

DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE RESPOSTA DOS FILTROS DE RADIAÇÃO VISÍVEL DE CÂMARAS DIGITAIS

*Determination of the response function of the visibel radiation filters
of the digital cameras*

JOÃO BATISTA TAVARES JÚNIOR¹
EVALDO RIBEIRO²
DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS¹
FLAVIO JORGE PONZONI³

^{1,2}Universidade Federal do Paraná – UFPR

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

e-mail: joaotavaresjunior@yahoo.com.br; danielsantos@ufpr.br

²Programa de Pós-Graduação em Física

Curitiba – Paraná - Brasil

e-mail: evaldo@fisica.ufpr.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

São José dos Campos – São Paulo – Brasil

e-mail: flavio@dsr.inpe.br

RESUMO

Neste trabalho é proposta uma técnica para determinar a função de resposta dos filtros de radiação visível dispostos sobre o CCD (*Charge Coupled Device*) de câmaras digitais. A função de resposta destes filtros é determinada utilizando-se de: uma esfera integradora - modelo 2500; e um espectrofotômetro - modelo Beckman Acta MIV (UV – Visible Spectrophotometer) o qual emite um fluxo de luz monocromático dentro da faixa espectral compreendida entre 350 a 1000 nm, sendo regulável a largura do feixe de REM emitido. O conhecimento da função supracitada é fundamental para que se possa efetuar a calibração radiométrica da câmara e para interpretar as informações contidas na imagem. Para avaliar a técnica proposta experimentos foram conduzidos e os resultados obtidos mostraram a aplicabilidade da técnica proposta, apontando seu potencial e eficiência no processo de determinação da função de resposta dos filtros de radiação visível de câmaras digitais.

Palavras-chave: Esfera integradora; Espectrofotômetro, Transmitância; Beckman Acta; corrente escura.

ABSTRACT

In this work a technique is proposed to determine the response function of the visible radiation filters made on the charge coupled device (CCD) from the digital cameras. The response function for these filters is determined by using: an integration sphere - model 2500; and one spectrophotometer – model Beckman Acta MIV (UV – Visible Spectrophotometer), it emits a monochromatic light flux inside of the spectral band between 350 and 1000 nm, being regulable the width of the emitted beam of REM. The mentioned function above is essential because the radiometric camera calibration can be carried out and the image information also can be interpreted. Experiments were conducted to evaluate the proposed technique and the obtained results showed the applicability of the proposed technique; it has potential for determine the response function of the visible radiation filters for digital camera.

Keywords: Integration sphere; Spectrophotometer; Transmittance; Beckman Acta; dark current; CCD; SONY DSC F828.

1. INTRODUÇÃO

Originalmente aplicado como dispositivo de memória, o CCD (*Charge Coupled Device*), por apresentar sensibilidade à radiação eletromagnética, foi rapidamente aplicado na fotografia, sendo hoje o mais popular e usual dispositivo aplicado nas câmaras fotográficas digitais disponíveis no mercado (ISAAC NEWTON GROUP OF TELESCOPES, 2008).

O CCD é um pequeno dispositivo - geralmente medindo 6,7 mm; comumente feito de silício, que mediante um processamento específico é estruturado na forma de uma matriz de capacitores (fotocélulas/pixels), capaz de transformar a energia luminosa em energia elétrica (RIBEIRO, 2008).

De acordo com Tommaselli et al. (2000), um conjunto básico para coleta de imagens é composto por um sistema de lentes, um material foto-sensível e um sistema de gravação final da imagem. Para formar a imagem, as câmaras digitais possuem um conversor analógico digital (A/D) que transforma o sinal elétrico analógico gerado pelo CCD em um sinal digital, sendo este armazenado em uma unidade de memória. Nas câmaras digitais, a formação da cor é baseada nos princípios de filmes coloridos. Para tanto, são dispostas três películas (filtros de radiação visível) sobre o CCD que são sensíveis às cores fundamentais (azul, verde e vermelho) (BOCKAERT, 2003).

A necessidade de utilizar filtros de radiação visível sobre o CCD para formar as cores, está relacionada à capacidade de sensibilização, da grande maioria dos CCD, nos comprimentos de onda compreendidos entre 400 a 1000 nm (ATKINSON, 1996); região correspondente à faixa espectral do visível e

infravermelho próximo. Assim, somente os fluxos de radiação eletromagnética (REM), pertencentes à região da função de resposta dos filtros, sensibilizam o dispositivo supracitado.

De acordo com Bockaert (2003), nos filmes fotográficos, são utilizadas películas contínuas (filtros contínuos), enquanto que a estrutura do CCD não permite este tipo de disposição de películas. Neste caso, os filtros são dispostos sobre o CCD em forma de uma grade de filtro de radiação visível, conhecida como filtro de Bayer (FB). Atualmente existem diversas composições de filtros para a grade FB, mas a composição de filtro originalmente proposta por Bayer é baseada no processo aditivo das cores fundamentais, sendo composta por um arranjo de filtros RGB (*Red* – vermelho, *Green* – verde, *Blue* – azul) (SAVARD, 2005 e McHUGH, 2008).

Devido às características do CCD e dos filtros de radiação visível, algumas câmaras são dotadas de um filtro de absorção infravermelho (filtro interno), evitando que o CCD seja sensibilizado pelos comprimentos de onda maiores que 700 nm, ou seja, comprimentos de onda pertencentes à faixa do infravermelho próximo (700 – 1100 nm) (TOMMASELLI e IMAI, 2008). Portanto, segundo Tommaselli e Imai, (2005) apud Sartori et al. (2007), para obter imagem infravermelha é necessário eliminar o filtro interno infravermelho e introduzir, externamente, um filtro bloqueador do visível, mais informações sobre outras formas de obter imagem infravermelha com câmaras digitais em Disperati, et al. (2009). Usualmente, os fabricantes de câmaras digitais não disponibilizam a função de resposta dos filtros que compõem o sistema radiométrico das câmaras.

Com o avanço da tecnologia dos sensores digitais em câmaras fotográficas e sua conseqüente popularização, surge a possibilidade de aplicar este instrumento em trabalhos científicos que vislumbram seu emprego como meio de aquisição de dados espaciais para o estudo das propriedades físicas de superfícies; para tanto, é indispensável o conhecimento dos parâmetros de transformação dos valores digitais em valores físicos, obtidos por processo de calibração radiométrica da câmara. Para executar este processo é necessário compreender o funcionamento do seu sistema radiométrico. Neste artigo é proposto o uso de um espectrofotômetro e uma esfera integradora para determinar a função de resposta dos filtros que compõem o sistema radiométrico de câmaras digitais. O objetivo deste trabalho foi determinar a função de resposta dos filtros de radiação visível dispostos sobre o CCD da câmara Sony DSC – F828 por meio de análises de imagens conduzidas em laboratório utilizando um espectrofotômetro - Beckman Acta MIV (UV – Visible Spectrophotometer) e uma esfera integradora - modelo 2500.

2. DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE RESPOSTA DOS FILTROS DE RADIAÇÃO VISÍVEL DO CCD

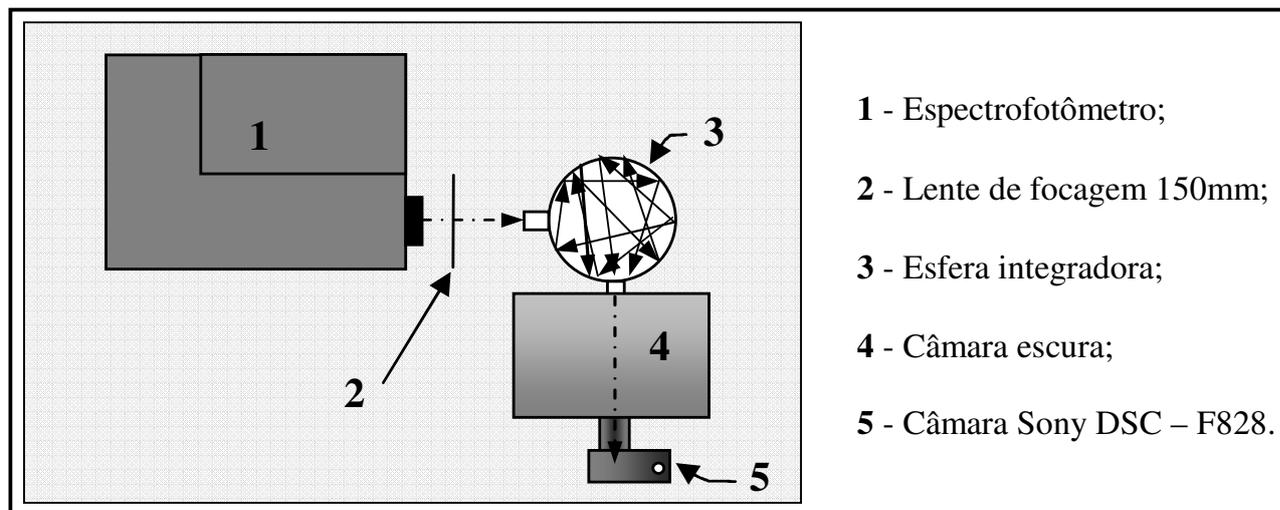
Para determinar a função de resposta dos filtros de radiação visível dispostos sobre o CCD da câmara Sony DSC – F828 é proposto, neste trabalho, o uso de um

espectrofotômetro - Beckman Acta MIV (UV – Visible Spectrophotometer) e uma esfera integradora - modelo 2500.

O espectrofotômetro supracitado é um equipamento capaz de emitir um fluxo de luz monocromático dentro da faixa espectral compreendida entre 350 a 1000 nm, sendo regulável a largura do feixe de REM emitido. Neste trabalho, foi utilizada a fonte de Tungstênio do espectrofotômetro e as fendas foram ajustadas para manter uma resolução espectral de 2 nm. Já a esfera integradora é, basicamente, uma esfera oca com no mínimo dois orifícios, sendo um para a entrada de REM e outra para a instalação de fotodetectores (PONZONI et al., 2007). Seu interior é revestido com uma substância isotrópica (geralmente utiliza o sulfato de bário (BaSO_4)) que reflete e difunde a REM incidente homogeneizando-a em todas as direções (LABSPHERE, 2003).

Para evitar que a câmara registre valores diferentes do emitido pelo equipamento (advindos da interferência da luz externa), neste trabalho, é proposta a confecção de uma câmara escura com duas aberturas laterais, isto é: uma confeccionada para encaixar na objetiva da câmara; e outra na abertura de saída da esfera integradora (Figura 1).

Figura 1: Sistema para aquisição de dados para a determinação da função de resposta dos filtros de radiação visível do CCD.



A Figura 1 mostra a disposição dos equipamentos supracitados, onde temos o espectrofotômetro - Beckman Acta MIV (UV – Visible Spectrophotometer) (1) que emite o fluxo de REM sendo este coletado por uma lente de focagem 150 mm (2) e focalizado dentro da esfera integradora (3) onde é homogeneizado pelo processo de reflexão e difusão. Como o diâmetro das aberturas de entrada e saída de REM da esfera integradora é em torno de 3,16 cm e o da lente da câmara (5) é de 5,8 cm, é necessário utilizar uma câmara escura (4) para evitar interferência externa, contudo, somente uma parte da área do CCD da câmara digital será sensibilizada pela REM difusa na esfera integradora.

Por conseguinte, uma análise gráfica (nível de cinza (NC) x frequência) é realizada para avaliar as bandas sensibilizadas por determinados comprimentos de onda do espectro eletromagnético possibilitando, desta forma, a determinação da função de resposta dos filtros de radiação visível dispostos sobre o CCD.

Porém, é importante lembrar que durante a interação CCD-REM, uma interferência térmica é acumulada em cada pixel da imagem, sendo seu efeito conhecido como corrente escura (em inglês, *dark current*). A corrente escura provoca dois tipos de ruídos, isto é: ruído de leitura; e ruído espacial. O leitor interessado em mais informações consultar Theta System Elektronik GmbH (2004), Ré (2005), Beynon e Lamb (1980).

Tavares Jr. (2008) relaciona os ruídos nas imagens que segundo Digital Photography Review (2009) aumenta ao variar o ISO da câmara ao ruído de leitura provocado pela corrente escura. O ISO (*International Standards Organization*) é um número usado para indicar a “sensitividade” e velocidade de interação do CCD-REM, portanto, fazendo analogia com o filme fotográfico, ao mudar o valor ISO automaticamente muda a “sensibilidade do sensor” à REM, sendo que quanto menor o valor ISO menor a “sensibilidade do sensor” à REM. Por outro lado, quanto maior for o ISO maior a “sensibilidade do sensor” à REM.

De acordo com o exposto acima, é proposto a variação do ISO da câmara para verificar o efeito ISO x Ruído de leitura na redução ou ampliação nos valores de NC gerados pela carga acumulada no CCD (corrente escura). Desta forma, foi adotado como estratégia a aquisição de três conjuntos de dez imagens em ambiente totalmente escuro, cujas variações de ISO foram 200, 400 e 800. Os gráficos de frequência foram gerados com uso do valor mínimo, médio, mediano, moda e máximo de NC registrados.

3. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os experimentos conduzidos neste trabalho estão divididos em duas etapas, a saber: 1) Avaliação ISO x Ruído de leitura; e 2) Determinação da função de resposta dos filtros de radiação visível da câmara Sony DSC - F828.

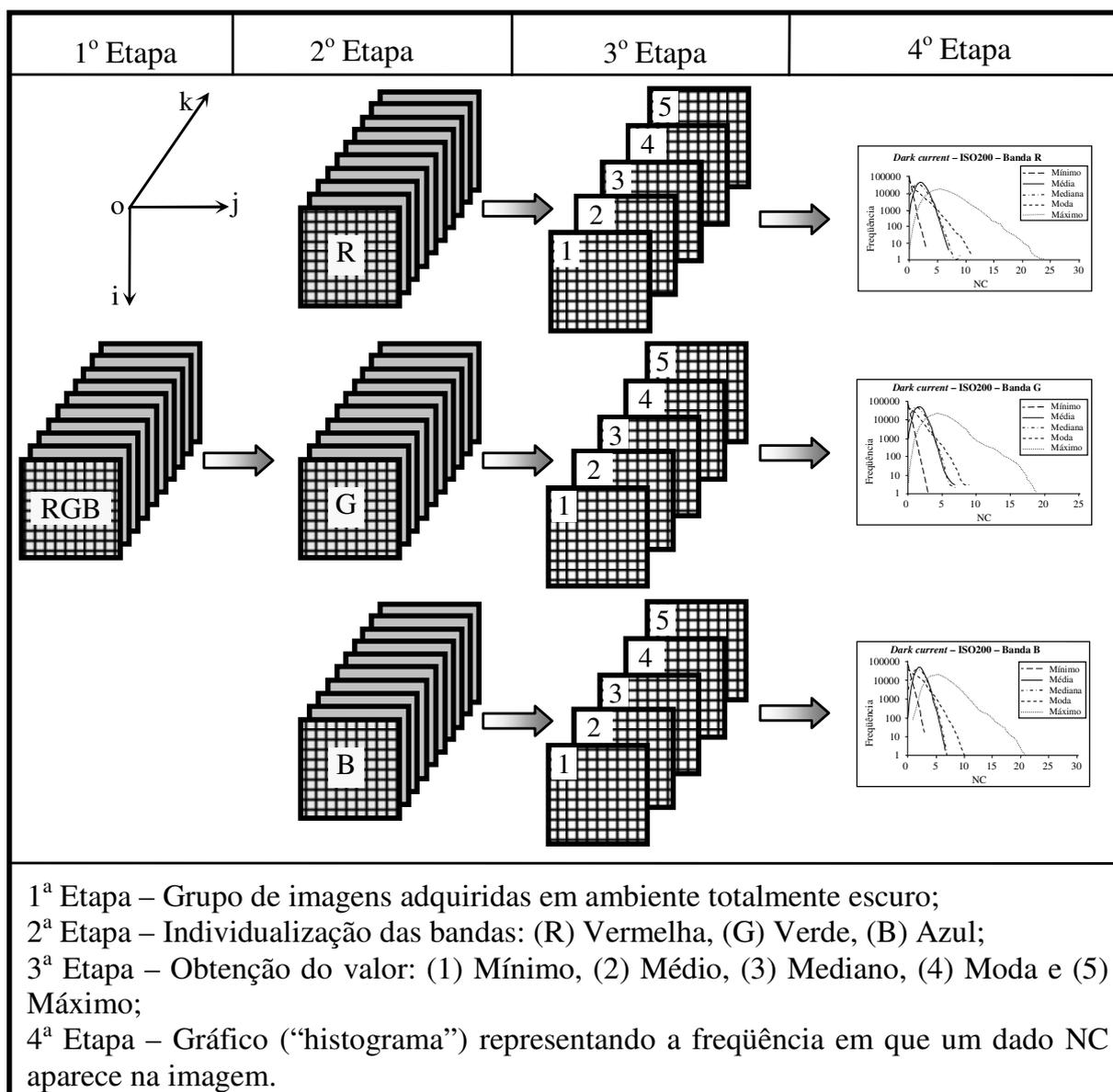
3.1. Avaliação ISO x Ruído de leitura

Como a quantidade de ruído na imagem altera conforme a variação do ISO da câmara, para verificar o efeito de redução ou ampliação nos valores de NC gerados em cada elemento de imagem (pixel) pela corrente escura foram adquiridos três conjuntos de dez imagens em ambiente totalmente escuro, cujas variações de ISO foram: 200; 400; e 800; obtendo assim, dez amostras para cada elemento da imagem (pixel).

Para avaliar os dados obtidos, foram construídos gráficos (histogramas) de frequência (4^a Etapa – Figura 2) representado os valores: mínimo ($NC_{\text{mínimo}} = \min(A)$), médio ($NC_{\text{médio}} = \text{mean}(A)$), mediano

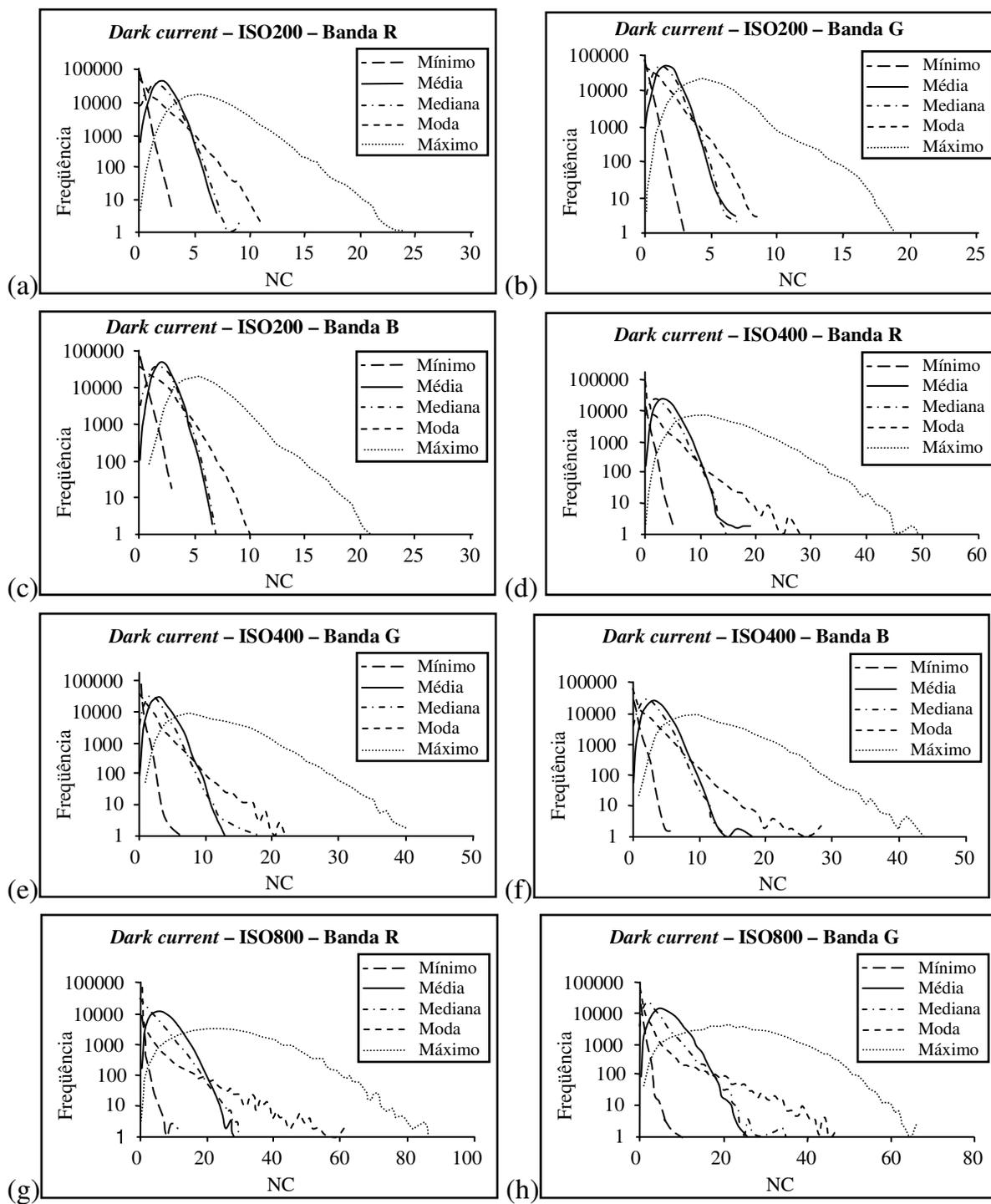
($NC_{\text{mediano}} = \text{median}(A)$), moda ($NC_{\text{moda}} = \text{mode}(A)$) e máximo ($NC_{\text{máximo}} = \text{max}(A)$) ($A = p(i, j, k)$ onde p é o pixel da imagem na posição (i, j) , sendo i o número da linha, j o número da coluna e k o número de cenas que compõem o conjunto de imagem em análise) de NC (3ª Etapa – Figura 2) registrados em cada pixel do conjunto de cenas (2ª Etapa – Figura 2) que compõem o conjunto de imagens (1ª Etapa – Figura 2) adquirido em ambiente escuro, como pode ser observado no fluxograma da Figura 2.

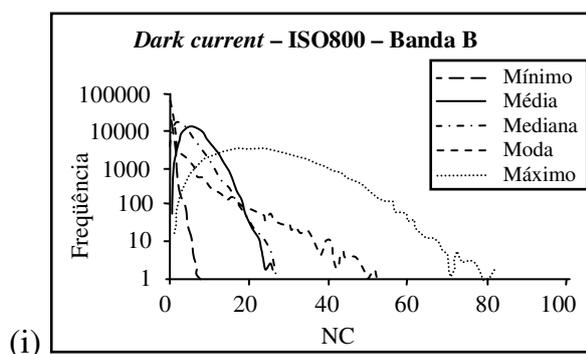
Figura 2 – Fluxograma das etapas para avaliar o efeito ISO x Ruído de leitura.



Aplicando as etapas descritas no fluxograma apresentado na Figura 2 aos conjuntos de imagens, cujas variações de ISO foram: 200; 400; e 800; obteve os seguintes gráficos (Figura 3).

Figura 3 – Frequência de valores mínimo, médio, mediano, moda e máximo de NC das imagens obtidas em ambiente totalmente escuro variando o ISO em 200 (a, b, c); 400 (d, e, f) e 800 (g, h, i).





Como pode ser observado na Figura 3, os gráficos demonstram que quanto menor o ISO menor o valor de NC resultante da corrente escura. Também pôde ser observado que, em todos os casos, os valores de máximo de NC registrados na banda do vermelho foram maiores que os valores de NC registrados nas demais bandas, que também diferem entre si. Isto demonstra que os operadores de transformação A/D operam com coeficientes distintos para cada banda espectral e para cada número ISO, o que justifica a dificuldade e necessidade de realizar a calibração radiométrica das câmaras digitais.

Pode-se perceber na Figura 3 que o valor máximo de NC gerado ao utilizar o ISO200 não ultrapassou 24 NC. Já com o ISO400 esse valor passou para 50 NC e com o ISO800 para 85 NC. Em porcentagem, esses valores correspondem a 9,41%, 19,60% e 33,33% do valor de NC para imagens de 8 bits. Os números demonstram que a relação ISO x Ruído de leitura causa alterações indesejáveis nos valores de NC registrados na imagem quando se pretende utilizar destes dados para estudar as propriedades espectrais dos objetos da superfície e até mesmo no resultado final de uma classificação digital.

3.2. Determinação da função de resposta dos filtros de radiação visível da câmara Sony DSC - F828

Para determinar a função de resposta dos filtros dispostos sobre o CCD da câmara Sony DSC – F828, foi obtido um grupo de imagens do fluxo de REM emitido pelo espectrofotômetro - Beckman Acta MIV (UV – Visible Spectrophotometer) em intervalos de 5 nm na faixa espectral de 405 – 725 nm.

Para realizar a análise das imagens foram construídos gráficos, cujo eixo x representa o valor digital (nível de cinza – NC), e y representa a frequência dos valores de NC de cada banda (*layer*) (Azul, Verde e Vermelho); e em sua parte superior direita encontra-se a imagem analisada. O gráfico (NC x Frequência) permitiu verificar quais bandas são sensibilizadas por um determinado comprimento de onda do espectro eletromagnético. A Figura 4 ilustra o gráfico gerado com os dados advindos da imagem obtida com um feixe de radiação eletromagnética (REM) com 640 nm de comprimento de onda.

A Figura 4 demonstra que a banda do vermelho foi mais sensibilizada pelo fluxo de REM de comprimento de onda 640 nm do que as demais bandas. A análise

do gráfico consiste em avaliar o afastamento em que uma determinada curva se encontra das demais, por exemplo, na Figura 4 a curva da banda do vermelho se encontra afastada das demais curvas indicando que esta banda foi a mais sensibilizada pelo fluxo de REM de comprimento de onda 640 nm. A resposta na banda do azul e verde se deve à corrente escura conforme demonstrado anteriormente no item 3.1. A seguir a Figura 5 apresenta parte dos resultados obtidos com os dados do grupo de imagens geradas em laboratório.

Figura 4 – Frequência de valores registrados na imagem gerada com o feixe de REM no comprimento de onda 640 nm.

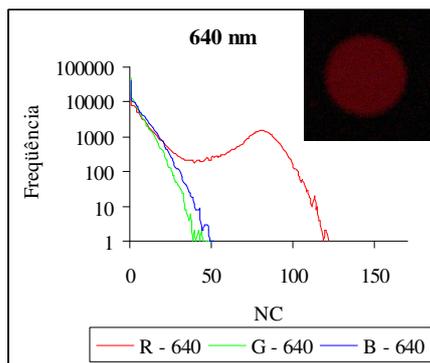
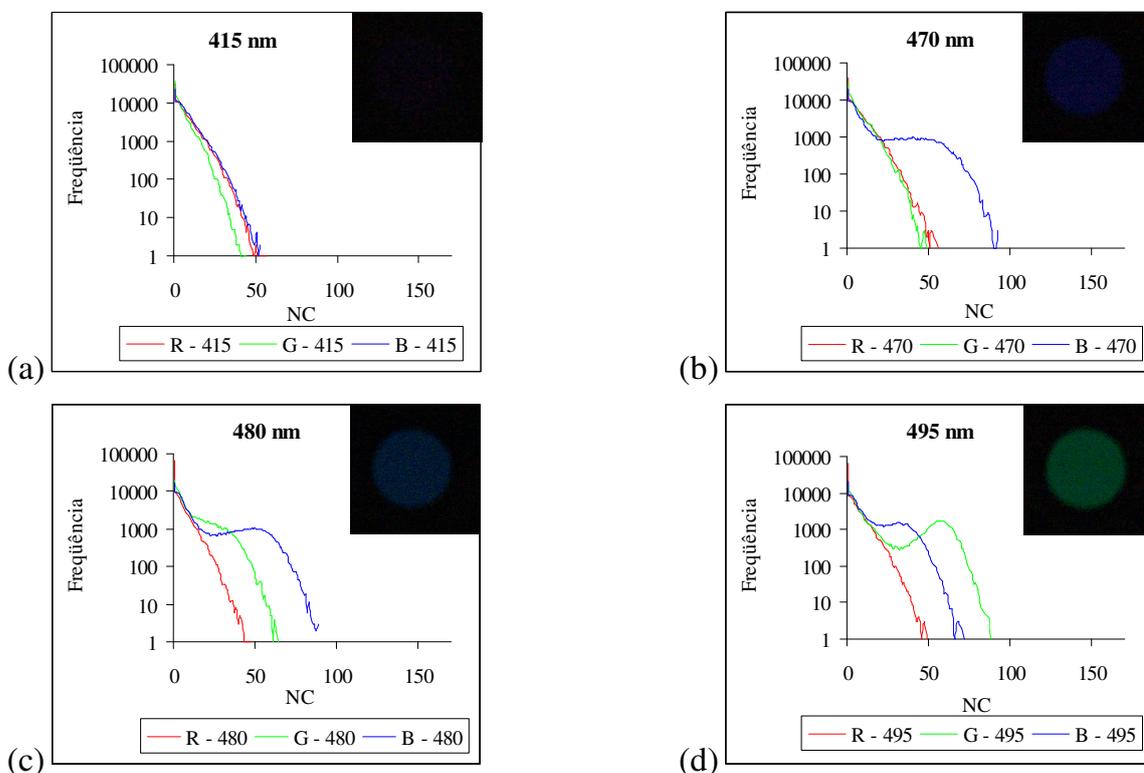
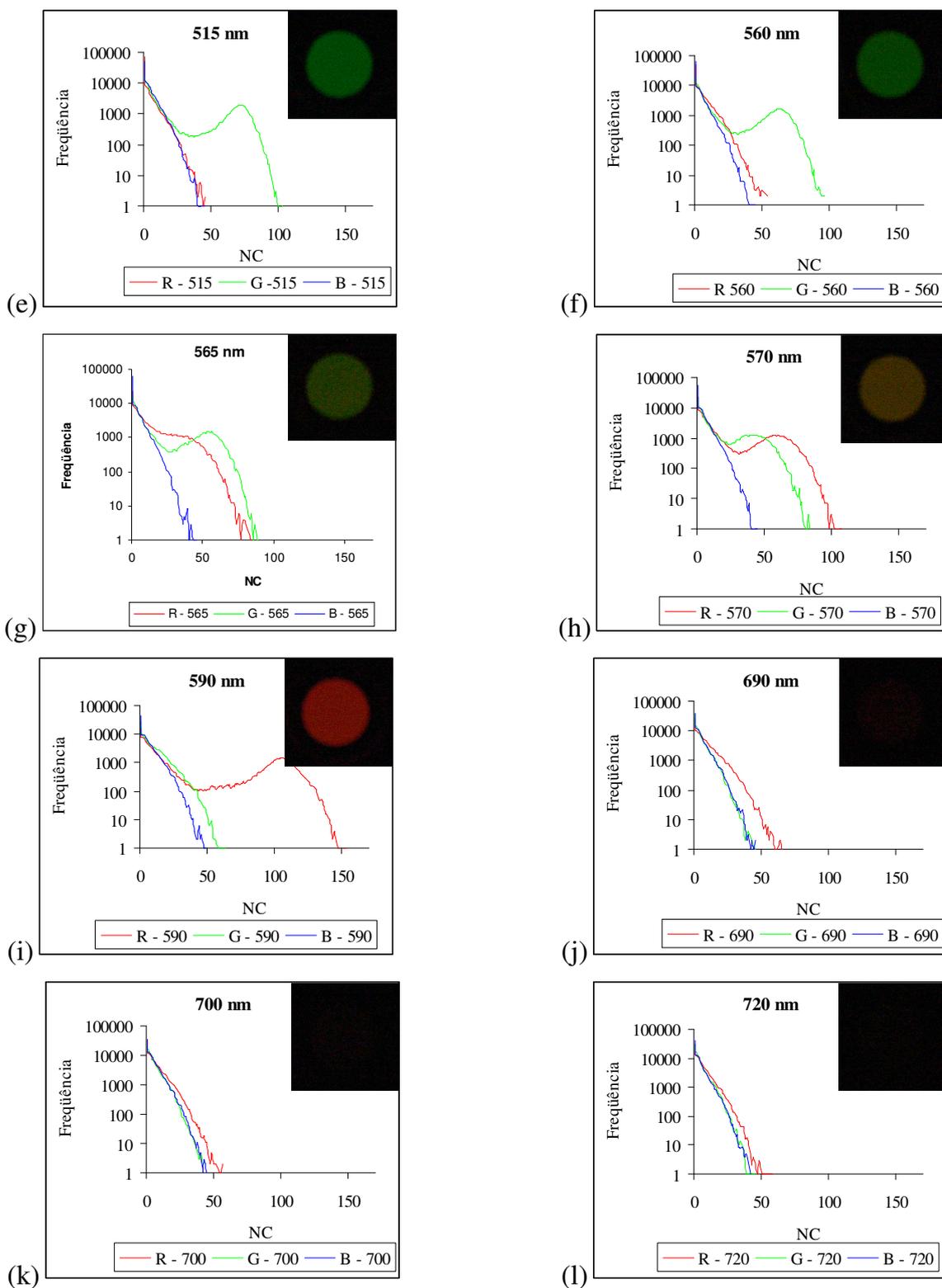


Figura 5 – Alguns gráficos de frequência de valores de NC registrados nas bandas da imagem em análise.

Onde: R é a banda do vermelho, G a banda verde e B a banda azul - o comprimento de onda em nm.



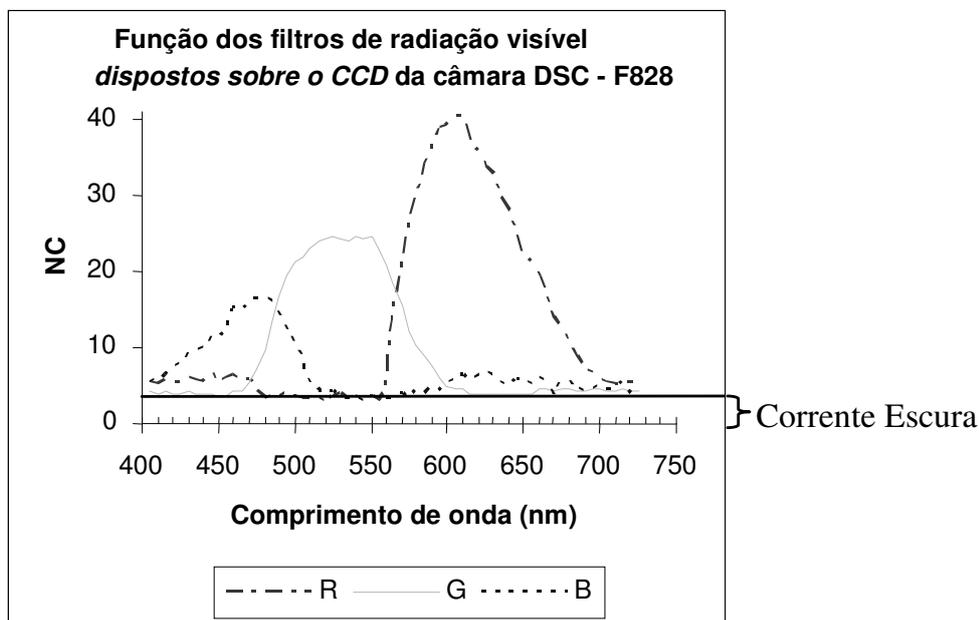


Pelos gráficos expostos na Figura 5, pôde-se determinar a função de resposta dos filtros de radiação visível dispostos sobre o CCD da câmara supra citada. Como já mencionado, para determinar se um feixe de REM sensibiliza ou não o CCD - de um dado comprimento de onda -, se deve observar se os valores de NC são maiores e com maior frequência do que os valores resultantes da corrente escura, o que pode ser analisado com a curva que representa os valores de NC da banda (*layer*).

Na figura 5 constata-se que os valores de NC registrados em 5a, 5k, 5l são, em parte, resultantes da corrente escura; os gráficos 5b, 5e, 5f, 5i, 5j possuem uma curva (banda) com valores de NC maiores do que os registrados pelas demais bandas. Já os gráficos 5c, 5d, 5g, 5h, possuem apenas uma curva (bandas) com valores de NC menores que as demais bandas.

Para melhor caracterizar as regiões de transição entre uma banda e outra, foi obtido um valor de NC médio de cada banda (dessas imagens), representados em um gráfico onde o eixo x define o comprimento de onda e o eixo y o NC médio da banda, como pode ser observado na Figura 6.

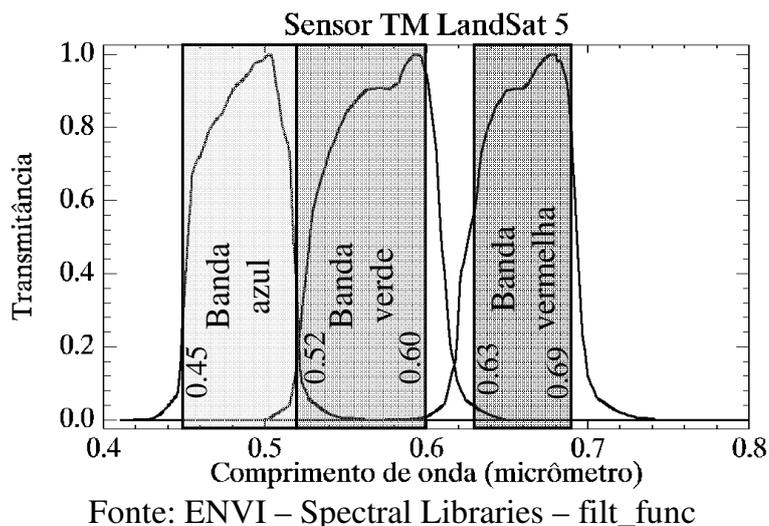
Figura 6 – Gráfico representando a função de resposta dos filtros de radiação visível dispostos sobre o CCD da câmara DSC – F828



A Figura 6 mostra que a amplitude espectral da função de resposta do filtro: azul está compreendida de 405 a 520 nm; a do filtro verde de 460 a 615 nm e do filtro vermelho de 555 a 725 nm. Note que existe sobreposição espectral entre a função de resposta do filtro azul com a do filtro verde entre 470 a 515 nm; e a do filtro verde com a do filtro vermelho entre 560 a 600 nm, não terminando abruptamente conforme sugerido na literatura, por exemplo, banda 1 (450 a 520 nm) e banda 2 (520 a 600 nm) do sensor TM LandSat 5 (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/tm.html>).

Ao analisar a função de resposta dos filtros do sensor TM LandSat 5 (Figura 7), certifica a amplitude da função de resposta dos filtros é maior que os valores publicados e que há sobreposição espectral entre a função de resposta dos filtros. Note que não há um critério para definir cada extremidade das faixas (bandas) espectrais.

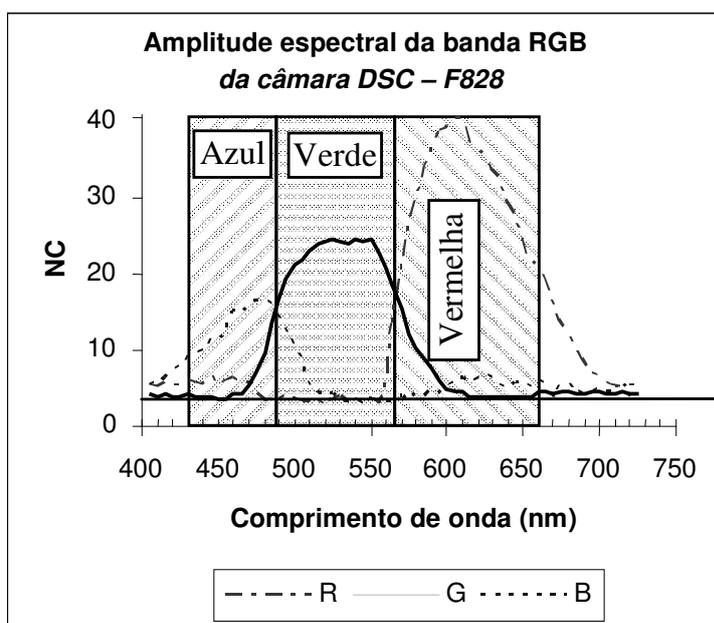
Figura 7 – Gráfico representando a função de resposta e a amplitude da banda correspondente ao filtro azul, verde e vermelho do sensor TM LandSat 5.



Como pôde observar na Figura 7, a amplitude espectral da função de resposta dos filtros do sensor TM LandSat 5 é maior que os valores disponibilizados na literatura para inferir a banda em questão e que existe sobreposição espectral. Portanto, os valores da amplitude espectral divulgados sugerem que a função de resposta dos filtros inicia e termina abruptamente.

Dada à discussão anterior, considera para fins de interpretação de imagens que a amplitude da banda azul da imagem obtida com a câmara digital Sony DSC – F828 é de 430 a 490 nm; a da banda verde de 490 a 565 nm e a da banda vermelha de 565 a 670 nm (Figura 8).

Figura 8 – Amplitude espectral da banda RGB da câmara DSC – F828



Como não constatou um critério padrão para delimitar a amplitude das bandas espectrais do sensor TM LandSat 5, os valores citos foram definidos pelos seguintes critérios: (1) Onde há sobreposição espectral o ponto de intercessão das funções de resposta dos filtros é o ponto de final e inicial das bandas em questão; (2) Nas extremidades onde não há sobreposição espectral o valor é definido pela abscissa do ponto na curva da função de resposta cuja ordenada representa 50% da resposta do filtro.

Também pôde observar na Figura 6 que em todos os casos o valor mínimo de NC foi maior que zero, caracterizando o efeito da corrente escura. Como já retratado, a corrente escura causa alterações indesejável na imagem quando, por exemplo, se pretende utilizá-las como fonte de dados para obter informações sobre as propriedades espectrais da superfície.

Segundo Ré (2005), o efeito da corrente escura pode ser corrigido empregando um mapa da corrente escura. Esta correção se dá pela subtração: Imagem – Mapa da corrente escura, o qual é obtido pela soma mediana de 7 a 10 imagens obtidas em total obscuridade. Uma das desvantagens deste método consiste na obtenção de um mapa que represente o efeito da corrente escura em qualquer situação uma vez que o efeito da corrente escura varia com a variação da temperatura.

Uma segunda alternativa para efetuar a correção do efeito da corrente escura na imagem consiste em refrigerar o CCD, pois segundo Ré (2005) em baixas temperaturas o efeito da corrente escura pode ser considerado negligenciável. Para tanto é necessário desenvolver um mecanismo capaz de refrigerar o CCD, sendo este pequeno e compacto para que se possa adaptá-lo na câmara digital.

4. COMENTÁRIOS

Neste trabalho foi apresentada uma técnica que utiliza um espectrofotômetro e uma esfera integradora para determinar a função de resposta dos filtros de radiação visível dispostos sobre o CCD de câmaras digitais. E também foi realizado um estudo sobre a interferência térmica acumulada em cada pixel da imagem (efeito da corrente escura).

De acordo com os resultados obtidos na avaliação ISO x Ruído de leitura, pôde-se constatar que ao utilizar o ISO200, 400 e 800 a carga acumulada no CCD resultou os valores 24 NC, 50 NC e 85 NC, respectivamente. Este incremento no NC, dado pela corrente escura, causa alterações indesejáveis na imagem, quando se pretende utilizá-las como fonte de dados para estudar as propriedades espectrais da superfície e também em processamento digital de imagens, sendo necessário corrigir a imagem do efeito da corrente escura.

O emprego do mapa da corrente escura para corrigir a imagem dos efeitos da corrente escura é uma alternativa viável, porém, é necessário obter um mapa da corrente escura para cada uma das várias combinações Temperatura x ISO.

Uma alternativa viável para tornar o efeito da corrente escura estável é resfriando o CCD, para tanto é necessário desenvolver um mecanismo pequeno, compacto e capaz de refrigerar o CCD.

Pelas observações dos gráficos apresentados na Figura 5, constatou-se que existe uma dinâmica de ascendência e descendência dos NC de cada banda espectral, sendo os valores de NC registrados em 5a, 5k, 5l, resultantes da corrente escura; os gráficos 5b, 5e, 5f, 5i, 5j possuem uma curva (banda) com valores de NC maiores do que os registrados pelas demais bandas. Já os gráficos 5c, 5d, 5g, 5h, possuem apenas uma curva (bandas) com valores de NC menores que as demais bandas.

Com a avaliação da Figura 6 constatou-se que a amplitude da função de resposta do filtro: azul está compreendida de 405 a 520 nm; a do filtro verde de 460 a 615 nm e a do filtro vermelho de 555 a 725 nm. Como há sobreposição espectral entre a função de resposta do filtro azul com a do filtro verde na faixa espectral compreendida entre 470 a 515 nm e da função de resposta do filtro verde com a do filtro vermelho entre 560 a 600 nm.

Para fins de interpretação de imagens considera que a amplitude da banda azul da imagem obtida com a câmara digital Sony DSC – F828 é de 430 a 490 nm; a da banda verde de 490 a 565 nm e a da banda vermelha de 565 a 670 nm (Figura 8).

Portanto, os resultados obtidos evidenciaram a potencialidade e aplicabilidade da técnica proposta neste trabalho para realizar a caracterização espectral da grade de filtro de radiação visível do CCD de câmaras digitais. Enfim, o grupo de trabalho está dependendo esforços na obtenção de um dispositivo para resfriar o CCD; e em investigações sobre o funcionamento do sistema radiométrico das câmaras digitais com incumbência de realizar a calibração radiométrica destes sistemas.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Propriedades Ópticas do Departamento de Física da Universidade Federal do Paraná pela disponibilidade de uso dos equipamentos utilizados na elaboração deste trabalho; e Ao Prof. Dr. Edson A. Mitishita por disponibilizar o acesso à câmara digital DSC – F828 para realização dos experimentos (câmara adquirida com recursos do CNPq – UNIVERSAL N° 477222/2003-0 do Projeto: Obtenção de Informações Espaciais da Superfície Terrestre a Partir de Par Estereoscópico de Imagens Orbitais de Alta Resolução); Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINSON, K.B.: *Close range photogrammetry and machine vision*. Bristol: Whittles Publishing, 1996. 371p.

BOCKAERT, V.: *Sensors*. IN: Digital Photography Review. 2003. Disponível em: <http://www.dpreview.com/learn/?/Glossary/Camera_System/sensors_01.htm> Acesso em: 24 de junho de 2008.

BEYNON, J. D. E.; LAMB, D. R.: *Charge coupled devices and their applications*. McGraw-Hill, London, 275p., 1980.

DIGITAL PHOTOGRAPHY REVIEW (2009). Disponível em: <<http://www.dpreview.com/articles/compactcamerahighiso/page2.asp>>. Acesso em 14 de setembro de 2009.

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.

ENVI: *Spectral Libraries – filt_func*.

ISAAC NEWTON GROUP OF TELESCOPES: *Introduction to CCDs*. 2008. Disponível em <http://www.ing.iac.es/~smt/CCD_Primer/CCD_Primer.htm>. Acesso em 25 de junho de 2008.

LABSPHERE, Inc. “A guide to integrating sphere radiometry and photometry”. North Sutton, 2003. 26 p. Disponível em: <<http://www.labsphere.com/data/userFiles/A%20Guide%20to%20Integrating%20Sphere%20Radiometry%20and%20Photometry.pdf>> Acesso em 14 de setembro de 2009.

McHUGH, S. T.: *Digital camera sensor*. 2008. Disponível em: <<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>> Acesso em 02 de setembro de 2009.

PONZONI, F. J.; ZULLO Jr., J.; LAMPARELLI, R. A. C.: *Calibração Absoluta de Sensores Orbitais*. Editora Parentes, 70p, 1ª edição, 2007.

RE, P.: *O ABC das câmaras CCD*. 2005. Disponível em: <http://www.astrosurf.com/re/abc_camaras_ccd_pre.pdf> Acesso em: 02/09/2009.

RIBEIRO, E.: *Notas de aulas*. 2008

SARTORI, L. R.; IMAI, N. A.; TOMMASELLI, A. M. G.; RUY, R. S.; GALO, M.; HASEGAWA, J. K.; CAMARGO, P. O.: *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

SAVARD, J. J. G.: *Color filter array designs*. 2005. Disponível em:<<http://www.quadibloc.com/other/cfaint.htm>> Acesso em 02 de setembro de 2009.

TAVARES Jr.: *Avaliação da potencialidade de sensores remotos na detecção da Loranthaceae (erva-de-passarinho)*. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

THETA system elektronik GmbH. *Glossar - Beschreibung der Eigenschaften einer CCD Kamera*. (2004). Disponível em <<http://www.theta-system.de/Datasheet/Glossar.pdf>> acessado em 02/09/2009.

TOMMASELLI, A.M.G.; HASEGAWA, J.K.; GALO, M.: *Modernas tecnologias de aquisição de imagens em fotogrametria*. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 49-64, 2000.

TOMMASELLI, A. M. G.; IMAI, N. A.: *Comunicação pessoal*. 2005.

TOMMASELLI, A. M. G.; IMAI, N. A.: *Comunicação pessoal*. 2008.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. *Elements of Photogrammetry: with applications in GIS*. Third Edition, 429pg., 2004.

<<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/tm.html>> Acesso em 18 de novembro de 2009.