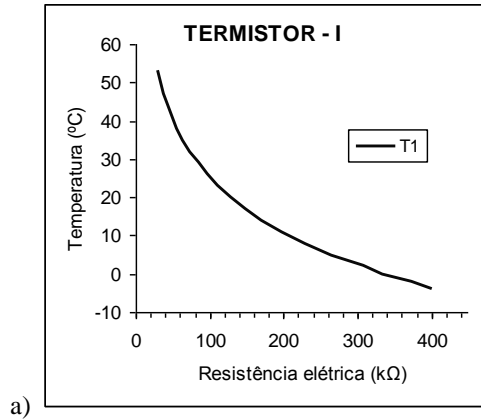
3.1. Calibração do sensor termistor

Para medir e monitorar a temperatura do conjunto - câmara e sistema de refrigeração - adquiriu-se dois sensores termistores de 200 k Ω para temperatura ambiente, sendo estes calibrados para operar com temperaturas entre -10 °C a 60 °C.

Para calibrar os termistores, utilizou-se um banho térmico composto de 50 % de água destilada e 50 % de etileno glicol. O etileno glicol é uma substância miscível com a água e devido às suas propriedades químicas e físicas desloca o ponto de solidificação da água para uma temperatura em torno de -35 °C, permitindo que esta solução seja utilizada como banho térmico para temperaturas entre -20 °C a 90 °C, sem que ocorra sua solidificação e/ou evaporação (POLYSCIENCE, 2007).

Para calibrar os termistores, os mesmos foram mergulhados no banho térmico, acima citado, e sua

resistência elétrica medida em intervalos de 3 °C na faixa compreendida entre -10 °C a 60 °C. Os valores obtidos foram plotados em gráfico onde as abscissas representam a resistência elétrica do termistor e a ordenadas as temperaturas equivalentes, como pode ser observado na Figura 7.



b) Fig. 7 – Curva de calibração do sensor termistor T1 e T2.

Analisando os gráficos apresentados na Figura 7, constata-se que a relação - resistência elétrica x temperatura - apresenta forma exponencial, conforme descrito por Sze e Ng (2007). Ajustando a curva à forma exponencial obteve-se a seguinte equação (Equação 1).

$$t = t_0 + A1 * e^{(-k\Omega/b1)} + A2 * e^{(-k\Omega/b2)} + A3 * e^{(-k\Omega/b3)} \quad (1)$$

Onde, (t) é a temperatura correspondente à resistência elétrica observada; (kΩ) é a resistência elétrica do sensor termistor observada - kohms; t0, A1, A2, A3, b1, b2 e b3 coeficientes ajustados, sendo seus valores apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - VALORES DOS COEFICIENTES AJUSTADOS PARA A EQUAÇÃO 1

Sensor Termistor	Coeficientes ajustados						
	t0 (°C)	A1 (°C)	t1 (Ω)	A2 (°C)	t2 (Ω)	A3 (°C)	t3 (Ω)
T1	-18,36013	42,53404	31,23236	57,88934	254,1428	2,78001	-1,98 x 10 ⁸⁹
T2	-18,37152	41,88026	32,35717	56,9667	257,777	3,02446	-2,20 x 10 ⁹⁰

Analisando os valores dos coeficientes ajustados na Tabela 1, verifica-se que as diferenças entre os coeficientes da curva ajustada para o termistor T1 e T2 são pequenas. Entretanto, caso seja necessário empregar outro sensor termistor recomenda-se que se efetue sua calibração, mesmo utilizando sensor termistor confeccionado pelo mesmo fabricante, pois há probabilidade de ter ocorrido falhas no processo de confecção do dispositivo.

Ao avaliar os gráficos expostos na Figura 7, constata-se que os termistores aqui empregados foram mais sensíveis à baixa temperatura do que a temperatura mais elevada. Isto se deve ao fato de que para baixa temperatura pequena variação da mesma causa maior diferença na resistência elétrica do termistor. Por outro lado, quando em temperaturas mais elevadas, para que ocorra uma pequena variação da resistência elétrica do termistor, é necessário que haja maior variação de temperatura.

3.2. Definição dos parâmetros Q_{max}, I_{max} e ΔT_{max} da pastilha termoeletrica

Para montar as configurações propostas para o sistema de refrigeração a ser utilizado na câmara imageadora convencional, descritas na Figura 4, adquiriu-se uma pastilha termoeletrica de 91,2 W (P91) e duas de 136,8 W (P137 - 1 e 2) de consumo e intensidade de corrente elétrica (amperagem) máxima de 9 A, sendo a dimensão de ambas as pastilhas de 40 x 40 x 3,4 mm.

De posse das pastilhas, as configurações do sistema de resfriamento descrito na Figura 4 foram montados, sendo a configuração (I) montada duas vezes - uma com a pastilha termoeletrica P91 e outra com a pastilha P137 - 1. A configuração (II) foi realizada utilizando as pastilhas P137 - 1 e P137 - 2 e a configuração (III) com ambas pastilhas P137 - 1, P137 - 2 e P91.

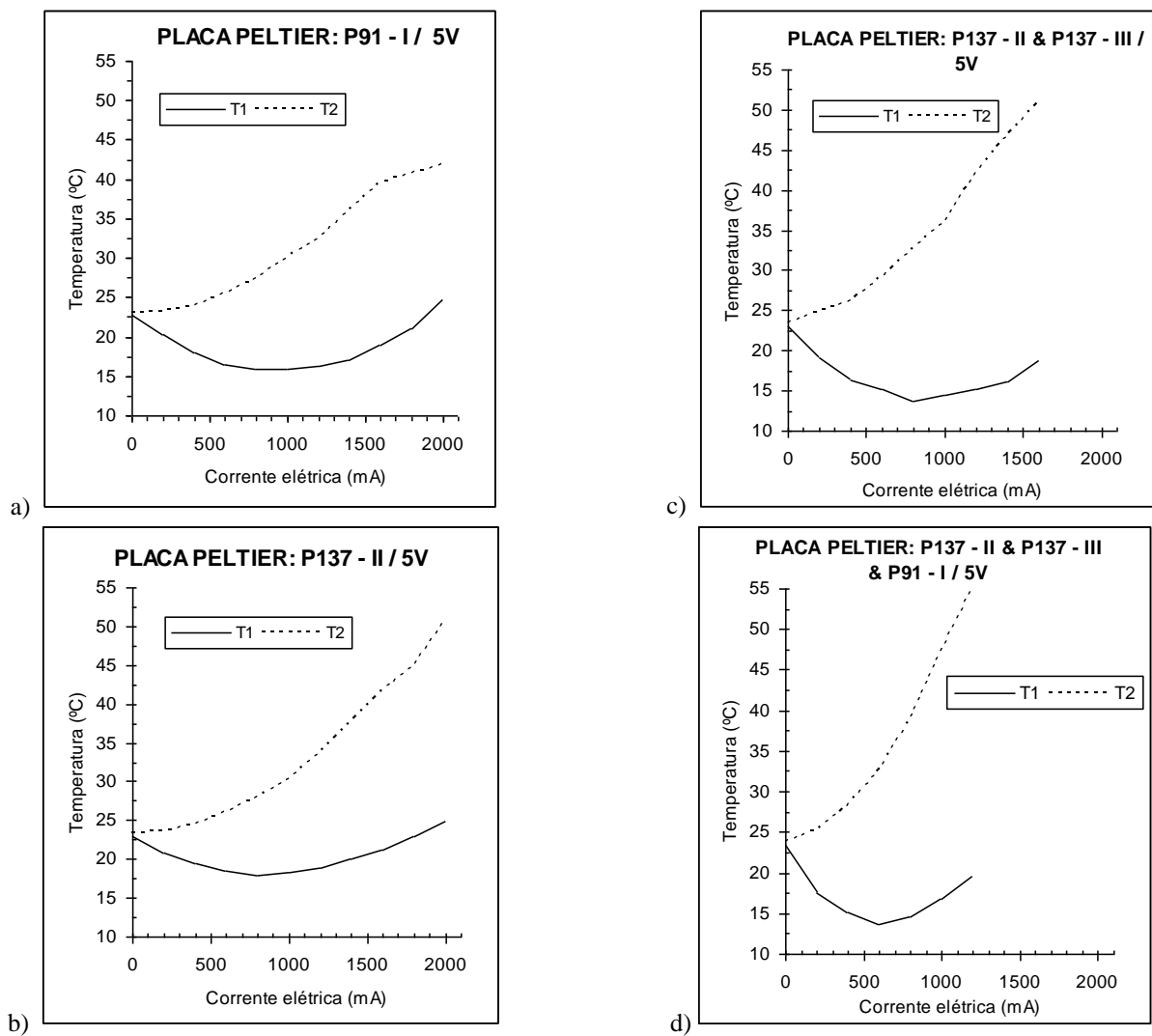


Fig. 8 – Curva de calibração do sistema de refrigeração utilizando pastilha termoelétrica.

Montados os experimentos, iniciou-se a medida das temperaturas. A primeira leitura realizada foi a 23,5°C - temperatura local - e em seguida aplicou-se uma carga elétrica de 5 V ao ventilador e uma corrente elétrica de 200 mA na pastilha termoelétrica. Após estabilizar a temperatura, a mesma foi registrada e em seguida aplicou-se mais 200 mA de corrente elétrica na pastilha e repetiu o procedimento descrito. Os resultados

obtidos foram plotados em um gráfico, onde a abscissa representa a corrente elétrica aplicada no dispositivo e a ordenada a temperatura do sistema, como se pode observar na Figura 8.

Analisando a Figura 8 extraiu-se os seguintes valores para Q_{max} , I_{max} e ΔT_{max} , os quais estão expressos na Tabela 2.

TABELA 2: VALORES DE Q_{max} , I_{max} E ΔT_{max} OBSERVADO NA FIGURA 8

Pastilha Termoelétrica	I_{max} mA	Lado frio		Lado quente		ΔT_{max} °C
		Q_{max}		Q_{max}		
		T1 (kΩ)	T1 (°C)	T2 (kΩ)	T2 (°C)	
P91 / 5v	1000	157,3	15,87	79,6	30,06	14,19
P137 - 1 / 5v	800	142,3	17,94	87,8	27,95	10,01
P137 - 1 e 2 / 5v	800	173,8	13,80	70,6	32,70	18,90
P137 - 1 e 2 P91 / 5v	600	174,8	13,68	70,9	32,60	18,92

Pela Tabela 2 verifica-se que a temperatura mínima (Q_{max}) da pastilha P91 é atingida ao aplicar uma corrente elétrica de 1000 mA, sendo esta 15,87 °C. Já para o sistema montado com a pastilha P137 – 1, sua temperatura mínima, 17,94 °C foi obtida aplicando uma corrente elétrica de apenas 800 mA ao sistema. Comparando a temperatura mínima alcançada pelas duas pastilhas (P91 e P137 – 1), verifica uma diferença de temperatura de 2,07 °C, sendo a pastilha P91 a que atinge menor temperatura.

Comparando os valores Q_{max} obtidos com o arranjo (II) e (III) observa que há uma diferença de temperatura de apenas 0,12 °C; o que não justifica o dispêndio agregado na configuração (III). Fazendo uma análise global entre todos os valores de temperatura obtidos, certifica-se que a configuração (II) foi a que apresentou melhor resultado, alcançando uma temperatura de 13,80 °C com uma corrente elétrica de 800 mA perfazendo um ΔT_{max} de 18,90 °C.

O ato de acrescentar uma pastilha termoelétrica à pastilha P137 – 1, obtendo a configuração (II), em série no sistema de refrigeração proporcionou uma queda de temperatura de -4,14 °C. Com o intuito de obter temperatura menores, a tensão aplicada no ventilador foi ampliada de 5 V para 12 V aumentando a velocidade do ventilador e, conseqüentemente a capacidade de dissipação térmica; em seguida realizou-se a medida das novas temperaturas seguindo o critério acima mencionado. Os resultados obtidos foram representados em um gráfico o qual pode ser visualizado na Figura 9.

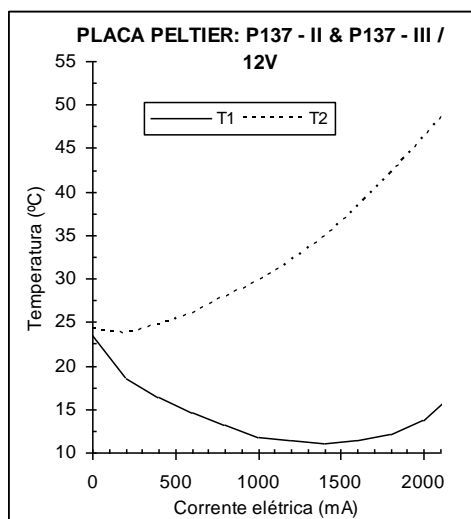


Fig. 9 – Curva de calibração do sistema de refrigeração aplicando uma carga elétrica de 12 V ao ventilador.

Na Figura 9 observa-se que a menor temperatura atingida ocorreu ao aplicar uma corrente elétrica de 1400 mA, sendo esta de 11,14 °C. Comparando-a com a temperatura obtida aplicando uma carga elétrica de 5 V no ventilador certifica-se que houve um ganho de -2,66 °C ao aumentar a velocidade de rotação do ventilador.

Para obter o ganho de -2,66 °C na queda da temperatura, houve a necessidade de aumentar a corrente elétrica aplicada na pastilha termoelétrica em 600 mA, implicando também, em um aumento de ΔT_{max}

de 4,81 °C. Sendo assim, adotou-se a configuração (II) como a melhor configuração de refrigeração para ser aplicada como sistema de refrigeração para a câmara imageadora em estudo.

3.3. Identificação de pontos *blemishes* do sensor CCD da câmara Magi DC575 e obtenção dos parâmetros de correção do efeito da corrente escura

Para verificar o comportamento da corrente escura mediante a variação de temperatura da câmara, utilizou-se o sistema de refrigeração com a configuração (II) (Figura 4), a qual apresentou melhor resultado em relação as demais avaliadas. Definida a configuração do sistema de refrigeração a ser empregado, o mesmo foi adaptado na câmara seguindo a configuração apresentada na Figura 5. O resultado da montagem pode ser visualizado na Figura 10.

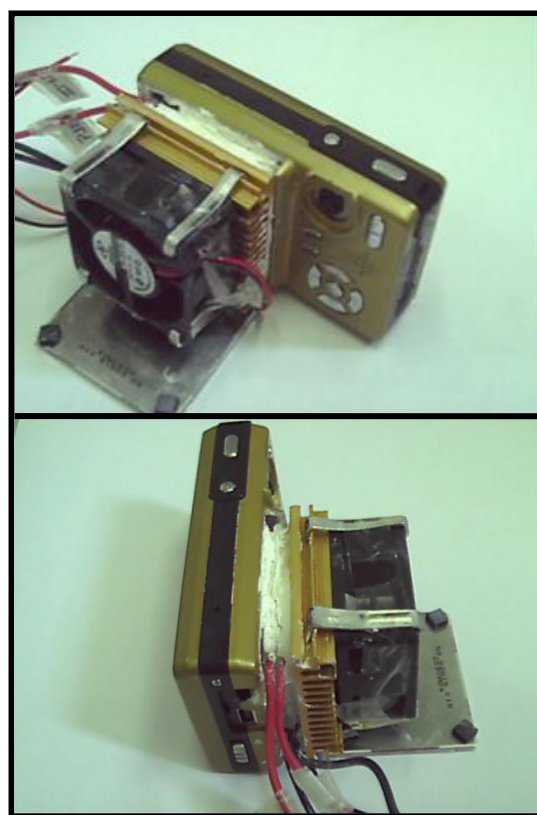


Fig. 10 – Montagem do sistema de refrigeração na câmara Magi DC575.

Após a montagem do sistema, foram adquiridos seis grupos de imagens - em ambiente totalmente escuro - para análise da corrente escura; sendo cada grupo composto por 50 imagens. O primeiro grupo (G – I) de imagens foi adquirido à temperatura de 16,52 °C; o segundo grupo (G – II) foi adquirido à temperatura de 21,72 °C; o terceiro grupo (G – III) foi adquirido à temperatura de 27,83 °C; o quarto grupo (G – IV) foi adquirido à temperatura de 35,73 °C; o quinto grupo (G – V) foi adquirido à temperatura de 45,18 °C e o sexto grupo (G – VI) foi adquirido à temperatura de 54,84 °C, como pode ser observado na Tabela 3, onde tem-se na primeira coluna o grupo de imagem, na segunda coluna

o número de imagens que compõem o grupo, na terceira coluna a temperatura do CCD no momento da tomada das imagens.

TABELA 3: GRUPO DE IMAGENS ADQUIRIDAS PARA AVALIAÇÃO DA CORRENTE ESCURA

Grupo	Nº de imagens	Temperatura °C
G-I	50	16,52
G-II	50	21,72
G-III	50	27,83
G-IV	50	35,73
G-V	50	45,18
G-VI	50	54,84

Após obter as imagens, iniciou-se o processo de avaliação. O primeiro teste realizado se deu pela aplicação de contraste em algumas imagens (Figura 11a) com o objetivo de aumentar a discriminação visual dos valores registrados na imagem. O resultado obtido é apresentado na Figura 11 b.

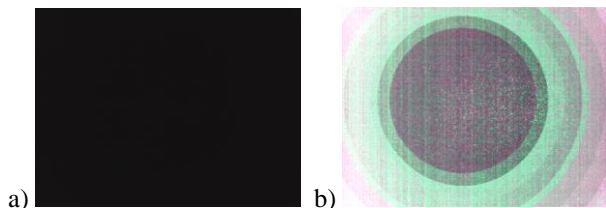


Figura 11 – (a) Imagem sem contraste; (b) Resultado da aplicação de contraste na imagem a.

Pela Figura 11a não é possível discriminar visualmente as diferenças entre os valores registrados na imagem, por outro lado, ao avaliar a Figura 11b, resultante da aplicação de contraste, é possível discriminar visualmente as diferenças entre os valores

registrados na imagem, constatando a presença de faixas circulares concêntricas e estratificadas.

Estes valores são parâmetros de correção do efeito da difração produzida pela lente da câmara Magi DC575. O efeito da difração ocorre especificamente em câmaras que usam lentes com diâmetro de abertura, para coleta de radiação eletromagnética, pequeno (2,5 mm no caso da câmara Magi DC 575).

Assim, para efetuar a análise da influência da temperatura sobre a corrente escura optou-se em fazer um recorte no centro da imagem, como indicado na Figura 12.

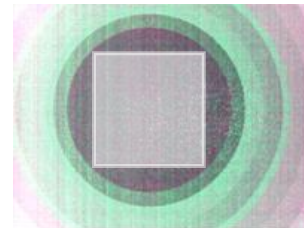
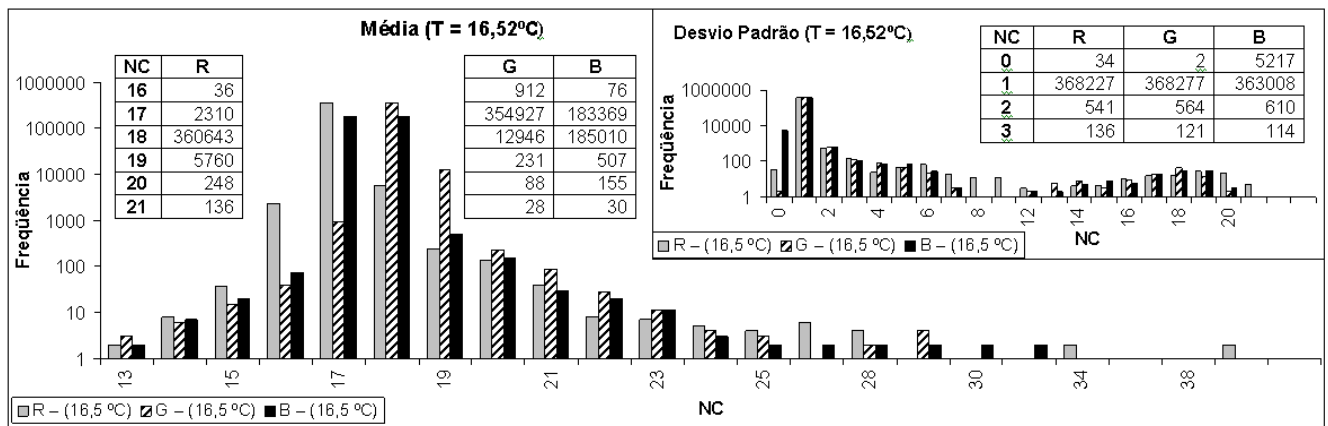
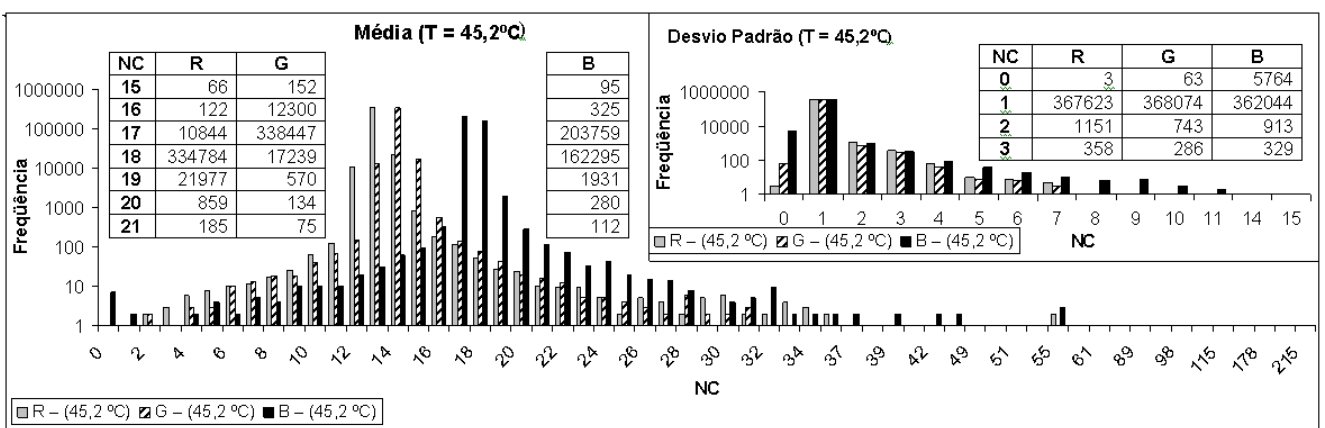
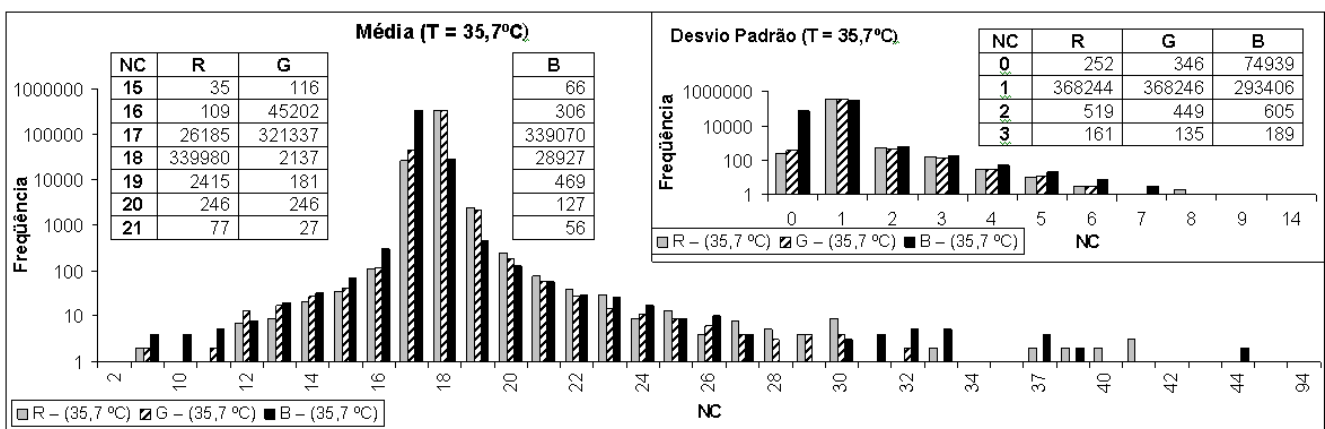
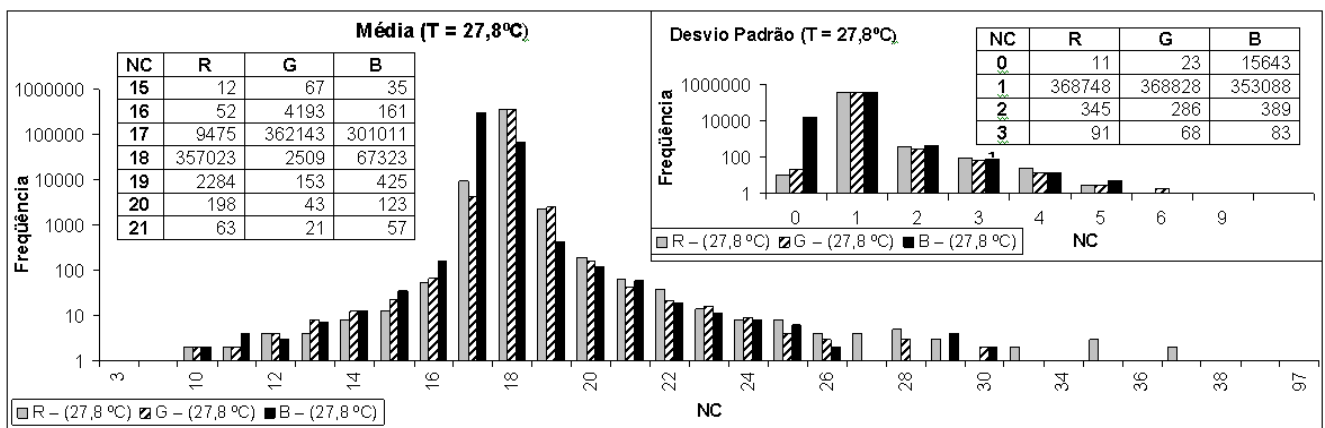
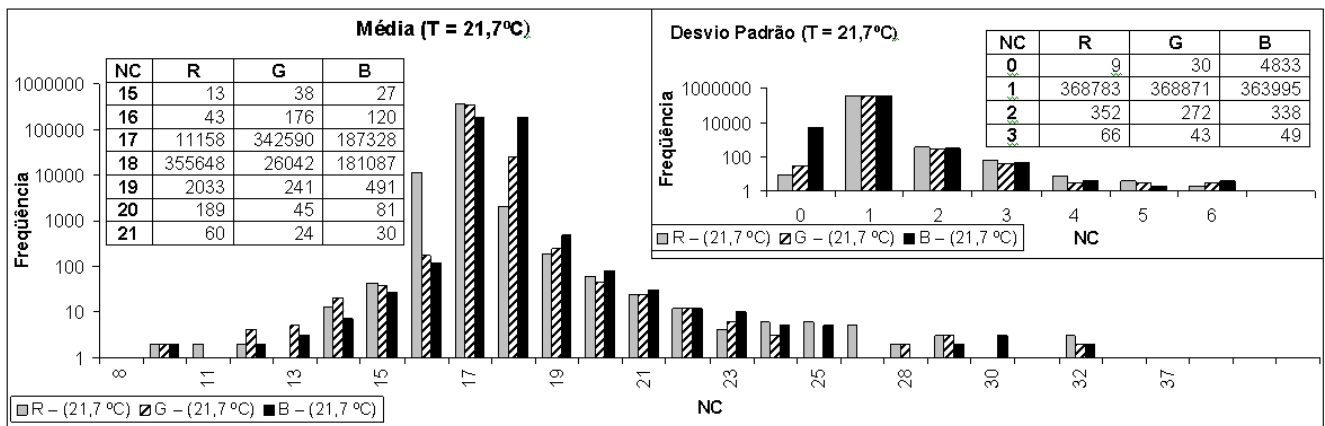


Fig. 12 – Localização na imagem da região avaliada.

Após recortar as imagens, realizou-se o cálculo da média e do desvio padrão de cada grupo de imagem conforme descrito nas etapas 1, 2 e 3 do fluxograma apresentado na Figura 6, obtendo como resultado 12 imagens, das quais seis correspondem ao valor médio das 50 imagens que compõem os grupos e 6 correspondem aos seus respectivos desvio padrão.

Para efetuar a quarta etapa, obteve-se a frequência em que cada NC ocorre na imagem recortada. Os resultados obtidos foram expressos em gráficos, onde a abscissa representa o valor de NC e a ordenada sua frequência, como pode ser observado na Figura 13.





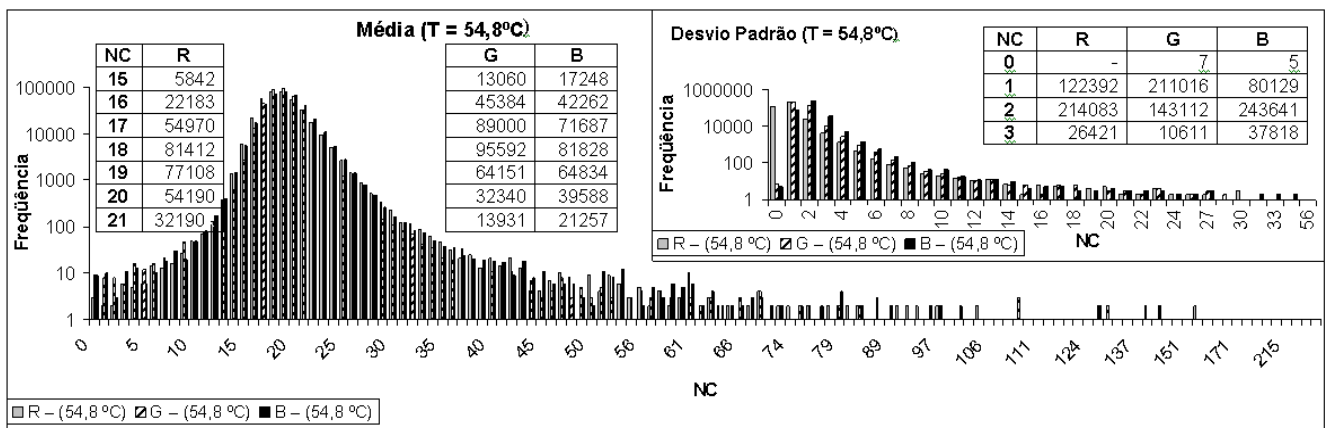


Fig. 13 – Frequência de valores médio de NC e de seus respectivos desvios padrão.

Os gráficos apresentados na Figura 13 expressam os valores de NC médios da banda azul, verde e vermelha do grupo de imagem analisado. Nesta mesma figura, também se observa que há uma tabela cujos valores correspondem aos NC médios do centro da curva e a sua respectiva frequência na imagem. Já no canto superior direito de cada gráfico há um segundo

gráfico e uma segunda tabela com informações sobre a frequência em que um determinado desvio padrão aparece na imagem.

Analisando os gráficos de frequência de NC médio, dos grupos de imagens analisados, expressos na Figura 13, pode-se extrair os valores apresentados na Tabela 4.

TABELA 4: VALORES DE NC MÉDIOS, DESVIOS PADRÃO QUE APARECEM COM MAIOR FREQUÊNCIA NA IMAGEM E DO NC MÁXIMO QUE APARECE NA IMAGEM

Grupo	Temperatura (°C)	Nível de Cinza (NC) da Banda								
		R _{máx}	R _{med}	σ_R	G _{máx}	G _{med}	σ_G	B _{máx}	B _{med}	σ_B
G-I	16,52	43	18	1	37	17	1	38	17/18	1
G-II	21,72	47	18	1	46	17	1	46	17/18	1
G-III	27,83	97	18	1	96	17	1	96	17	1
G-IV	35,73	95	18	1	94	17	1	94	17	1
G-V	45,18	99	18	1	99	17	1	215	17/18	1
G-VI	54,84	243	19	2	222	18/19	2	237	18/19	2

Analisando a Tabela 4, verifica-se que somente a 54,84 °C ocorreu variação do NC gerado pela corrente escura, ou seja, somente após uma variação de 38,32 °C na temperatura ocorreu um acréscimo de uma unidade no valor de NC gerado pela corrente escura, o que não era esperado, pois segundo Beynon e Lamb (1980) a geração de corrente escura sofre uma variação de fator 2 a cada 10 °C de variação na temperatura.

Analisando os valores de NC_{máx} verifica-se que quando há uma variação de temperatura em torno de 10 °C, a diferença entre o NC_{máx} atinge um fator de aproximadamente 2, conforme retratado por Beynon e Lamb (1980). Isto indica que, ao variar a temperatura do CCD, também ocorreu variação na taxa de geração de corrente escura, variação a qual foi mascarada devido ao “fat zero”.

Fat zero é uma técnica utilizada para reduzir o efeito da perda de carga durante sua transferência, sendo muito eficiente na redução da perda na armadilha (em Inglês: *trapping loss*), não podendo eliminá-la completamente devido ao efeito das bordas (em Inglês: *edge effect*). Este efeito é causado devido ao fato de pacotes de cargas de tamanhos diferentes ocuparem áreas de tamanhos diferentes. O valor do fat zero a ser

utilizado pode ser determinado pela diferença entre a carga de entrada e a carga de saída (CARNES e KOSONOCKY, 1972; BRODERSEN et al., 1975; BEYNON e LAMB, 1980). Caso o valor do fat zero seja determinado sem efetuar a refrigeração do CCD, o efeito da corrente escura também participará no processo de determinação do fat zero e, conseqüentemente, a carga gerada ao variar a temperatura do dispositivo será mascarada como pode ser aqui observada.

Pela Tabela 4 verifica-se que em todas as imagens do Grupo I até o Grupo V o desvio padrão do NC_{méd} foi de uma unidade. De posse desta informação, ao analisar os gráficos apresentados na Figura 13 certifica-se que há pixels com valores cujo erro não permite que o mesmo faça parte da medida, sendo estes pixels considerados pontos *blemishes*. Estes pontos foram localizados nas imagens, sendo seu resultado apresentado na Figura 14, onde os pontos brancos são os pontos *blemishes* e os pretos são os pixels sem “defeitos”.

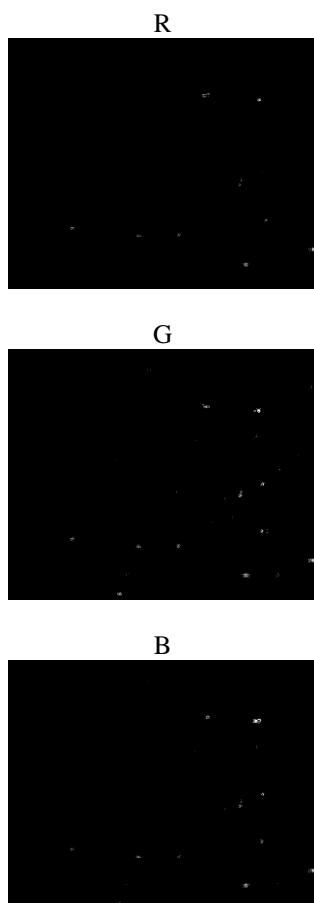


Fig. 14 - Localização dos pontos *blemishes*.

Pela Figura 14, certifica-se que há pixels que necessitam tratamento diferenciado dos demais, pois até mesmo utilizando o *fat zero*, o seu valor não se aproximou do valor médio de NC da imagem, havendo assim, sempre a necessidade de obter mapas de corrente escura com valores diferenciados para reduzir o efeito da corrente escura na imagem.

4. COMENTÁRIOS

Neste trabalho foi apresentado um dispositivo para medir e monitorar temperatura do CCD de câmaras de pequeno formato e um sistema de refrigeração utilizando pastilhas termoeletricas para controlar a temperatura do CCD de câmaras de pequeno formato objetivando obter coeficientes a serem aplicados na correção do efeito da corrente escura na imagem; esses coeficientes podem sofrer variação caso a temperatura do dispositivo não seja mantida. Também foi definida uma regra para definir o valor mais provável de um NC gerado pela agitação térmica ocorrer na imagem.

Pelos resultados obtidos com a calibração dos sensores termistores conclui-se que estes dispositivos podem ser empregados com segurança para inferir e monitorar temperaturas entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ com incerteza de $\pm 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$. Caso seja necessário monitorar temperaturas mais elevadas ou mais baixas, recomenda-se o uso de termistores para alta e baixa temperatura.

Ao analisar os resultados do sistema de refrigeração constituído com o uso de pastilha termoeletrica, verifica-se a viabilidade do seu emprego em sistema que necessita refrigeração, por ser um sistema de baixo custo e de baixo consumo de energia. Portanto, verifica-se que a temperatura máxima atingida (lado frio da pastilha), $11,14\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi obtida com uma corrente elétrica máxima de 1400 mA , o que significa $15,6\%$ da corrente elétrica máxima (9 A) que o sistema é capaz de suportar, indicando que é possível obter temperaturas inferiores às obtidas com apenas uma pastilha termoeletrica, bastando aumentar a capacidade de dissipar calor para o meio. Para tanto, recomenda-se o uso de dissipador térmico com maior área de dissipação de energia térmica e de ventilador mais potente.

Ao aplicar o contraste na imagem, observou que há diferenças entre os valores de NC registrados na imagem. Também pode-se observar pelo padrão da imagem registrada que o mesmo não é provocado pela agitação térmica, mas sim pelo efeito da difração produzida pela lente da câmara Magi DC575.

De acordo com Beynon e Lamb (1980) a geração de corrente escura sofre uma variação de fator 2 a cada diferença de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ na temperatura. Portanto, ao analisar as imagens obtidas a temperaturas distintas, observa-se que o valor médio de NC gerado pela agitação térmica manteve-se, sendo este aumento em apenas uma unidade após a temperatura do dispositivo ser superior a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Portanto, considerou-se que o fato do valor de NC não ter variado deve-se ao uso do *fat zero* para minimizar os efeitos da transferência de carga.

Sendo assim, pode-se concluir que o sistema de refrigeração proposta é adequado para a finalidade proposta.

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Joana Silveira; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por oferecer condições para a realização do presente trabalho; e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. E.R. agradece apoio financeiro do CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBE, D. F. Imaging devices using the charge coupled concept. **Proc. IEEE**, v. 63, p 38 – 67. 1975.
- BEYNON, J. D. E.; LAMB, D. R. **Charge coupled devices and their applications**. McGraw-Hill, London, 275p., 1980.
- BOYLE, W. S. e SMITH, G. E. Charge coupled semiconductor devices. **Bell Syst. Tech. J.** v.49; p 587 – 593. 1970. [Bell Laboratories, Murray Hill, NJ].
- BRODERSEN, R.; BUSS, D. D.; JR, A. F. T. Experimental characterization of transfer efficiency in

charge coupled devices. **IEEE - Charge Coupled Devices: Technology and Applications, 1977. Reprinted from IEEE Trans. Electron Devices**, vol. ED-22, pp. 40-46, Feb. 1975.

CARNES, J. E.; KOSONOCKY, W. F. Noise source in charge coupled device. **IEEE - Charge Coupled Devices: Technology and Applications, 1977.** Reprinted from RCA Rev., vol. 33, pp. 327-343, June 1972

CASSIGNOL, E. J. **Semicondutores física e eletrônica.** IBRAPE. 345p. 1967.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 41, no. 11, November 2003.

CORTES, J. B. R.; MITISHITA, E. A. O uso de fotografias aéreas de pequeno formato, em mapeamento topográfico planimétrico. In: VIII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 1999, Criciúma. **Anais...** Resumos dos trabalhos apresentados no VIII CONEA, 1999. v. 1.

CRECRAFT, D.I.; GORHAM, D.A.; SPARKES, J.J. **Electronics.** London, 1993.

CUNHA, R. M. P.; BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. Uso de imagens de pequeno formato como instrumento na elaboração e implantação de projetos costeiros. O sistema ADAR 1000. **Gravel.** V. 7 n 1, p. 47 - 56 Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ceco/Gravel/portugues/publica.htm>>. Acesso em 13 de abril de 2010.

DISPERATI, A. A.; ALMEIDA, F. H.; MENDONÇA Jr., S. Fotografias digitais do infravermelho próximo obtidas por meio de câmaras digitais convencionais para estudos da vegetação. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2009, Natal. **Anais do SBSR.** Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p.2689 – 2695.

DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato: aplicações ambientais.** 1. ed. Guarapuava - Paraná: Editora da UNICENTRO, 2007. v. 500. 263 p.

DUCKWORTH, H. E. **Electricity and Magnetism**, pp. 181-182. New York: Holt, Rinehart and Winston (1960). Apud Encyclopedia of Alternative Energy & Sustainable Living. Disponível em: http://www.davidarling.info/encyclopedia/P/Peltier_effect.html> acesso em 12/05/2010.

GONÇALVES, D. A. et al. Fotografias aéreas de pequeno formato aplicadas na identificação,

quantificação e planejamento de recuperação de áreas de preservação permanente. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2005, Goiânia. **Anais do SBSR.** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p.2185 - 2190.

KOSONOCKY, W. F.; SAUER, D. J. The ABC of CCDs. They're basically MOS analog registers that can be employed in either analog or digital applications. Here are pointers in evaluating them. **Electron. Des.**, v. 23, p 58 – 63. 1975.

KOSONOCKY, W. F. Charge Coupled Devices – An overview. **Western Electron. Show and Conv. Tech. Papers.** V 18. p 2/1 – 2/20. 1974.

MACHADO, A. M. L.; MITISHITA, E. A.; SANTOS JR, R. L.; BARBOSA, F. P. Verificação da estabilidade geométrica dos parâmetros de calibração de uma câmara digital de pequeno formato Sony DSC-f717. In: Edson Aparecido Mitishita et all.. (Org.). **Série em Ciências Geodésicas - Novos Desenvolvimentos em Ciências Geodésicas 2003 - volume 3.** 01 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2003, v. 01, p. 292-309.

MACHADO, A. M. L.; MITISHITA, E. A. ; SANTOS JR, R. L. Estudo de Caso: Correção de Erros Sistemáticos em Câmaras Digitais não Métricas. In: Claudia Pereira Krueger; Jorge Antonio Silva Centeno. (Org.). **Série em Ciências Geodésicas - Cartografia, Instrumento de Renovação Política e Inovação Tecnológica.** 1 ed. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2004, v. 4, p. 130-144

MITISHITA, E. A.; CENTENO, J. A. S.; CORTES, J. B. R.; MACHADO, A. M. L. Small-Format digital camera: A study into stability analysis of the interior orientation parameters through temperature variation. In: **6th International Symposium on mobile mapping technology**, 2009, Presidente Prudente. Mobile Mapping Serving the information society, 2009.

MENDONÇA, M.; MITISHITA, E. A. Detecção de oclusões em fotografias áreas de pequeno formato. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, 2007. v. 1. p. 1090-1092.

PEREIRA, M. C. C. Desenvolvimento de cristais baseados em iodeto de cézio para aplicação como detectores de radiação. 127 f. **Tese** (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

POLYSCIENCE **Manual do equipamento PolyScience.** 2007.

RUY, R. S. et al. Sistema aerotransportado leve de aquisição de imagens digitais - SA-API In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2007, Florianópolis. **Anais do SBSR.** São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2007. v.1. p.1329 - 1336

RUY, R. S. et al. Fototriangulação com parâmetros adicionais para câmaras digitais: uma avaliação experimental. **Boletim de Ciências Geodésicas.** , v.14, p.571 - 587, 2008.

SARTORI, L. R et al. Potencial do uso da banda do infravermelho próximo na classificação de imagens adquiridas por câmaras digitais In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2007, Florianópolis. **Anais do SBSR.** Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. v.1. p.6151 - 6158

SHORTIS, M. R.; BEYER, H. A. Sensor technology for digital photogrammetry and machine vision. In: **Close Range photogrammetry and machine vision.** Ed: Atkinson, K.B. Whittles Publishing, U.K., 1996.

SNYDER, G. J.; URSELL, T. S. Thermoelectric Efficiency and Compatibility.2003. **Physical Review Letters.** v.91, n.14

SWART, J. W. **Conceitos básicos para semicondutores.** 17p. 2006

SZE, S. M.; NG, K. K. **Physics of semiconductor devices.** 3rd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2007. 815 p.

TAVARES Jr. et al. Técnica para determinar a função de resposta dos filtros de radiação visível das câmaras digitais. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 16, no 2, p.277-294, abr-jun, 2010.

TOCCI, R.J.; WIDMER, N.S. **Sistemas digitais princípios e aplicações.** Tradutor José Lucimar do Nascimento. 8. ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

TURNER, L. W. **Circuitos e dispositivos eletrônicos: semicondutores, apto-eletrônica, microeletrônica.** São Paulo: Hemus, 1997.

YU, P. Y.; CARDONA, M. **Fundamentals of semiconductors.** Berlin: Springer-Verlag. 1996.