

## Metodologia para a caracterização de sistemas sensores termais

Luana Thayza de Oliveira<sup>1</sup>  
Ruy Morgado de Castro<sup>2</sup>  
Hermann J. H. Kux<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
(luana.oliveira@inpe.br; hermann@dsr.inpe.br)

<sup>2</sup> Instituto de Estudos Avançados - IEAv/CTA  
Caixa Postal 6044 – 12.231-970 – São José dos Campos - SP, Brasil  
rmcastro@ieav.cta.br

**Abstract.** This paper presents a methodology developed for the calibration of thermal infrared cameras in laboratory conditions. It allows the characterization of these sensor systems, verifying its capacities and limitations to optimize its operational use, and checking the results against technical information delivered by its manufacturer. This analysis consists on the verification of the radiometric, spectral and spatial qualities and limitations of these sensors. The radiometric characterization allows the establishment of a relation among radiometric values measured by the camera and the incoming radiant flow. For the spectral distinction of the system, two sets of measurements were made. At the first one, double determinations were made at 6,500 and 14,000 nm, with a 100 nm interval, resulting in 76 different wavelengths. At the second one, a set of measurements was done, using a reference sensor (Judson). Both sets of measurements were made at the same experimental arrangement and similar wavelengths. As for the spatial characterization of a sensor, it permits to know its capacity to “see” and keep the geometric integrity of an object on the Earth surface, and it is determined by its spatial resolution. To test the methodology, the OPTRIS PI450 sensor was used, whose informations on calibration parameters and spectral response function were available.

**Palavras-chave:** sensors characterization, radiometric calibration, thermal cameras thermal infrared, caracterização de sensores, calibração radiométrica, câmeras termais, infravermelho termal.

### 1. Introdução

O sensoriamento remoto termal explora a condição de que todo corpo com temperatura termodinâmica acima do zero absoluto (0 K) emite radiação eletromagnética, sendo que a energia emitida e o comprimento de onda de maior emissão dependem da temperatura cinética e emissividade da superfície (REES, 2013; KUENZER & DECH, 2013). Isto permite analisar medidas de radiância emitidas por uma superfície na faixa espectral do infravermelho termal obtidas por um sensor à distância e relacioná-las com a sua temperatura termodinâmica.

Para tanto, o conhecimento detalhado do funcionamento e das capacidades dos sistemas sensores colabora muito na qualidade da informação adquirida (LIMA FILHO, 2015). A caracterização do sensor permite saber os seus limites reais de operação. Deste modo, a caracterização de um sensor é importante, pois permite “estabelecer uma relação, mais precisa e fiel possível, entre uma dimensão real e sua estimativa realizada a partir de um sensor ou instrumento qualquer” (PONZONI et. al., 2007).

A caracterização de sensores termais, assim como de sensores eletro-ópticos, consiste no dimensionamento das capacidades radiométricas, espectrais e espaciais do sistema sensor. Neste trabalho são descritos os procedimentos metodológicos indicados para a caracterização de sensores que operam na faixa do infravermelho termal.

Com isto, o objetivo deste trabalho foi concatenar procedimentos metodológicos que possibilitem conhecer as capacidades de um sensor operante da faixa do infravermelho termal.

### 2. Caracterizações

A metodologia utilizada tem como base os procedimentos adotados por LIMA FILHO (2013; 2015) e ALMEIDA (2007). Nos trabalhos realizados por Lima Filho foi caracterizada

uma câmera com características radiométricas na faixa do comprimento de ondas do infravermelho termal, entre os comprimentos de onda de 2,5 e 6  $\mu\text{m}$ . Neste trabalho, que também utilizou as instalações e equipamentos do Laboratório de Radiometria e Caracterização de Sensores Eletro-Ópticos (LaRaC) do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) em São José dos Campos/SP, os procedimentos foram adaptados para caracterizar a câmera PI450 da empresa alemã OPTRIS®. A câmera possui uma matriz de sensores/sensores de 382×288 pixels com IFOV de 1.81 mrad, sensível a radiação eletromagnética infravermelha na faixa termal entre os comprimentos de onda de 7,5 e 13  $\mu\text{m}$ . As imagens térmicas obtidas são registradas na resolução radiométrica de 16 bits e, de acordo com especificações do fabricante, os sistemas tem precisão de  $\pm 2^\circ\text{C}$  ou  $\pm 2\%$ . (OPTRIS, 2016).

Assim, neste trabalho, são tratadas as caracterizações: espectral, radiométrica e espacial.

## 2.1. Caracterização Espectral

A caracterização espectral de um sensor consiste no dimensionamento de sua sensibilidade em relação ao comprimento de onda da radiação incidente, sendo apresentada pela curva de resposta espectral ou a Função de Resposta Espectral – FRE, do sensor. Uma das formas de determiná-la é utilizando uma fonte emissora e um sensor já calibrado, comparando a resposta do sensor com a do sensor que se deseja caracterizar.

Com isto podemos estimar a resposta de um sensor partir do arranjo experimental típico, que envolve: uma fonte de infravermelho; um monocromador; um sensor de referência; e, também, a própria atmosfera e fatores geométricos. Com isto, o sinal medido por um sensor, pode ser expresso por:

$$S_{sens}(\lambda) = M(\lambda, T) \cdot \varepsilon(\lambda, T) \cdot FRE_{mono}(\lambda) \cdot \tau_{atm}(H, T_{amb}, P_{amb}, C_{gases}, d, \lambda) \cdot FRE_{sens}(\lambda) \cdot fator_{geo} \cdot FRE_{filtro}(\lambda) \quad (1)$$

onde:  $S_{sens}(\lambda)$  é o sinal medido pelo sensor a ser caracterizado;  $M(\lambda, T)$  é a exitância da fonte de infravermelho e  $\varepsilon(\lambda, T)$  é a emissividade da fonte de infravermelho, que dependem do comprimento de onda ( $\lambda$ ) e da temperatura ( $T$ ) da fonte de infravermelho;  $FRE_{mono}(\lambda)$  representa a função de resposta espectral do monocromador;  $\tau_{atm}$  é a transmitância atmosférica, que depende da umidade relativa do ar ( $H$ ), da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ), da pressão ( $P_{amb}$ ), da concentração de gases ( $C_{gases}$ ), da distância  $d$  percorrida pela radiação, no comprimento de onda de interesse;  $FRE_{sens}$  é a função de resposta espectral do sensor a ser caracterizado;  $fator_{geo}$  é um fator geométrico; e  $FRE_{filtro}(\lambda)$  é a função de resposta espectral de algum filtro que venha a ser utilizado.

A resposta de um sensor de referência pode ser estimada por:

$$S_{ref}(\lambda) = M(\lambda, T) \cdot \varepsilon(\lambda, T) \cdot FRE_{mono}(\lambda) \cdot \tau_{atm}(H, T_{amb}, P_{amb}, C_{gases}) \cdot FRE_{ref}(\lambda) \cdot fator_{geo} \cdot FRE_{filtro}(\lambda) \quad (2)$$

onde:  $S_{ref}(\lambda)$  é o sinal medido pelo sensor de referência; e  $FRE_{ref}$  é a função de resposta espectral do sensor de referência.

Como podemos observar nas Equações (1) e (2), alguns termos podem ser iguais se considerarmos que as medições com o sensor a ser caracterizado e com o sensor de referência sejam realizadas: a) na mesma geometria; b) com os mesmos equipamentos (monocromador, fonte de infravermelho, filtros, etc.); c) nos mesmos parâmetros atmosféricos (que não se alteraram significativamente); e d) que a temperatura da fonte de infravermelho é a mesma. Dessa forma, desde que as medições sejam realizadas nas mesmas condições, é possível obter a curva da resposta espectral do sensor a ser caracterizado (LIMA FILHO, 2015), pela razão entre as Equações (1) e (2):

$$FRE_{sens}(\lambda) = \frac{S_{sens}(\lambda)}{S_{ref}(\lambda)} \cdot FRE_{ref}(\lambda) \quad (3)$$

## 2.2. Caracterização radiométrica

A caracterização radiométrica objetiva estabelecer uma relação entre os valores radiométricos medidos por um sensor e o fluxo radiante que chega até ele (LIMA FILHO, 2015). Assim, o arranjo experimental típico utiliza uma fonte de radiação infravermelha termal, chamada de Corpo Negro - CN. Em especial um Corpo Negro de Área Extensa possui uma superfície na qual a sua emissividade é conhecida e sua temperatura termodinâmica pode ser ajustada.

O valor da radiância proveniente do CN que chega ao sensor pode ser realizado com a integração da equação de Planck levando-se em consideração a FRE do sensor:

$$L_{sens} = \int_{\lambda_{inicial}}^{\lambda_{final}} \frac{M(\lambda, T_{CN})}{\pi} \cdot \varepsilon_{CN}(\lambda, T_{CN}) \cdot FRE_{sens}(\lambda) \cdot \tau_{atm}(H, T_{amb}, P_{amb}, C_{gases}, d, \lambda) \cdot d\lambda \quad (4)$$

onde:  $L_{detector}$  é a radiância proveniente do corpo negro que chega ao sensor;  $T_{CN}$  é a temperatura do CN; e  $\varepsilon_{CN}$  é a emissividade do CN.

Importa ressaltar que se o CN utilizado possui emissividade menor que 1 torna-se necessário adicionar ao valor da radiância que atinge o sensor referente a radiância emitida pelo ambiente e refletida no corpo negro.

A partir destes valores teóricos calculados pode-se estabelecer uma relação destes com o valor medido pelo sensor, verificando-se assim o comportamento radiométrico do sensor.

## 2.3. Caracterização Espacial

A caracterização espacial de um sensor permite conhecer a sua capacidade de “enxergar” e manter a integridade geométrica de um objeto na superfície terrestre, sendo determinada pela sua resolução espacial. A resolução espacial nominal de um sensor é a dimensão em metros, da menor separação linear entre dois objetos, determinada pelo sistema de sensoriamento remoto, sendo comumente atribuída ao campo instantâneo de visada (IFOV - *Instantaneous Field of View*) (CROSTA, 1999; NOVO, 2010).

A resolução espacial, no entanto, não depende apenas do IFOV já que o espaçamento entre os sensores e a taxa de amostragem também influenciam na capacidade de resolução do sensor. Assim, utiliza-se o conceito de EIFOV (*Effective Instantaneous Field of View*) para representar a real resolução do sensor. Esta medida em ângulo representa quanto o sistema sensor resolve efetivamente os detalhes de uma cena, levando-se em consideração os ruídos desse sistema (LIMA FILHO, 2015).

Para a caracterização espacial de um sensor é utilizada comumente a função transferência de contraste, CTF (*Contrast Transfer Function*), descrita por SCHOTT (2007). Ela permite estabelecer uma relação entre o tamanho real dos objetos e o seu contraste na imagem obtida pelo sensor.

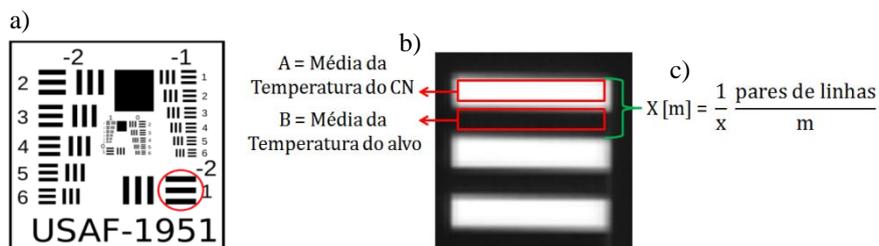


Figura 1. a) Alvo padrão USAF 1951; b) representação da obtenção das médias para cálculo de contraste; c) cálculo de pares de linhas por metro. (Adaptado de LIMA FILHO, 2015).

Neste caso, o contraste é obtido pela diferença entre os valores máximo e mínimo do sinal na imagem. Assim para a obtenção desses valores utiliza-se o alvo USAF 1951 (APPLIED IMAGE, 2005) (Figura 1-a), acoplado ao corpo negro. Ele possui grupos de linhas triplas, sendo cada grupo composto por dois elementos, e cada elemento, denominado de Tribar, é composto por três linhas paralelas verticais e outro composto por três linhas paralelas horizontais igualmente espaçadas (LIMA FILHO, 2015). Este alvo permite a análise de valores de radiância emitida pelo corpo negro (nas linhas vazadas) e pelo alvo (linhas fechadas, ou seja, a própria placa).

Com isto a CTF pode ser obtida por meio de um gráfico (ver Figura 2), no qual o eixo das ordenadas (contraste relativo) é obtido pela equação 5, normalizada pelo maior valor.

$$y = \frac{(A - B)}{(A + B)} \quad (5)$$

onde:  $A$  representa a média dos níveis digitais da radiação emitida (através da área vazada do alvo) pelo o Corpo Negro e  $B$  a média dos níveis digitais na área da barra emitida pelo Alvo USAF 1951 (Figura 1-b).

O eixo das abscissas (pares de linhas) é obtido pelo inverso da dimensão de um par em metros, conforme ilustrado na Figura 1-c.

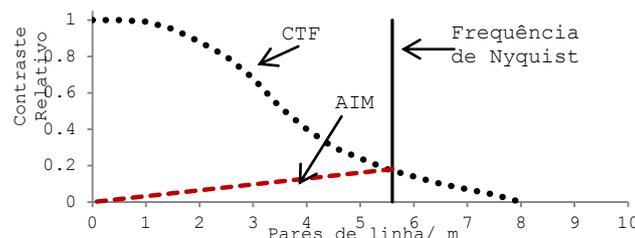


Figura 2. Curva teórica da CTF, AIM e Frequência de Nyquist. (Adaptado de SCHOTT, 2007).

O alvo utilizado neste experimento foi construído para uso na caracterização de outro sensor termal realizada por Lima Filho (2015). Assim os valores de pares de linhas por metro e as respectivas incertezas derivadas da medição do alvo, já previamente calculadas por este autor, foram utilizados neste trabalho.

Além da CTF, a frequência de Nyquist é utilizada para determinar o menor elemento a ser resolvido pelo sensor. Ela é determinada pela maior frequência de linhas que pode ser observada por um sistema eletro-óptico (SCHOTT, 2007), conforme:

$$f_n = \frac{1}{2 \cdot T_p} \quad (6)$$

onde:  $f_n$  é a frequência de Nyquist, e  $T_p$  é o tamanho efetivo da representação de um pixel na imagem, que pode ser calculado utilizando-se o número total de pixels que compreende a imagem do alvo e o tamanho real do alvo.

Ao traçar uma reta da intersecção da frequência de Nyquist pela CTF à origem, identifica-se a menor modulação detectável por um sistema sensor através da capacidade relativa ao contraste. Este limiar, denominado de AIM (*Aerial Image Modulation*), representa a modulação mínima necessária para produzir uma resposta no sistema (ALMEIDA 2007), desconsiderando qualquer ponto abaixo da reta AIM (LIMA FILHO, 2015).

### 3. Descrição experimental

Com base nos fundamentos acima descritos, foram realizados três experimentos metodológicos com o intuito de realizar a caracterização espectral, radiométrica e espacial de

um sensor termal. As especificações dos procedimentos e seus respectivos resultados são apresentados a seguir.

### 3.1 Caracterização Espectral

Para a caracterização espectral foram utilizados, basicamente, os seguintes equipamentos: um monocromador Acton SpectraPro 2500i (ACTON RESEARCH 2003); uma fonte de infravermelho (elemento resistivo denominado *Globar*); um *chopper*, que tem por objetivo impedir ou permitir a passagem da radiação eletromagnética da fonte infravermelha e um sensor de banda larga de referência J15D16 da empresa Judson (JUDSON TECHNOLOGIES LLC, 2002). Além disso, durante as medições, foi utilizado um termo-higromêtro para monitorar as condições de temperatura, umidade, concentração de CO<sub>2</sub> e pressão.



Figura 3. a) *Globar*; b) Monocromador; c) sensor de referência Judson; e d) termo-higromêtro. Fonte: os autores.

Para a caracterização espectral são realizados dois conjuntos de medidas. No primeiro, em geral por meio de medições manuais, o sensor a ser caracterizado tem o centro da sua lente iluminada pela saída do monocromador, tomaram-se medidas duplas (*chopper* aberto, que permite a passagem da radiação do iluminador para o monocromador, e fechado, que impede a passagem da radiação) nos diversos comprimentos de onda. A quantidade de medições depende da relação entre o tempo (e o esforço) disponível e a “suavização” da FRE desejada. No segundo conjunto de medidas, obtidas automaticamente por um sistema de aquisição de dados, é utilizado um sensor de referência da marca Judson de propriedade do LaRaC.

Em geral as medições dos dois conjuntos são tomadas no mesmo arranjo experimental, no mesmo dia, com a menor diferença de tempo possível, para que as condições experimentais não se alterem significativamente. Além disso, para facilitar a análise dos dados as medições são realizadas nos mesmos comprimentos de onda.

### 3.2. Caracterização radiométrica

Para a Caracterização Radiométrica é, em geral, utilizado um corpo negro de área extensa, modelo SR800 da CI Systems (CI SYSTEMS, 2004) (ver Figura 4-a), que permite ajuste de temperaturas termodinâmicas entre 10 e 80 °C. Como na caracterização espectral, também é utilizado um termo-higromêtro para monitorar as condições de temperatura, umidade, concentração de CO<sub>2</sub> e pressão, durante as medições.

Novamente, o número de medições vai depender do esforço a ser empregado e a “suavização” desejada da curva para a caracterização radiométrica. É conveniente lembrar que é necessário aguardar um intervalo de tempo, depois da troca de temperatura do CN, para a realização de medições devido estabilização da temperatura.

Importa ressaltar que ser for utilizado o corpo negro de área extensa, que possui emissividade de 0,98, é necessário a radiância calculada a parcela referente a radiância emitida pelo ambiente e refletida no corpo negro.

### 3.3. Caracterização Espacial

Para a Caracterização Espacial, além do corpo negro de área extensa, é utilizado um alvo padrão USAF 1951 (ver Figura 4-b), construído no próprio IEAv (LIMA FILHO, 2015). Para

a realização da caracterização espacial o sensor a ser caracterizado é posicionado a uma distância conhecida do alvo, que por sua vez está fixado ao corpo negro de área extensa.

Como na caracterização radiométrica, o corpo negro é colocado em determinadas temperaturas e as imagens são tomadas.

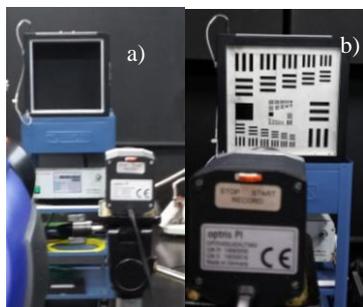


Figura 4. a) Corpo negro de área extensa, modelo SR800 da CI Systems; b) Corpo negro com alvo padrão USAF 1951 acoplado.

#### 4. Exemplos de Medições e Discussão

Como mencionado anteriormente o objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia para caracterização. Entretanto para exemplificar a aplicação desta metodologia são apresentados alguns resultados obtidos na caracterização da câmera PI450 da empresa alemã OPTRIS®.

##### 4.1. Caracterização Espectral

De acordo com as especificações do fabricante, o sensor caracterizado neste experimento opera na faixa espectral de 7,5 a 13  $\mu\text{m}$ . Por não disponibilizarem a curva de resposta do sensor, espera-se, em princípio, que na faixa em questão, esta tenha resposta próxima ou igual a 1 e valores inferiores a 7,5  $\mu\text{m}$  e superiores a 13  $\mu\text{m}$ , igual a 0. Assim para obter a FRE da câmera foram realizadas medições (ou seja, obtidas imagens) em 76 diferentes comprimentos de onda, de 6,5 a 14,0  $\mu\text{m}$ , com intervalo de 0,100  $\mu\text{m}$ . A FRE resultante dos procedimentos metodológicos descritos (item 3.1) está representada na Figura 5.

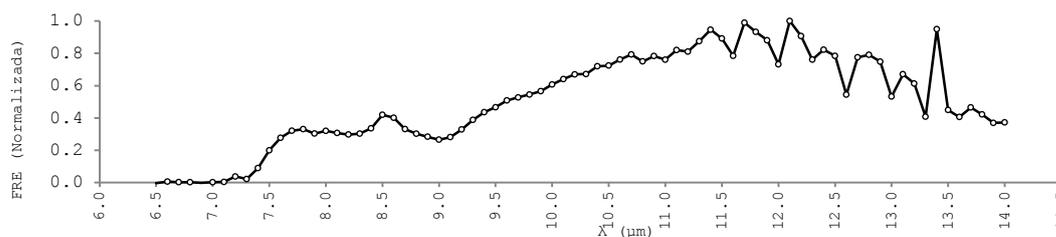


Figura 5. Curva da Função de Resposta Espectral do sensor caracterizado.

Ao analisar a curva de resposta espectral obtida, observou-se que a partir de 7,4  $\mu\text{m}$  o sensor passa a ter sensibilidade. De 7,7 até 10,7  $\mu\text{m}$  nota-se que a curva de resposta é suavizada, com pico em 8,5  $\mu\text{m}$  e crescente a partir dos 9  $\mu\text{m}$ . A partir de 10,8  $\mu\text{m}$  verificou-se uma maior ocorrência de ruídos, com valores próximos a 1, que permanecem além dos 13  $\mu\text{m}$ , chegando a sensibilidade de 0,4 em 14  $\mu\text{m}$ , maior comprimento de onda medido.

##### 4.2. Caracterização radiométrica

Neste experimento foram realizadas medições (ou seja, obtidas imagens) de temperatura do CN com a câmera posicionada a 1,70 m de distância do CN. Foram ajustadas temperaturas de 10 a 80  $^{\circ}\text{C}$ , de 5 em 5  $^{\circ}\text{C}$ , respeitando um intervalo de tempo de 15 minutos entre as

coletas para cada temperatura selecionada a fim de se aguardar a estabilização da temperatura termodinâmica do corpo negro.

A análise, referente às capacidades radiométricas do sensor foi efetuada através da diferença entre valores de temperatura da superfície do corpo negro medidos pelo sensor e a temperatura real (ajustada no corpo negro), representada na Figura 6.

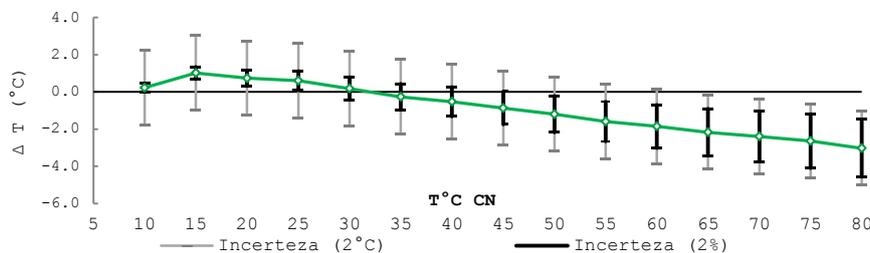


Figura 6. Gráfico de diferença entre a temperatura da superfície do Corpo Negro obtida pelo sensor OPTRIS, utilizando a emissividade de 0,98, e a temperatura ajustado ao CN.

Observa-se que até a temperatura ajustada no CN de 30 °C, as diferenças se mantiveram positivas, o que pode indicar uma possível influência da temperatura ambiente (aprox. 22 °C) nos valores medidos pelo sensor. Acima de 30 °C, de forma crescente, as temperaturas medidas pelo sensor se apresentaram menores do que aquelas ajustadas no CN. Para as temperaturas de 65°C, e superiores, as diferenças observadas foram maiores que as incertezas especificadas pelo fabricante de ± 2 % ou ± 2 °C.

### 4.3. Caracterização Espacial

Por meio da equação 5 (descrita no item 2.3) calcularam-se os valores de contraste relativo para cada um dos pares de linhas apresentados na Tabela 1, obtendo-se assim a função de transferência de contraste, CTF (*Contrast Transfer Function*), descrita por SCHOTT (2007).

Na Figura 7 é apresentada a curva CTF obtida a partir de medidas do alvo USAF 1951 sobre o corpo negro ajustado em 80°C. Entretanto a análise foi realizada com base nos dados obtidos com temperaturas ajustadas no corpo negro de 30 a 80 °C.

O tamanho do pixel do sensor foi calculado utilizando-se o número total de pixels (148), que compreendia a imagem do alvo de 0,3035 m (tamanho real) a uma distância de 0,75 m da câmera. O tamanho efetivo do pixel calculado foi de 0,002050 m, e a partir dele calculou-se que a frequência de Nyquist para o experimento como sendo 244 ciclos/m.

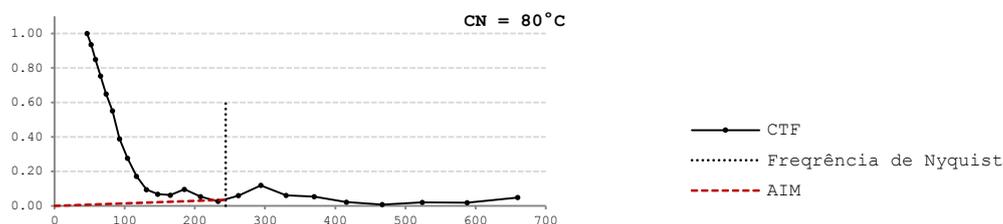


Figura 7. Curva CTF obtida. Fonte: os autores.

Observa-se que todos os elementos de tamanho menor que 15° ficaram abaixo do limite da resolução do sensor (frequência de Nyquist), e o 15° foi cortado no alvo por falta de contraste, estando abaixo da menor modulação detectável pelo sistema, isto é, o limiar AIM. Assim, o 14° elemento foi o último resolvido dentro da limitação de resolução do sistema e com contraste suficiente. Neste elemento cada linha contém aproximadamente 2,4 mm de largura, e como a distância da câmera para o alvo era de 0,75 m, constatou-se que cada pixel da matriz do sensor fornece um campo de visada de 0,367° (6,4 mrad).

## 5. Conclusões

A fim de se estabelecer uma relação precisa entre a temperatura cinética de um objeto e a temperatura radiométrica medida por um sensor remoto, a caracterização e calibração do instrumento sensor utilizado é indispensável quando se deseja realizar uma análise quantitativa dos dados.

Neste trabalho foram propostos e aplicados alguns procedimentos metodológicos para caracterização de sensor infravermelho termal. Para testar a metodologia foi utilizado o sensor OPRIS PI450, do qual não se tinha informações quanto aos parâmetros de calibração ou função de resposta espectral.

O método descrito, nas condições de geometria e ambiente controlados aqui explicitados, se mostrou eficaz para dimensionar as capacidades radiométricas, espectrais e espaciais do sensor utilizado, apresentando resultados satisfatórios. Vale ressaltar que para maior precisão dos resultados é aconselhável a estimativa das demais incertezas relativas à medição.

## Referências

Acton Research Corporation. **Spectrapro-2500i**: operating instructions. Acton, MA, 2003.

Almeida, M. H. **Desenvolvimento de um software para avaliação de desempenho do sistema óptico em equipamento para retinografia digital**. 2007. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Carlos, São Carlos.

Applied Image. **USAF 1951**. Rochester, NY, 2005. Disponível em: <[https://www.appliedimage.com/files/8sYYLo/USAF 1951 Test Target T-20\\_v1-04.pdf](https://www.appliedimage.com/files/8sYYLo/USAF%201951%20Test%20Target%20T-20_v1-04.pdf)>. Acesso em: 11 julho 2016.

CI Systems. **SR-800 extended area blackbody**. Simi Valley, 2004.

Crosta, A. P. **Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: UNICAMP, 1999 164 P.

Judson Technologies LLC. **Mercury cadmium telluride detectors**. Montgomeryville, 2002.

Kuenzer, C.; Dech, S., eds. **Thermal Infrared Remote Sensing: Sensors, Methods, applications**. Springer Netherlands. 2013. 537 p. ISBN (978-94-007-9831-1)

Lima Filho, G. M. de. **Caracterização radiométrica de câmera que opera no infravermelho médio**. 2013. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.

Lima Filho, G. M. de. **Metodologia de caracterização de sistema eletro-óptico para missões de busca e patrulha marítima**. 2015. 106f. Dissertação de mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

Novo, E. M. L. DE M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

Optris, GMBH. **Infrared Cameras: The most portable infrared online cameras in the world**. Disponível em:< [http://www.optris.com/pi-lightweight-netbox?file=tl\\_files/pdf/Downloads/Infrared%20Cameras/PI\\_Brochure.pdf](http://www.optris.com/pi-lightweight-netbox?file=tl_files/pdf/Downloads/Infrared%20Cameras/PI_Brochure.pdf)>. Acesso em: 22 fev. 2016

Ponzoni, F. J.; Zullo JR., J.; Lamparelli, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1, 64 p.

Rees, W. G. **Physical principles of remote sensing**.3.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 441 p.

Schott, J. **Remote sensing: the image chain approach**. New York: Oxford University Press, 2007.