



Avaliação temporal de dados hiperespectrais obtidos pelo sensor AisaFENIX após processos de calibração

Taiana Loan de Lima Campos^{1,2.}
Marcos Rafael Nanni^{3.}
Jessica Saldanha Souza^{1,4.}
Rafael Moreno Campos^{1,5.}
Luis Guilherme Teixeira Crusiol^{1,6.}
Renato Herrig Furlanetto^{1,7.}
Mônica Sacioto Chicati^{1,8.}
Guilherme Fernando Capristo Silva^{1,9.}

¹ Programa de Pós-graduação em Agronomia - PGA - UEM
Avenida Colombo, 5790 - Jardim Universitário - Maringá - PR, Brasil
{²taianacampos, ⁶luisguilherme_crusiol, ⁷renatohfurlanetto}@hotmail.com
{⁴jessicasaldanha.souza, ⁵rafaelmorenocampos, ⁸monicasacioto}@gmail.com
⁹capristouems@yahoo.com.br

³ Departamento de Agronomia – DAG - UEM
Avenida Colombo, 5790 - Jardim Universitário - Maringá - PR, Brasil
marcos.nanni@gmail.com

Abstract. Over the last decades, high spectral resolution or hyperspectral remote sensing is becoming a very important tool in researches of Earth surface. Recently, Maringá State University (Universidade Estadual de Maringá - UEM) acquired the hyperspectral sensor AisaFENIX (Spectral Imaging - Specim), meaning a new reality related to imaging spectroscopy in the country. For a thorough understanding of sensor's data collection and processing, several experiments have been and are being developed. In this scenario, experiments were conducted in 2015 and 2016, in which images were collected at around the same time of the year and with similar solar angle, in order to evaluate the quality of the data from the two years after sensor laboratory calibration. On February 22nd, 2015 the first flight was performed. The second aerial survey was held on May 1st, 2016. On the route of both flights specific targets were arranged, with spectral behavior already known. Through the hyperspectral images radiance data of the cited targets were collected and analyzed statistically, generating high values for the coefficient of determination ($R^2 = 0.93$ to 0.98). However, despite the similarity of the albedos, there was significant difference between the years (F test, $\alpha = 0.05$). Thus, the results demonstrate the importance of the calibration process, so hyperspectral sensor AisaFENIX remains stable in Brazilian conditions of humidity and temperature, resulting in reliable data.

Palavras-chave: radiance, imaging spectroscopy, airborne, radiância, espectrorradiometria de imageamento, aerotransportado.

1. Introdução

A espectrorradiometria de imageamento, ou imageamento hiperespectral, como é reconhecido atualmente, tem uma longa história de desenvolvimento e aceitação pela comunidade científica (Goetz, 2009) e representa uma área de rápido crescimento na ciência do sensoriamento remoto (Chang, 2003). Em 1985, Goetz et al. definiram a espectrorradiometria de imageamento como “a aquisição de imagens em centenas de bandas contíguas e registradas, tais que, para cada pixel um espectro de radiância pode ser obtido”. Esta definição ainda é considerada uma maneira precisa de descrever a técnica. Contudo, Ben-Dor et al. (2013) salientam a importância de se complementar a definição quanto à resolução espectral, pois a tecnologia, além de exigir um grande número de bandas, também exige alta resolução espectral, ou seja, intervalos de bandas estreitos e elevado intervalo de amostragem em todo o espectro eletromagnético (EM).

Com dados de alta qualidade associados à fusão de informações espectrais e espaciais, o sensoriamento remoto hiperespectral permite o desenvolvimento de estudos relacionados a diversos fenômenos da atmosfera, pedosfera, litosfera, biosfera, hidrosfera e criosfera, proporcionando aquisição de dados à distância com qualidade comparável a dados obtidos em laboratório destacando-se que, o objetivo principal do imageamento hiperespectral é extrair informações a partir de dados brutos de todo o espectro (radiância) que podem ser facilmente convertidos em, por exemplo, reflectância e emissividade, a fim de descrever propriedades inerentes dos alvos em questão, representando uma maneira inovadora para se compreender fenômenos em diversas resoluções (Ben-Dor et al., 2013).

Além disso, essa tecnologia permite que a interferência atmosférica seja caracterizada e removida de todo o espectro obtido, diferentemente de imageadores multiespectrais que apenas coletam dados em janelas atmosféricas. A amostragem contínua permite que os dados sejam correlacionados com espectros de referência, permitindo melhoras na razão sinal-ruído (RSR) (Goetz, 2009).

O autor supracitado é considerado o mentor e cientista pioneiro do sensoriamento remoto hiperespectral, juntamente com seu colega Gregg Van. Em 1983 eles propuseram à NASA-JPL o desenvolvimento do sensor hiperespectral aerotransportado AIS (airborne imaging spectrometer), sendo que seu sucesso levou ao desenvolvimento do sensor AVIRIS (primeira versão desenvolvida em 1984) que, atualmente, ainda é considerado um dos melhores sensores hiperespectrais já desenvolvidos e representa o programa que influenciou o avanço da tecnologia do sensoriamento remoto hiperespectral e de diversos sensores nas últimas duas décadas (Ben-Dor et al., 2013; Goetz, 2009).

A companhia finlandesa Specim-Spectral Imaging Ltd. é uma importante referência nesse cenário. Desde 1995 a empresa tem desenvolvido sensores hiperespectrais de custos reduzidos e de pequenos tamanhos, facilitando a operação e manutenção, tornando a tecnologia acessível para uma gama maior de usuários. Esses fatores refletem em maior independência na formulação de campanhas e planos de voos conforme o objetivo a ser atingido e na aquisição e processamento de dados (Ben-Dor et al., 2013). Segundo a empresa, mais de setenta instrumentos foram vendidos para todo o mundo até o ano de 2010.

Recentemente, a Universidade Estadual de Maringá, representada pelo Grupo Aplicado ao Levantamento e Espacialização de Solos (GALeS), do Departamento de Agronomia (DAG) adquiriu o sensor hiperespectral AisaFENIX (Specim) com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), representando uma nova realidade para o sensoriamento remoto hiperespectral no Brasil. AisaFENIX realiza a coleta de dados na faixa espectral de 380 a 2500 nm, apresentando resolução espectral de 3,5 nm entre 380 e 970 nm e 12 nm entre 970 e 2500 nm (620 bandas). O campo de visão (FOV) é de 32,3° e o campo de visão instantânea (IFOV) é de 0,084°. Os dados gerados atingem resolução espacial de 1,0 m com altitude de voo de 660 m.

Com o sensor disponível, torna-se necessário a realização de estudos sobre calibração e validação, para que haja certeza de que os dados adquiridos sejam confiáveis e precisos. O objetivo de ambos os processos, calibração e validação, é desenvolver entendimento quantitativo e caracterização do sistema de medição e seus desvios (Conselho Nacional de Pesquisa – EUA, 2007), assim esses processos são atividades que garantem o uso eficiente de dados provenientes de qualquer forma de observação terrestre e seus respectivos valores científicos, sendo de suma importância que sejam realizados conforme avaliação do comportamento das respostas espectrais, considerando a depreciação dos equipamentos (Ben-Dor et al., 2013).

A influência de outros fatores nos dados adquiridos, como erros instrumentais e influências atmosféricas, somente é determinada após processo de calibração, sendo assim, crucial para a determinação de respostas radiométricas a partir de dados brutos (números digitais) e comparação entre dados adquiridos em diferentes condições (local, data e sensor). Já a validação

refere-se ao processo de verificação independente das medidas físicas efetuadas por um sensor, permitindo a melhoria dos algoritmos utilizados. Esse processo baseia-se em dados padrões obtidos a nível terrestre utilizando sensores já calibrados e diversos indicadores, a fim de avaliar o processo de calibração (Ben-Dor et al., 2013).

Assim, este trabalho teve como objetivo a avaliação da integridade dos dados hiperespectrais obtidos pelo sensor AisaFENIX em diferentes épocas, após processos de calibração do sensor, a fim de acompanhar outros experimentos de validação que estão sendo realizados pela equipe GALeS. O objetivo primordial das atividades desenvolvidas com o sensor AisaFENIX é compreender plenamente a aquisição e processamento dos dados hiperespectrais e, assim, dominar seus potenciais usos em diversas áreas do sensoriamento remoto.

2. Metodologia de Trabalho

Para a obtenção dos dados utilizados nesse trabalho foram realizados dois aerolevantamentos com o sensor hiperespectral AisaFENIX, do fabricante Spectral Imaging (www.specim.fi). Anteriormente a ambos os voos o sensor foi calibrado no laboratório do fabricante, onde foram utilizados equipamentos e normas padrões para tal procedimento.

As imagens foram adquiridas na Universidade Estadual de Maringá – Paraná, Brasil ($23^{\circ}24'38''\text{S } 51^{\circ}56'18''\text{O}$) (figura 1). O primeiro voo foi realizado no dia 22 de fevereiro do ano de 2015, aproximadamente às 11 horas e 45 minutos. O segundo aerolevantamento aconteceu no dia primeiro de Maio de 2016, no mesmo horário. Em ambos os momentos as condições climáticas (tabela 1) eram consideradas ótimas (céu claro e sem nuvens), permitindo altura de voo de aproximadamente 350 metros, o que resultou em uma resolução espacial de 0,35 metros. As imagens utilizadas no presente trabalho estão representadas nas figuras 3 e 4.

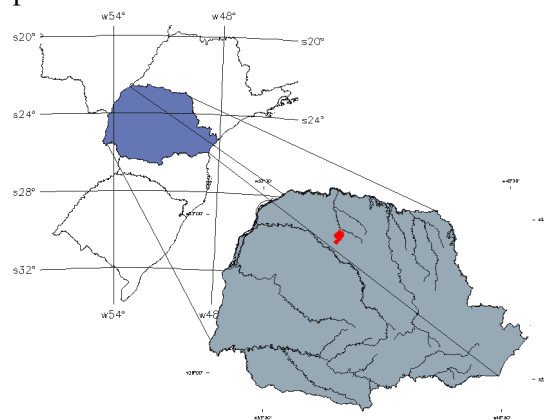


Figura 1: Localização da cidade de Maringá-PR (em destaque), onde foram realizados os aerolevantamentos.

Tabela 1: Dados de temperatura e umidade dos dias em que foram realizados os aerolevantamentos.

	22/02/2015	01/05/2016
Temperatura máxima (°C)	34,0	23,9
Temperatura mínima (°C)	23,3	7,7
Temperatura média (°C)	29,4	17,3
Umidade média (%)	58,0	43,0

Fonte: Estação Climatológica Principal de Maringá – INMET/UEM (2016).

Em campo aberto inserido da rota de ambos os voos, livre de qualquer interferência, foram dispostas lonas de vinil nas cores vermelha, verde, azul, amarela, cinza claro e cinza escuro (em destaque nas figuras 3 e 4).

Em experimentos anteriores, coletou-se dados dos alvos citados acima com o mesmo sensor e também com o espectrorradiômetro FieldSpec-3 (ASD Inc. - www.asdi.com) em ambiente controlado, sem interferências atmosféricas. As curvas espectrais obtidas com o espectrorradiômetro FieldSpec-3 foram consideradas dados padrões por ser um sensor já calibrado e comparadas com os dados obtidos com a AisaFENIX.

O mesmo procedimento foi realizado em campo, ou seja, no mesmo instante em que se estava realizando o imageamento das lonas com o sensor hiperespectral AisaFENIX a bordo de um avião (a 350 m de altitude), foram coletadas curvas de radiância das lonas com o espectrorradiômetro a 1 m de distância dos alvos. Esses procedimentos foram realizados a fim de comparação dos dados providos por ambos os sensores e avaliação das interferências atmosféricas para posterior correção, com o objetivo final de validação dos dados hiperespectrais obtidos pela AisaFENIX. A figura 2 demonstra algumas etapas desses procedimentos.

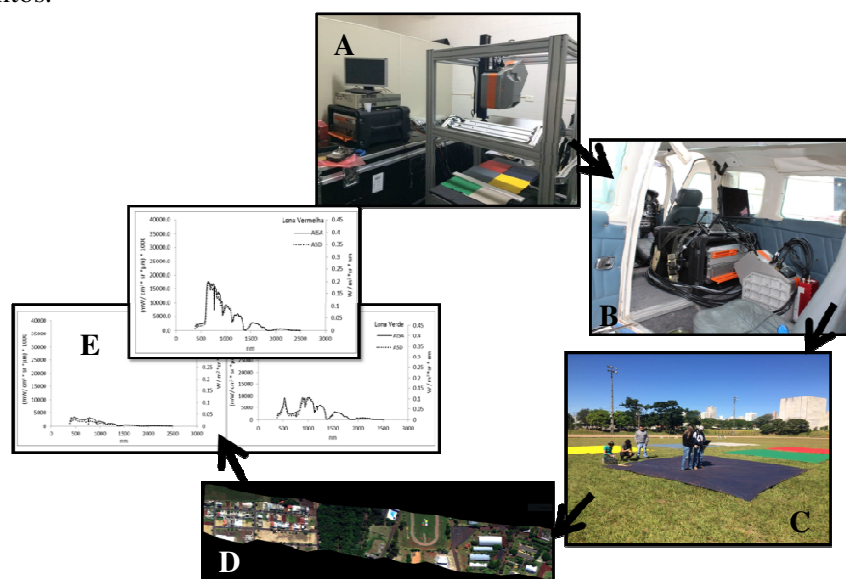


Figura 2: Fluxograma representativo das etapas de validação dos dados obtidos pelo sensor hiperespectral AisaFENIX.

Primeiramente, foram coletados dados de radiância de seis alvos distintos (lonas de vinil coloridas), em laboratório, utilizando os sensores AisaFENIX e espectrorradiômetro FieldSpec-3 (figura 2a). Após esta etapa, aerolevantamentos foram realizados com o sensor hiperespectral AisaFENIX (figura 2b). No mesmo instante em que os aerolevantamentos

estavam sendo realizados, dados dos seis alvos foram coletados a campo utilizando o espectroradiômetro (figura 2c). As imagens geradas pela AisaFENIX foram corrigidas geométrica e radiométricamente no software CaliGEO-PRO (figura 2d), sendo que os dados de radiância dos seis alvos, obtidos pelos dois sensores em ambiente controlado e a campo foram comparados, a fim de se validar os dados obtidos com o sistema aerotransportado (figura 2e).

Neste cenário, o presente experimento foi desenvolvido. As imagens adquiridas em anos distintos foram corrigidas radiométrica e geometricamente com o auxílio do software CaliGEO-PRO. Assim, foram coletadas dez leituras de radiância de cada alvo de cada imagem, sendo que cada leitura representava uma média de quatro pixels. Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente e os resultados são apresentados a seguir.

3. Resultados e Discussão

Com relação aos experimentos realizados anteriormente, as comparações entre os dados referentes às lonas coloridas obtidos com o sensor hiperespectral AisaFENIX e com o espectroradiômetro FieldSpec-3 demonstraram curvas de radiância extremamente semelhantes, sendo que os dados padrões (do espectroradiômetro a campo) comparados a dados da imagem obtida a 350 m de altitude com AisaFENIX, no ano de 2016, apresentaram coeficientes de correlação de 0,99 para as lonas vermelha, amarela, cinza claro e cinza escuro e 0,98 e 0,96 para os alvos azul e verde, respectivamente. Esses resultados demonstram a confiabilidade dos dados das imagens hiperespectrais e apresentam novas possibilidades para a utilização dos mesmos de forma contínua e detalhada na faixa de espectro do VIS-SWIR em inúmeras áreas.

Com essas constatações, os resultados do presente trabalho são apresentados. As imagens coletadas nos anos de 2015 e 2016 são demonstradas nas figuras 3 e 4.



Figura 3: Imagem da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e arredores, obtida com o sensor hiperespectral AisaFENIX no dia 22/02/2015. Em destaque, os seis alvos utilizados no presente estudo.

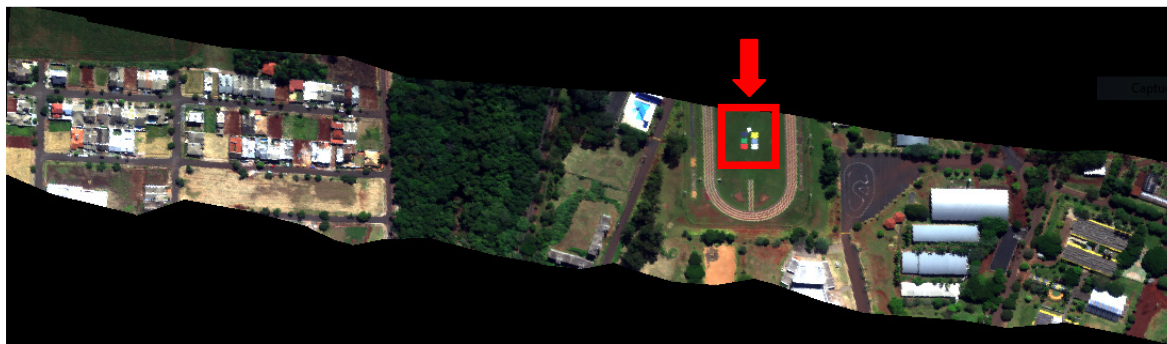


Figura 4: Imagem da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e arredores, obtida com o sensor hiperespectral AisaFENIX no dia 01/05/2016. Em destaque, os seis alvos utilizados no presente estudo.

Para avaliação temporal da integridade dos dados obtidos com o sistema hiperespectral aerotransportado, após calibrações anteriores aos voos, curvas de radiância dos seis alvos foram obtidas através das imagens acima, como demonstradas na figura 5.

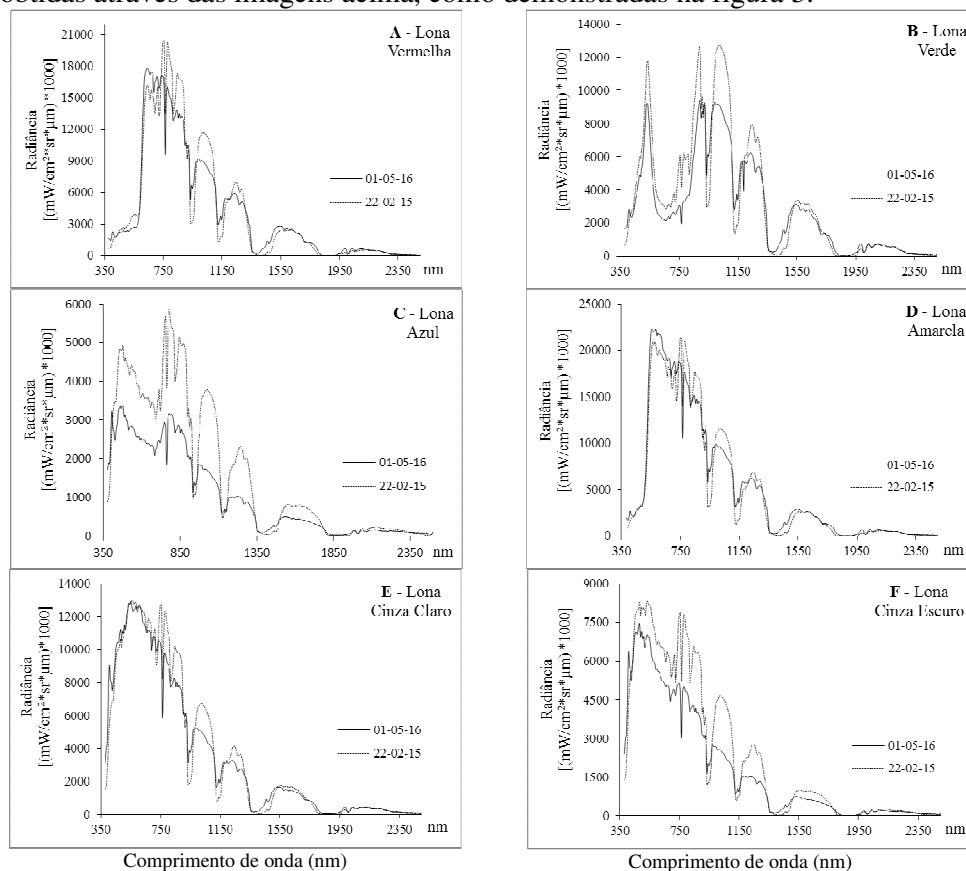


Figura 5: Curvas de radiância dos alvos: a) lona vermelha; b) lona verde; c) lona azul; d) lona amarela; e) lona cinza claro; f) lona cinza escuro; obtidas em datas distintas, 22/02/2015 e 01/05/2016, após calibrações do sensor hiperespectral AisaFENIX.

É possível notar grande semelhança entre as curvas obtidas em anos distintos. Dentre todos os alvos avaliados, as lonas verde, azul e cinza escuro foram as que apresentaram piores resultados para os coeficientes de determinação. No geral, todos os alvos apresentaram boas relações no período de um ano, aproximadamente (figura 6).

Contudo, diversas variações dos dados de radiância entre os anos foram significativas. As dez curvas de cada alvo, de ambos os anos, foram divididas em faixas, e cada faixa foi avaliada estatisticamente pelo teste F, como apresentado na tabela 2. Nota-se que os alvos que apresentaram coeficientes de determinação inferiores foram os mesmos alvos que apresentaram diferenças significativas, entre os anos, em todas as faixas do espectro (com exceção da lona verde na faixa do espectro violeta).

Tabela 2: Resultados dos testes F para comparação entre dados de radiância obtidos em dois anos, 2015 e 2016, de seis alvos distintos (lonas de vinil vermelha, verde, azul, amarela, cinza claro e cinza escuro), através de imagens geradas pelo sensor hiperespectral AisaFENIX.

Faixa do Espectro	p-valor (Teste F)					
	Lona Vermelha	Lona Verde	Lona Azul	Lona Amarela	Lona Cinza Claro	Lona Cinza Escuro
Violeta	0,00*	0,16 ^{ns}	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
Azul	0,00*	0,00*	0,00*	0,31 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,00*
Verde	0,00*	0,00*	0,00*	0,05*	0,38 ^{ns}	0,00*
Amarelo	0,07 ^{ns}	0,00*	0,00*	0,13 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,00*
Laranja	0,00*	0,00*	0,00*	0,18 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,00*
Vermelho	0,06 ^{ns}	0,00*	0,00*	0,27 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,00*
NIR	0,00*	0,00*	0,00*	0,01*	0,00*	0,00*
SWIR	0,62 ^{ns}	0,00*	0,00*	0,04*	0,00*	0,00*

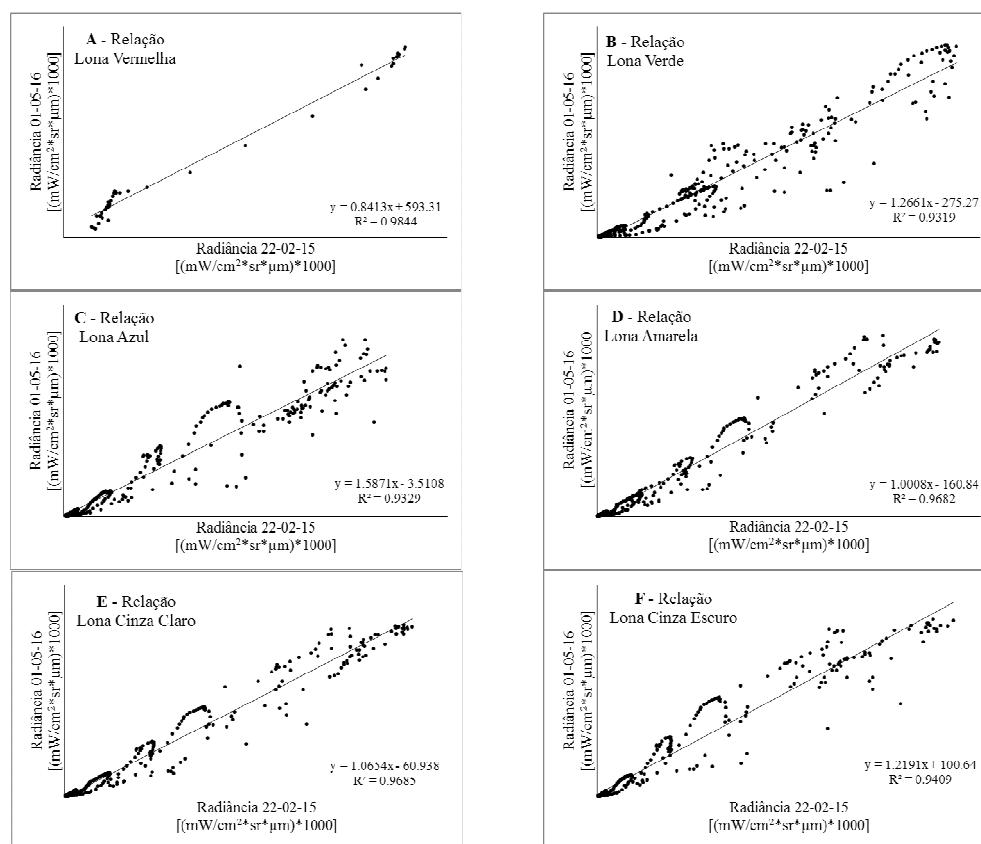


Figura 6: Relação entre os dados de radiância, equação da reta e coeficiente de determinação (R^2) dos alvos: a) lona vermelha; b) lona verde; c) lona azul; d) lona amarela; e) lona cinza



claro; f) lona cinza escuro; obtidos em datas distintas, 22/02/2015 e 01/05/2016, após calibração do sensor hiperespectral AisaFENIX.

Como os dados que foram avaliados neste experimento são referentes à radiância, essas diferenças significativas podem estar associadas às condições climáticas no momento da aquisição das imagens (tabela 1). Observou-se diferença de 15 % na umidade relativa do ar entre os dias 22/02/2015 e 01/05/2016, sendo possível que este ator tenha influenciado na intensidade da curva e a presença de ruídos. As duas calibrações realizadas antes dos aerolevantamentos garantiram albedos semelhantes de todos os alvos, demonstrando a importância do procedimento.

4. Conclusões

O presente estudo demonstra a importância do processo de calibração do sensor hiperespectral AisaFENIX para que se mantenha estável nas condições brasileiras de umidade e temperatura, refletindo em dados íntegros e confiáveis. Houve diferença significativa para a maioria das bandas e alvos entre os dois anos avaliados.

Agradecimentos

À Financiadora de Estudos e Pesquisa (FINEP) pelo apoio na aquisição do sensor hiperespectral AisaFENIX (convênios 01.12.0185.00 e 01.12.0469.00) e espectroradiômetro FieldSpec-3 (convênio 01.09.1567.00).

Bibliografia

Ben-Dor, E.; Schläpfer, D.; Plaza, A.J; Malthus, T. **Hyperspectral Remote Sensing, in Airborne Measurements for Environmental Research: Methods and Instruments**. Weinheim, Alemanha: John Wiley & Sons, 2013.

Chang, C. **Hyperspectral Imaging: Techniques for spectral detection and classification**. Nova York, EUA: Kluwer Academic Plenum Publishers, 2003.

Conselho Nacional de Pesquisa – EUA (National Research Council – NRC). **Earth science and its applications from space. National imperatives for the next decade and beyond**. Washington, D.C., EUA, 2007.

Goetz, A.F.H.. Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. S5-S16, 2009.

INMET/UEM – Instituto Nacional de Meteorologia/Universidade Estadual de Maringá. 2016. **Resumos meteorológicos**. Maringá, Brasil, 2016.