

AVALIAÇÃO DO PÁTIO DE AERONAVES DO AEROPORTO DE GUARATINGUETÁ COMO SÍTIO PARA CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA ABSOLUTA DA CÂMERA CCD / CBERS-1

PAULO EDUARDO UBALDINO DE SOUZA
FLÁVIO JORGE PONZONI

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{psouza, flavio}@ltid.inpe.br

Abstract. The study of natural resources involving quantitative approaches through remote sensing technology is only possible when the sensor radiometric characteristics are perfectly known. Vicarious calibration is one of the most efficient methods that has been explored for in-flight absolute calibration of orbital sensors, but requires careful selection of the reference site. An experimental study has been carried out in the ramp of airfield of Guaratinguetá-SP, where it is planned to establish a radiometric calibration site for CBERS satellites. This paper shows an evaluation method of the spectral uniformity of the site selected using in situ measurements and statistical analysis.

Keywords: absolute calibration, vicarious calibration.

1. Introdução

A calibração radiométrica absoluta *in situ* vem sendo utilizada com muito sucesso para os mais variados sensores orbitais (Thome, 2001), porém, o desconhecimento das características radiométricas da área de referência tem sido uma das maiores fontes de incertezas nos resultados da calibração (Slater et al., 1987).

Segundo Clark *et al.* (2001), antes da passagem do satélite é importante caracterizar o local de calibração com um radiômetro de campo. Este local pode mudar suas características radiométricas em um período muito curto de tempo, devido a chuvas ou crescimento de vegetação. Também é importante caracterizar as condições atmosféricas na hora da passagem (nuvens, névoa seca, aerossóis, pressão atmosférica, umidade relativa etc). Vento, posição do Sol e as sombras que incidem sobre o radiômetro também variam enquanto o operador se movimenta. A bateria do radiômetro perde carga e causa variação considerável de ganho e *offset* nos dados coletados. Mesmo que o radiômetro permaneça em perfeita calibração, a atmosfera não permanece constante. Portanto, é necessário realizar uma contínua medição das condições atmosféricas do local e intercalar as medições do alvo com as de uma placa de referência.

Segundo Thome (2001), um sítio de calibração ideal deve possuir uma reflectância maior que 30%, para reduzir os erros causados na determinação do espalhamento atmosférico; elevação superior a 1000m, onde a quantidade de aerossóis é reduzida; poucas variações sazonais, isto implica em áreas sem cobertura vegetal; deve ser plano, uniforme espectralmente, quase lambertiano e de fácil acesso.

A uniformidade espectral do local pode ser avaliada através da comparação dos valores observados em várias amostras do sítio. Quanto menos uniforme for a área, mais amostras devem ser coletadas. Esta característica se torna importante na medida em que aumenta a correlação entre os valores digitais obtidos no solo e os orbitais (Thome, 2001).

Este trabalho apresenta a metodologia utilizada na avaliação da homogeneidade radiométrica do pátio de aeronaves do aeroporto de Guaratinguetá-SP.

2. Materiais e métodos

A área selecionada é um retângulo de concreto de 60x200m, a 550m de altitude (**Figura 1**).



Figura 1 – Pátio do aeródromo de Guaratinguetá.

Dentro do pátio, foram selecionadas, inicialmente, 10 “células” de 18x20m, através de uma amostragem sistemática, representativas dos *pixels* da imagem CCD (**Figura 2**). Durante a coleta foram incluídas mais duas células na parte sul do pátio. Para melhor referenciá-las, as células foram numeradas de P1 a P12.

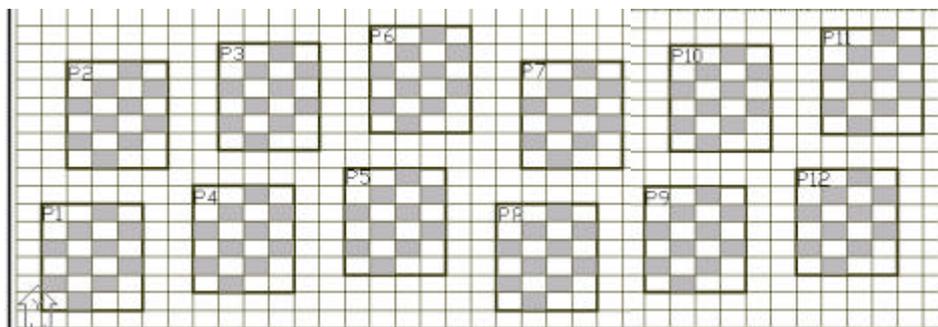


Figura 2 – Células de calibração.

As medições foram realizadas nos dias 27/05/02 e 13/08/02, das 09:45 às 10:30h (horário local), sem nuvens na vertical e visibilidade horizontal de 20 e 15km, respectivamente. Foram realizadas 10 medições sistemáticas, por célula, com o radiômetro *Fieldspec Handheld* atuando no intervalo espectral de 400nm a 1100nm. Entre uma célula e outra foi realizada uma medição da placa de referência.

Os dados coletados de cada célula foram integrados em 5 bandas, correspondentes às da câmera CCD (B1 - 450 a 520nm, B2 – 520 a 590nm, B3 – 630 a 690nm, B4 – 770 a 890nm e B5 – 510 a 730nm), e analisados estatisticamente através do aplicativo Splus 2000.

Para a avaliação da normalidade dos dados foi escolhido o teste de Kolmogorov-Smirnov. Inicialmente foi verificado se as 10 medições de cada célula possuíam uma distribuição Normal, para depois verificar a normalidade de todos os 120 valores juntos.

O Teste de homocedasticidade (igualdade de variâncias) de Bartlett foi utilizado para comparar o valor obtido com uma $X^2_{(1-\alpha; r-1)}$, onde ‘r’ é o número de tratamentos.

A igualdade de médias foi verificada através da aplicação da Análise de Variância (ANOVA), seguida da aplicação do Teste de Tuckey, quando da identificação de diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de ANOVA.

As células diferentes a 95% foram excluídas da área de calibração.

2. Resultados

Foram realizadas, no total, 120 medições do pátio, com o radiômetro *Fieldspec Handheld*. A **Figura 3** apresenta o espectro da reflectância média da área, onde se observa que os valores ficaram abaixo dos 30% sugeridos como mínimo ideal por Thome (2001).

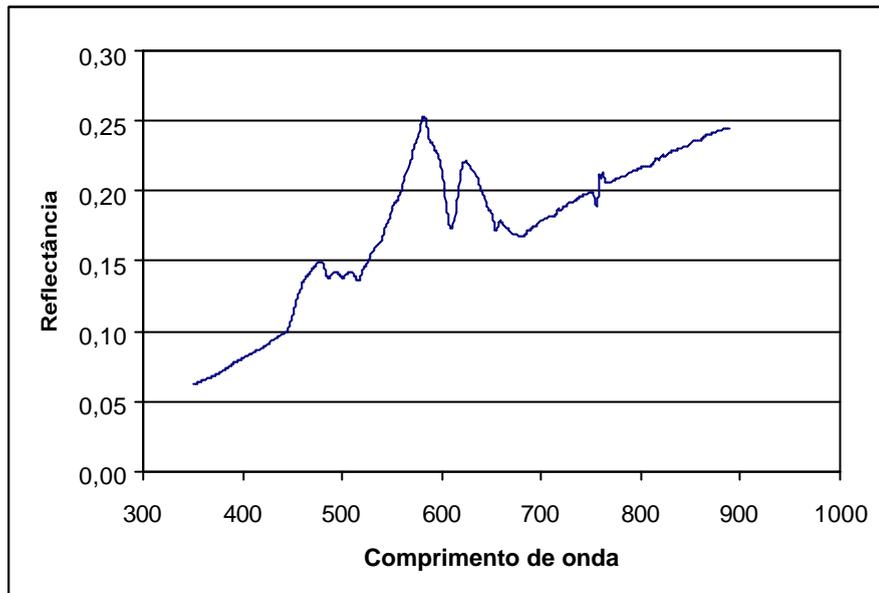


Figura 3 – Espectro de reflectância média do pátio de estacionamento de aeronaves.

O teste de Kolmogorov-Smirnov demonstrou que a célula P4 não apresentou uma distribuição normal, em nenhuma das bandas, conforme mostra a **Tabela 1**, portanto foi eliminado dos cálculos. A célula P11 só não apresentou normalidade na banda 5 (PAN) e foi mantido.

TABELA 1 – TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV POR CÉLULA.

| Banda | Pixel | Média | KS | P-Value | Banda | Pixel | Média | KS | P-Value |
|-----------|-----------|---------------|---------------|-----------------|-----------|-----------|---------------|---------------|-----------------|
| B1 | P1 | 0,1472 | 0,1180 | 0,5 | B2 | P1 | 0,1942 | 0,1204 | 0,5 |
| B1 | P2 | 0,1268 | 0,1389 | 0,5 | B2 | P2 | 0,1674 | 0,1884 | 0,5 |
| B1 | P3 | 0,1194 | 0,1622 | 0,5 | B2 | P3 | 0,1615 | 0,1850 | 0,5 |
| B1 | P4 | 0,1215 | 0,3016 | 0,010367 | B2 | P4 | 0,1670 | 0,3294 | 0,002901 |
| B1 | P5 | 0,1217 | 0,1552 | 0,5 | B2 | P5 | 0,1679 | 0,1743 | 0,5 |
| B1 | P6 | 0,1178 | 0,1319 | 0,5 | B2 | P6 | 0,1642 | 0,1669 | 0,5 |
| B1 | P7 | 0,1165 | 0,1656 | 0,5 | B2 | P7 | 0,1634 | 0,1595 | 0,5 |
| B1 | P8 | 0,1397 | 0,1715 | 0,5 | B2 | P8 | 0,1947 | 0,1532 | 0,5 |
| B1 | P9 | 0,1372 | 0,2572 | 0,059536 | B2 | P9 | 0,1912 | 0,2060 | 0,5 |
| B1 | P10 | 0,1233 | 0,1867 | 0,5 | B2 | P10 | 0,1739 | 0,1602 | 0,5 |
| B1 | P11 | 0,1176 | 0,2543 | 0,065983 | B2 | P11 | 0,1711 | 0,2564 | 0,061411 |
| B1 | P12 | 0,1258 | 0,1911 | 0,5 | B2 | P12 | 0,1802 | 0,1978 | 0,5 |

| Banda | Pixel | Média | KS | P-Value | Banda | Pixel | Média | KS | P-Value |
|-----------|-----------|---------------|---------------|-----------------|-----------|------------|---------------|---------------|-----------------|
| B3 | P1 | 0,2204 | 0,1211 | 0,5 | B5 | P1 | 0,2121 | 0,1202 | 0,5 |
| B3 | P2 | 0,1885 | 0,1817 | 0,5 | B5 | P2 | 0,1826 | 0,1972 | 0,5 |
| B3 | P3 | 0,1800 | 0,1763 | 0,5 | B5 | P3 | 0,1741 | 0,1860 | 0,5 |
| B3 | P4 | 0,1815 | 0,3354 | 0,002165 | B5 | P4 | 0,1773 | 0,3316 | 0,002604 |
| B3 | P5 | 0,1831 | 0,1781 | 0,5 | B5 | P5 | 0,1787 | 0,1751 | 0,5 |
| B3 | P6 | 0,1763 | 0,1419 | 0,5 | B5 | P6 | 0,1731 | 0,1841 | 0,5 |
| B3 | P7 | 0,1729 | 0,1465 | 0,5 | B5 | P7 | 0,1713 | 0,1415 | 0,5 |
| B3 | P8 | 0,2017 | 0,1685 | 0,5 | B5 | P8 | 0,2005 | 0,1536 | 0,5 |
| B3 | P9 | 0,1932 | 0,2065 | 0,5 | B5 | P9 | 0,1943 | 0,2048 | 0,5 |
| B3 | P10 | 0,1816 | 0,1944 | 0,5 | B5 | P10 | 0,1808 | 0,1947 | 0,5 |
| B3 | P11 | 0,1719 | 0,2571 | 0,059785 | B5 | P11 | 0,1744 | 0,2740 | 0,032081 |
| B3 | P12 | 0,1760 | 0,2559 | 0,062507 | B5 | P12 | 0,1802 | 0,2416 | 0,5 |
| B4 | P1 | 0,2907 | 0,1236 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P2 | 0,2550 | 0,1880 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P3 | 0,2483 | 0,1584 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P4 | 0,2473 | 0,3161 | 0,00542 | | | | | |
| B4 | P5 | 0,2502 | 0,2113 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P6 | 0,2405 | 0,1862 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P7 | 0,2410 | 0,2247 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P8 | 0,2619 | 0,1683 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P9 | 0,2494 | 0,1754 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P10 | 0,2508 | 0,1839 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P11 | 0,2353 | 0,1829 | 0,5 | | | | | |
| B4 | P12 | 0,2327 | 0,1725 | 0,5 | | | | | |

Pelo teste de Kolmogorov-smirnov, nos 120 pontos de medição, todas as bandas apresentaram uma distribuição Normal (**Tabela 2**).

Como $X^2_{(0,95; 11)}$ é igual a 19,675 e todos os valores obtidos na **Tabela 2** estão abaixo deste valor, o teste de Bartlett concluiu que as variâncias são iguais entre si.

Porém, a análise de variância mostrou que nenhuma Banda possui todas as médias iguais entre si (para um α de 0,05).

TABELA 2 – TESTES DE KOLMOGOROV-SMIRNOV E BARTLETT POR BANDA.

| Banda | Média | Variância | KS | P-value (KS) | Bartlett | P-value (ANOVA) |
|-------|--------|-----------|--------|--------------|----------|-------------------|
| B1 | 0,1388 | 0,000108 | 0,0649 | 0,5 | 9,91 | 0,00000009 |
| B2 | 0,1979 | 0,000202 | 0,0600 | 0,5 | 9,11 | 0,00000709 |
| B3 | 0,1812 | 0,000139 | 0,0615 | 0,5 | 10,75 | 0,00000166 |
| B4 | 0,2270 | 0,000116 | 0,0606 | 0,5 | 11,01 | 0,00000015 |
| B5 | 0,1893 | 0,000159 | 0,0461 | 0,5 | 9,81 | 0,00001235 |

Para localizar dentro de cada banda quais as células que possuíam média diferente, foi realizado o Teste de Tukey. As **Figuras de 4 a 8** apresentam os gráficos gerados pelo aplicativo “Splus 2000”, onde as médias são comparadas duas a duas. Os intervalos que estão fora da linha central indicam que as duas médias são diferentes entre si.

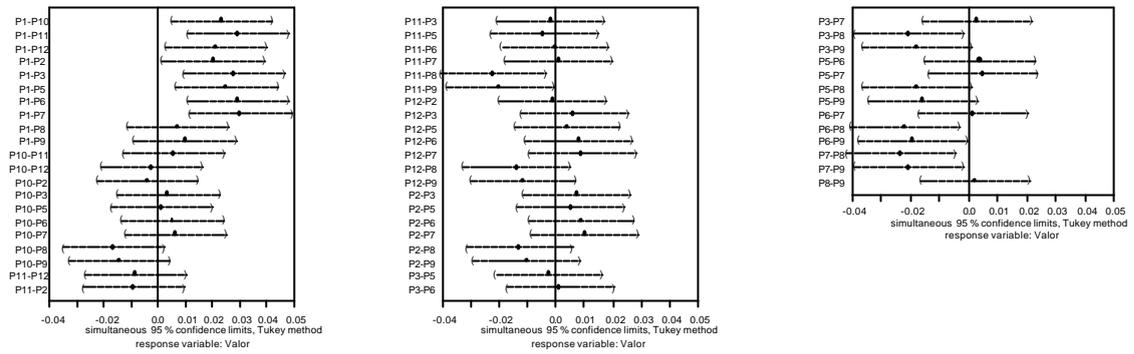


Figura 4 – Teste de Tukey (Banda 1).

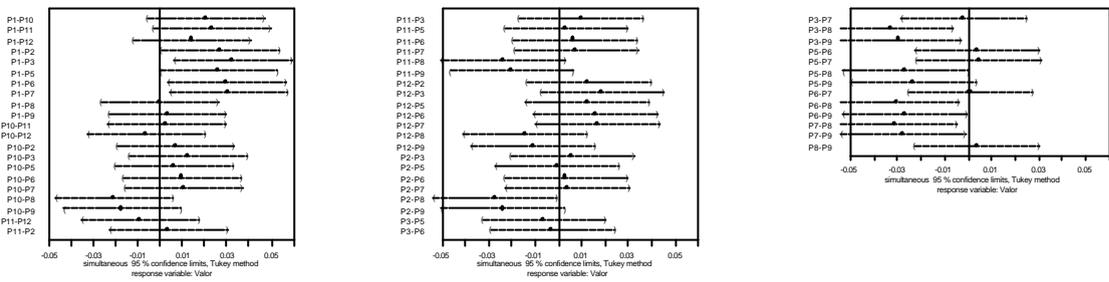


Figura 5 – Teste de Tukey (Banda 2).

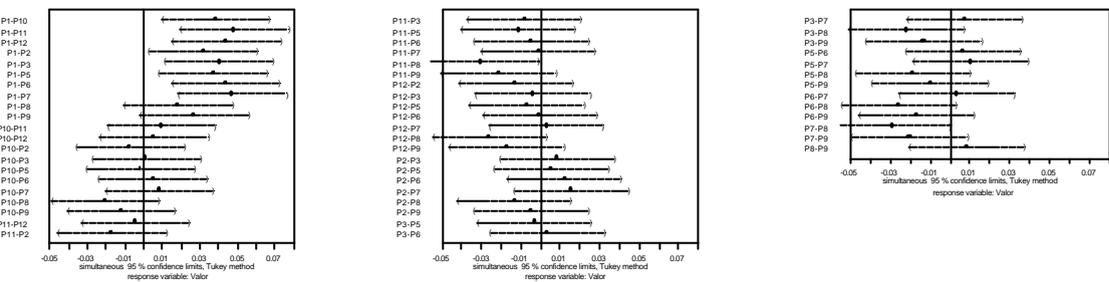


Figura 6 – Teste de Tukey (Banda 3).

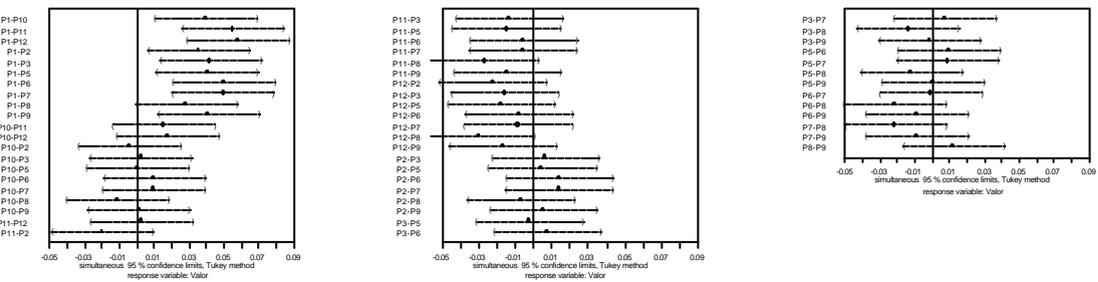


Figura 7 – Teste de Tukey (Banda 4).

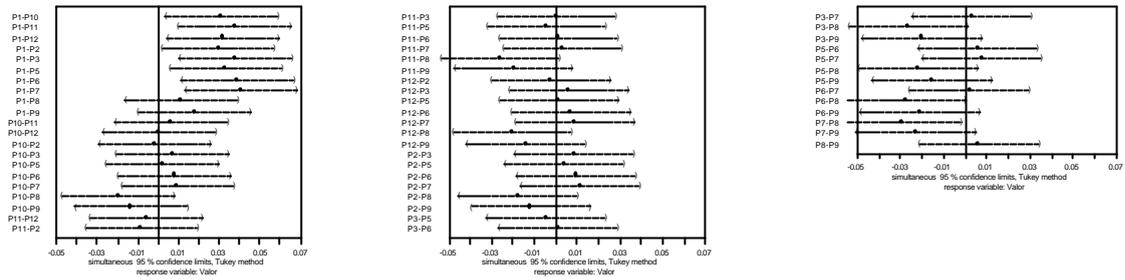


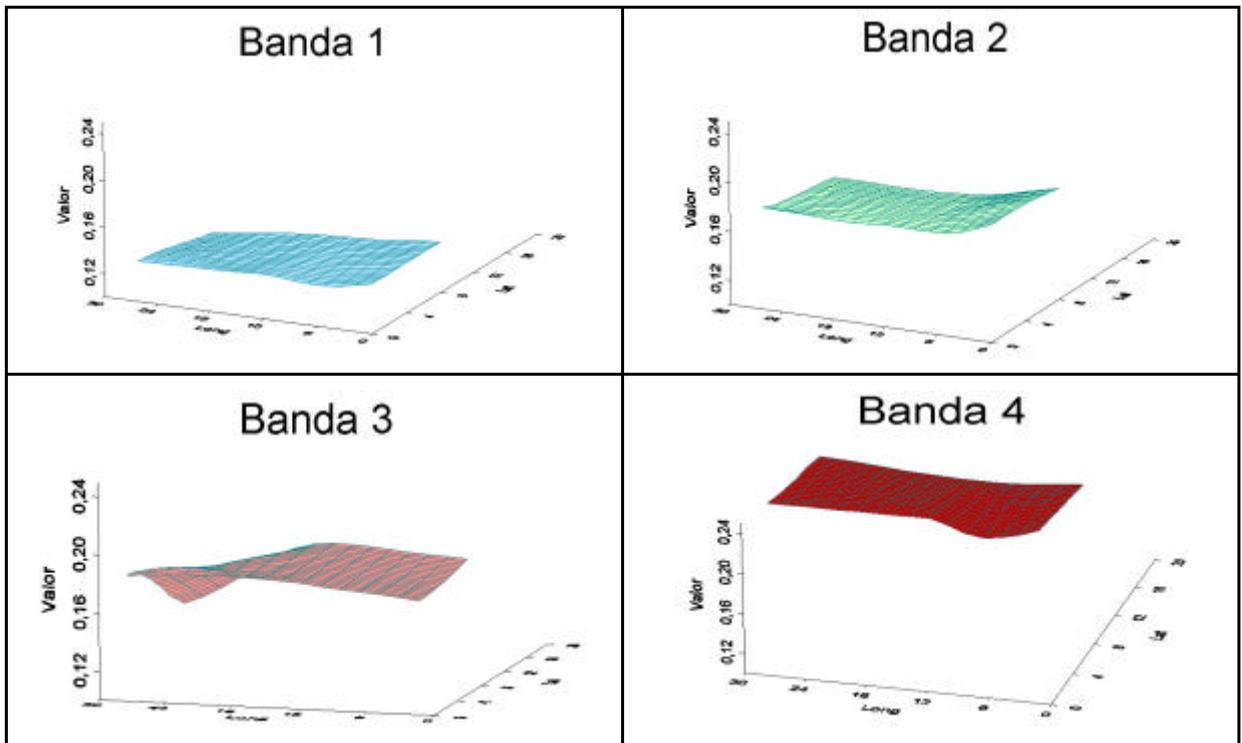
Figura 8 – Teste de Tukey (Banda 5).

A análise dos resultados do teste de Tukey revelou que as células P1, P8 e P9 diferem a 5% do conjunto. Para um nível de significância de 0,05, o *p-value* da ANOVA deve ser maior que 0,05, a Tabela 3 mostra os *p-values* obtidos com e sem estas células.

TABELA 3 – P-VALUES OBTIDOS NAS ANOVAS, RETIRANDO-SE AS CÉLULAS CITADAS.

| Banda | Nenhuma | P1 | P1 e P8 | P1, P8 e P9 |
|-------|------------|--------|--------------|-----------------|
| B1 | 0,00000009 | 0,0002 | 0,014 | 0,672859 |
| B2 | 0,00000709 | 0,0001 | 0,009 | 0,510218 |
| B3 | 0,00000166 | 0,0158 | 0,244 | 0,734671 |
| B4 | 0,00000015 | 0,0248 | 0,149 | 0,227838 |
| B5 | 0,00001235 | 0,0095 | 0,213 | 0,926204 |

A Figura 9, onde são apresentados os gráficos com os valores de reflectância média das células medidas, por banda espectral, dá uma noção da uniformidade radiométrica do pátio.



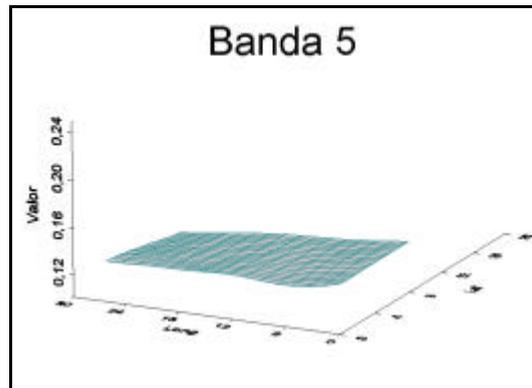


Figura 9 – Gráficos de reflectância do pátio de Guaratinguetá.

Nas bandas 1 e 5 a superfície se apresentou relativamente homogênea, porém a reflectância média estava abaixo de 20%. A banda 2 foi a que apresentou maior variância entre as cinco bandas. Na banda 3, houve uma queda acentuada da reflectância em uma das bordas (a sudoeste do pátio), onde o concreto se apresentava visualmente escuro. Esta mesma queda não ocorreu nas bandas 1 e 2, já a banda 4 apresentou uma pequena elevação naquela região. Este comportamento sugere influência de algum elemento sobre a superfície, imperceptível a olho nu, mas sugerindo presença de elementos fotossintetizantes. Esta região foi excluída da área a ser utilizada na calibração do sensor. A reflectância média da banda 4 foi de 22%, acima, portanto, da reflectância das demais bandas, no entanto, também foi a que apresentou menor uniformidade radiométrica.

3. Conclusões

Este estudo apresentou uma primeira análise da homogeneidade radiométrica da superfície do pátio do aeroporto de Guaratinguetá-SP.

Os resultados demonstraram que grande parte da superfície analisada é radiometricamente uniforme nas bandas da CCD/CBERS-1.

A baixa reflectância do pátio exigirá uma maior atenção com a correção atmosférica durante a campanha de calibração do satélite, porém não inviabilizará sua utilização como sítio de calibração absoluta daquele sensor.

Esta metodologia pode ser utilizada para se caracterizar outras áreas ao longo do país e possibilitar a utilização de sítios próximos aos pesquisadores que necessitem destes, para a realização de seus trabalhos.

Referências

Clark, R.N., Swayze, G., King, T.V.V., Livo, K.E., Kokaly, R.F., Dalton, J.B., Vance, J.S., Rockwell, B.W. and McDougal, R.R. Surface reflectance calibration of terrestrial imaging spectroscopy data: a tutorial using AVIRIS. Disponível em <<http://speclab.cr.usgs.gov/PAPERS.calibration.tutorial/calibntA.html>>. Acesso em: 10 Out. 2001.

Slater, P.N., Biggar, S.F., Holm, R.G., Jackson, R.D., Mao, Y., Moran, M.S., Palmer, J.M. and Yuan, B. Reflectance- and radiance-based methods for the in-flight absolute calibration of multispectral scanners. *Remote Sensing of Environment*, v. 22, p. 11-37, 1987.

Thome, K. J. Absolute radiometric calibration of Landsat 7 ETM+ using the reflectance-based method. *Remote Sensing of Environment*, v. 78, p. 27-38, 2001.