

SÍTIO DE CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA PARA SENSORES IMAGEADORES DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP

Ruy Morgado de Castro^{1,2}, Leidiane do Livramento Andrade¹ e Mateus Habermann¹

¹ Instituto de Estudos Avançados - IEAv/DCTA, Caixa Postal 6044 – 12.231-970 – São José dos Campos - SP, Brasil, rmcastro@ieav.cta.br; e leidianella@fab.mil.br; marcosmcm1@fab.mil.br e

² Instituto Básico de Exatas – Universidade de Taubaté, Taubaté – SP, Brasil

RESUMO

Neste trabalho elencamos as características desejáveis de um Sítio de Calibração Radiométrica para Sensores Orbitais e Aerotransportados multiespectrais de alta resolução espacial (tamanho do pixel menor que 5 metros). Discutimos as razões para a escolha da implantação do sítio na cidade de São José dos Campos, nas dependências do IEAv/DCTA. Esta decisão foi baseada na avaliação das características que consideramos mais importantes: a dimensão, a localização, a disponibilidade e as propriedades radiométricas das Superfícies de Referência. Por fim, é apresentada a imagem com uma, eventual, distribuição das seis superfícies de referência planejadas do sítio na área escolhida.

Palavras-chave – Calibração, Sítio de Calibração Radiométrica, Superfície de Referência.

ABSTRACT

In this work, we list the desirable characteristics of a Radiometric Calibration Site for Orbital and Airborne multispectral Sensors with high spatial resolution (pixel size smaller than 5 meters). We discussed the reasons for choosing to implement the site in São José dos Campos city, more precisely in IEAv/DCTA. This decision was based on the evaluation of the characteristics that we consider most decisive: the dimension, location, availability and radiometric properties of the Reference Surfaces. Finally, a site layout was made in the chosen area, with the distribution of the six reference surfaces planned.

Key words – Calibration, Radiometric Calibration Site, Reference Surface.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte do sucesso de um sistema sensor e atribuída ao conhecimento das suas propriedades radiométricas, espaciais, geométricas, etc., obtidas por meio da combinação de calibrações realizadas antes do seu lançamento (ou entrada em operação) e das calibrações pós-lançamento (depois que entra em operação e ao longo de sua vida útil) [1, 2].

Ter o conhecimento e a capacidade de realizar uma avaliação abrangente e independente, do desempenho de sistemas sensores e dos dados obtidos, é uma função de crescente importância mundial, tanto em nível governamental quanto em nível científico. Assim, em 1984, houve a criação

do Comitê sobre Satélites de Observação da Terra - CEOS [3], que atualmente tem por objetivo a validação de requisitos de sensores de observação da Terra. Além disso, em 2018, foi criada uma Rede de Calibração Radiométrica – RadCalNet [4] composta por uma série de Sítios de Calibração em algumas partes do globo com o objetivo de servir de base para troca de experiências, informações, procedimentos e dados de calibração radiométrica para sensores remotos de forma que os dados entre diferentes sensores possam ser comparados entre si e que possuam uma referência comum, fornecendo consistência global aos dados.

Por isso, sabendo da importância da Calibração Radiométrica em Sensoriamento Remoto Óptico (SRO) e da necessidade futura, gerada pela Constelação Carponis do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais – PESE, foi planejada a implantação de um sítio para a Calibração Radiométrica para Sistemas Sensores de alta resolução espacial no Brasil. Com isto foi criado o Projeto “Calibração de Sensores Imageadores Orbitais e Aerotransportados” – CSIO, que tem por objetivo criar as condições necessárias para a realização da calibração radiométrica de sensores imageadores de alta resolução espacial e visada oblíqua em campo e ampliar as competências técnicas do IEAv relativas à sistemas imageadores de SRO.

Deste modo, neste trabalho, são abordadas as características desejáveis de um Sítio de Calibração Radiométrica e as razões que levaram a definir a instalação/implantação do Sítio de Calibração no município de São José dos Campos - SP, nas dependências do Instituto de Estudos Avançados - IEAv.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Entre as principais características desejáveis que um Sítio de Calibração Radiométrica deve possuir, podemos citar a dimensão, a localização, a disponibilidade e as propriedades radiométricas.

As dimensões das superfícies de referências estão diretamente relacionadas ao Sistema Sensor que se deseja calibrar, porque esta dimensão determina o tamanho da amostra (pixels) que será obtida da superfície de referência na imagem gerada. Na comunidade científica não há consenso sobre o número exato de pixels que deve abranger uma superfície de referência. Há trabalhos onde o tamanho mínimo da superfície a ser considerado é de 5x5 pixels da imagem do sensor a ser calibrado [5], na rede RadCalNet a sugestão é de 7x7 pixels [6], como também há referências em que o tamanho da superfície de referência é dez vezes a

resolução espacial do SRO que se deseja calibrar [7]. Desta forma, considerando todas as recomendações, para sensores de alta resolução espacial, com tamanho do pixel da ordem de 5 m, sugerimos que uma superfície de referência de aproximadamente 45x45 m² atenda o requisito de tamanho mínimo.

A localização de um Sítio também deve considerar a acessibilidade em qualquer período do ano, as facilidades de coleta de informação, da instrumentação, bem como a regularidade da manutenção e segurança destes equipamentos. É desejável que esteja próximo a laboratórios, que possam, eventualmente, dar suporte ao sítio de calibração por meio da calibração da instrumentação utilizada durante a calibração radiométrica do SRO [6, 8].

Além disso, segundo [2, 6–9], um sítio de calibração deve estar localizado em alta altitude (para minimizar o efeito de aerossóis e as incertezas devido à distribuição vertical desconhecida dos aerossóis na atmosfera), longe do oceano (para minimizar a influência do vapor de água atmosférico), e longe de áreas urbanas e áreas industriais (para minimizar aerossóis antropogênicos). Estas recomendações estão diretamente relacionadas às condições atmosféricas no momento da calibração, cujos constituintes são medidos ou estimados para modelar a transmitância atmosférica e, assim, “corrigir” os dados obtidos pelo SRO, e então poder comparar os dados de campo e os dados obtidos em nível suborbital ou orbital.

Outra influência da atmosfera na aquisição de dados de SRO é a porcentagem de cobertura de nuvens, que é uma condição crítica, pois interfere diretamente na quantidade de dias disponíveis para a calibração radiométrica. É desejável que as condições atmosféricas locais proporcionem pelo menos 25% de dias do ano de céu limpo, sem nuvens, e que as estações do ano não sejam extremas [6].

As superfícies de referência devem possuir algumas propriedades radiométricas para permitir uma Calibração Radiométrica mais precisa e rápida. Listadas inicialmente em [8] estas propriedades vêm sendo utilizadas desde então. Entretanto, em algumas situações, esta lista de propriedades tem sido adaptada em muitos trabalhos [2, 6, 7, 9]. As propriedades radiométricas mais importantes, já bem consolidadas na literatura, são: a) Uniformidade espacial da radiometria da superfície; b) Homogeneidade espectral; c) Estabilidade temporal; d) Amplitude radiométrica; e e) Isotropia ao longo da maior faixa espectral possível. Geralmente, para sítios de calibração de SRO de alta resolução espacial, são utilizados materiais artificiais por apresentam menor variação em suas características. Além disso, as superfícies de referência devem observar as dimensões e aspectos topográficos do sítio, bem como seu entorno, sendo que as superfícies de referência devem ser planas com inclinação máxima de 2% [6, 9].

É possível observar que atender a todas estas sugestões é uma tarefa muito difícil por existirem poucos lugares no planeta que atendem completamente estes requisitos. Portanto, para realizar a calibração radiométrica de um sistema sensor imageador de SRO, é importante possuir um Sítio de Calibração que contemple uma boa parte dos requisitos listados acima, porque não há nenhuma superfície

ou local que satisfaça todas as condições ideais [1].

3. RESULTADOS

Ao avaliar os possíveis locais para a implantação do sítio de calibração no Brasil, além de atender da melhor forma possível aos requisitos expostos anteriormente, foi dada atenção especial às condições atmosféricas, infraestrutura, segurança, apoio de laboratórios, e custos.

3.1. Disponibilidade: Cobertura de Nuvens

Para avaliar as condições atmosféricas, foi verificado, a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET [10], que o período do ano com menor probabilidade de cobertura de nuvens ocorre entre maio e agosto, sendo que a Região Central do Brasil é a localidade com maior período com baixa probabilidade de presença de nuvens (entre 10 e 20% no trimestre Junho/Julho/Agosto), ou seja, maior disponibilidade para realizar a calibração. Verifica-se também que a Região Sudeste apresenta uma cobertura de nuvens anual mais elevada, com uma porcentagem de dias sem nuvens nesta região em torno de 30 a 40% no trimestre de Junho/Julho/Agosto.

Embora a cobertura de nuvens de localidades da Região Central do Brasil possibilite uma maior disponibilidade de um Sítio de Calibração, nestas localidades há grandes áreas de culturas agrícolas, além de extensas áreas do Bioma Cerrado. Ocorrem nestas áreas alta incidência de queimadas no período seco, que é justamente o período com menor cobertura de nuvens e, neste caso, o impeditivo para a calibração seria o material particulado lançado na atmosférica oriundo das queimadas.

3.2. Condições Ambientais: Transmitância Atmosférica

Para estimar a transmitância atmosférica, utilizando modelos matemáticos, ver Figura 1, é necessário, pelo menos, avaliar a concentração dos vários constituintes atmosféricos. Portanto, ter disponível uma rede de meteorologia que envolva estações meteorológicas, rastreador solar, etc., durante a calibração do SRO é importante para que se possa obter, com a melhor precisão possível, a transmitância atmosférica.

3.3. Localização

Para o bom funcionamento do Sítio de Calibração é necessária uma infraestrutura mínima, com: eletricidade, água, internet, abrigo para equipamentos e pessoal, além de fácil acesso. Tendo em vista estes aspectos, localidades muito afastadas de centros urbanos comprometem o funcionamento do Sítio.

Também foram consideradas: a segurança física de equipamentos (estação meteorológica, rastreador solar, etc.) que devem ficar instalados no local do Sítio de Calibração; a segurança no transporte de equipamentos (entre um laboratório de apoio e o local do Sítio); a segurança física dos recursos humanos envolvidos nas medições; e a utilização correta das superfícies de referência. Portanto os locais mais adequados seriam Instituições de Ensino, Pesquisa e desenvolvimento tecnológico, bem como Instituições

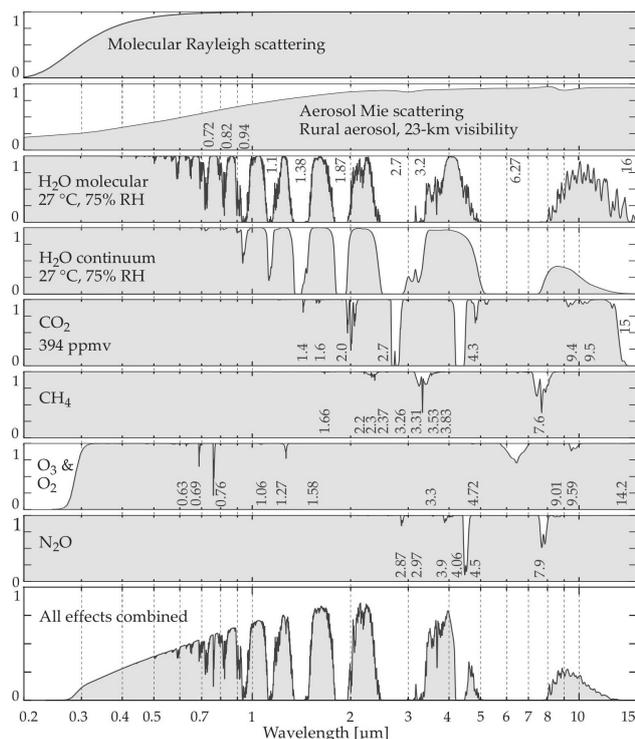


Figura 1: Exemplo da transmitância atmosférica para uma trajetória de 5 km ao nível do mar, obtidas com o Modtran utilizando um Modelo Tropical. Fonte: [11]

Militares, pois estes locais já possuem áreas reservadas com infraestrutura de segurança.

Outro aspecto que limita significativamente os locais disponíveis para a instalação do Sítio de Calibração é a necessidade de apoio de laboratórios na região próxima ao Sítio, visto que, grande parte das medições envolvidas no processo de calibração necessita de instrumentos calibrados. Os laboratórios que poderiam dar este suporte estão, em sua maioria, restritos às regiões próximas aos Municípios de São Paulo, Rio de Janeiro e São José dos Campos. Em São Paulo podemos citar, por exemplo, a disponibilidade dos Laboratórios da Universidade de São Paulo - USP e do Instituto de Pesquisa e Tecnologia - IPT. No Rio de Janeiro pode-se mencionar o Instituto Nacional de Metrologia - Inmetro e a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Em São José dos Campos estão localizados: o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, e o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial - DCTA, que conta com o Instituto de Estudos Avançados - IEAv, onde há a disponibilidade do Laboratório de Caracterização Radiométrica de Sensores Eletroópticos - LaRaC, Figura 2, e no INPE há também o Laboratório de Radiometria.

Por fim, foram avaliados os custos de implantação e manutenção do Sítio, bem como do eventual transporte de equipamentos. Verificou-se que os custos na implantação do Sítio são basicamente os mesmos (ou seja, não dependem significativamente do local) e que podem variar com a topografia do terreno e distância de centros urbanos. Verificou-se também que os custos na manutenção, que envolvem a conservação das superfícies de referência, independem do local.

Portanto, devido aos requisitos de localização, já citados



Figura 2: Laboratório de Caracterização de Sensores Eletro-ópticos - LaRaC

anteriormente, principalmente relacionados ao deslocamento de equipe e equipamento, segurança e integridade do Sítio no que tange às superfícies e instrumentação instalada, definiu-se a construção do Sítio nas dependências do IEAv. O apoio do LaRaC também foi um fator decisivo para esta decisão, porque serão utilizadas as facilidades do laboratório para as medições espectrorradiométricas de superfícies na definição de superfícies de referência do sítio, quanto por meio da calibração e/ou caracterização de equipamentos utilizados durante a calibração radiométrica em si. Além disso, a equipe do laboratório tem capacitação para efetuar as calibrações/caracterizações necessárias.

Muito embora a decisão de implantar o sítio no IEAv tenha impacto na sua disponibilidade e prontidão ao longo do ano, por causa das condições atmosféricas não serem as mais ideais dentre as possibilidades existentes no país, as demais características desejáveis se sobrepõem a esta dificuldade.

3.4. Dimensão e propriedades radiométricas

O Sítio de Calibração proposto tem a finalidade de realizar a calibração de SRO com resolução espacial melhor que 5 m, e por isto, as superfícies de referência devem possuir dimensões de aproximadamente 45 x 45 m² (ou seja, aproximadamente 2000 m²). Foram planejadas seis superfícies de referência: 1) três com superfícies com base de concreto e recobertas com materiais (tintas, britas, etc.) de diferentes reflectâncias, para que sejam obtidas radiâncias de alta, média e baixa intensidade, permitindo uma calibração radiométrica de melhor qualidade; 2) uma com área com base de concreto, quadriculada, em branco e preto (alta e baixa refletância), para avaliar a transição radiométrica entre estas áreas; e 3) duas áreas (solo exposto e grama) com variação espectral (Figura 3). Desta maneira a área total envolvida nas superfícies de referência é de aproximadamente 12000 m².

Os materiais artificiais são mais duráveis, estáveis, especialmente uniformes do que os materiais naturais, entretanto, materiais naturais possibilitam uma avaliação do comportamento espectral do SRO, uma vez que as superfícies naturais não têm, no geral, boa homogeneidade espectral. Portanto, é possível verificar que existem diversas possibilidades de materiais que podem ser eventualmente utilizados num Sítio de Calibração, e por isso é importante conhecer suas características espectrorradiométricas para que se possa realizar a escolha dos mais adequados para as

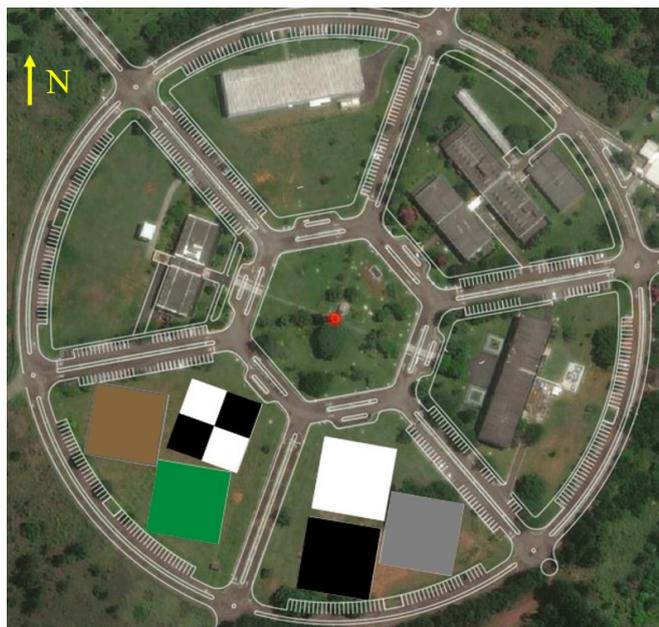


Figura 3: Localização do Sítio de Calibração do Projeto CSIO.

superfícies de referência, o que evidencia a importância da disponibilidade de um laboratório para tal atividade.

Vale lembrar que outros dois trabalhos, abordando os estudos de reflectância de materiais candidatos a serem utilizados como superfícies de referência, foram submetidos ao XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pela equipe do CSIO.

4. CONCLUSÕES

Ao elencar as características desejáveis de um local para a implantação de um Sítio de Calibração Radiométrica, verificou-se que no Brasil, existem localidades que atendem o requisito relacionado às condições atmosféricas desejáveis, principalmente referentes à cobertura de nuvens e consequentemente, propiciando uma maior disponibilidade do Sítio para a calibração.

Entretanto, as condições atmosféricas não estão restritas à cobertura de nuvens, mas se refere à transmitância atmosférica no geral, e nestes mesmos locais, há muitas ocorrências de queimadas justamente no período de menor cobertura de nuvens. Portanto, ao avaliar o requisito relacionado às condições atmosféricas, e consequente disponibilidade do Sítio de Calibração, verificou-se que não há um local ideal no Brasil.

Para o requisito custos e dificuldade de implantação e manutenção, verificou-se que este independe da localização, quando se refere exclusivamente ao sítio, não estando incluso neste item os custos de calibração/caracterização, em laboratórios, dos instrumentos instalados no sítio.

Por fim, vislumbrando os requisitos de disponibilidade de

laboratórios, equipes qualificadas, infraestrutura próxima e acesso fácil, e segurança no geral, verificou-se que implantar o sítio na Região Sudeste, próximo ou dentro de instituições de pesquisa, atende melhor estes requisitos.

Por estas razões, foi definido que o sítio de calibração proposto no Projeto CSIO, será construído/implementado no município de São José dos Campos – SP, nas dependências do IEAv.

5. REFERÊNCIAS

- [1] K. J. THOME. Absolute radiometric calibration of landsat-7 etm+ using the reflectance-based method. *Remote Sensing of Environment*, volume 78:páginas (pp. 27–38), 2001.
- [2] F. J. Ponzoni, C. T. Pinto, R. A. C. Lamparelli, J. Zullo-Jr, and M. A. H. Antunes. *Calibração de Sensores Orbitais*. Oficina de Textos, São Paulo, 2nd edition, 2015.
- [3] CEOS. Ceos: Cal/val portal, 2023. <https://calvalportal.ceos.org/calvalsites>, Acesso em 26 out 2022.
- [4] M. Bouvet, K. Thome, B. Berthelot, A. Bialek, J. Czaplamyers, N.P. Fox, P. Goryl, P. Henry, L. Ma, S. Marcq, A. Meygret, B. N. Wenny, and E. R. Woolliams. Radcalnet: A radiometric calibration network for earth observing imagers operating in the visible to shortwave infrared spectral range. *Remote Sensing*, 11:páginas (pp. 25), 2019.
- [5] M. Pagnutti, S. Blonski, M. Cramer, D. Helder, K. Holekamp, E. Honkavaara, and R. Ryan. Targets, methods and sites for assessing the in-flight spatial resolution of eo data products. *Canadian Journal of Remote Sensing*, volume (v.36):páginas (pp. 583–601), 2010.
- [6] RadCalNet Technical Working Group. G1 - radcalnet guidance - site selection. ceos reference: Qa4eo-wgcv-radcalnet-g1v1, 2018.
- [7] E. Honkavaara, T. Hakala, J. Peltoniemi, J. Suomalainen, E. Ahokas, and L. Markelin. Analysis of properties of reflectance reference targets for permanent radiometric test sites of high resolution airborne imaging systems. *Remote Sensing*, volume (v.2):páginas (pp. 1892–1917), 2010.
- [8] K. P. Scott, K. J. Thome, and M. R. Bronwlee. Evaluation of the railroad valley playa for use in vicarious calibration. In *International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation*, pages 158–166, Denver, CO, 1996. SPIE Conference, SPIE.
- [9] Teillet P.M., J. A. Barsi, G. Chander, and K. J. Thome. Prime candidate earth targets for the post-launch radiometric calibration of space-based optical imaging instruments. In *Earth Observing Systems XII*, page 66770S, San Diego, CA, 2007. SPIE Conference, SPIE.
- [10] Normais climatológicas. <https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas>, Acesso em 26 out 2022.
- [11] C. J. Cornelius J. Willers. *Electro-Optical System Analysis and Design: A Radiometry Perspective*. SPIE PRESS, Bellingham, EUA, 1st edition, 2013.