

ISA 2013/2014
Unidades curriculares Geomática e SIGDR

Análise de imagens multiespectrais, pré-processamento, estimação de reflectâncias nas bandas e de temperaturas à superfície.

Objectivos: Visualização e interpretação de imagens multiespectrais. Correções radiométricas. Estimação dos valores de reflectância da superfície nas várias bandas do sensor com técnicas expeditas de calibração das imagens e correção do efeito da atmosfera. Estimação da temperatura à superfície a partir da banda térmica do sensor Landsat5-TM.

Dados em \\dSPACE\home\cadeiras\Geomatica\geom1314\aula_DR_alqueva:

1. Na pasta **bandas** estão recortes de uma imagem multiespectral Landsat 5 TM (7 bandas) da região do Alqueva obtida a 20 de Maio de 2010 às 10h59. As bandas 1, 2 e 3 são da região do visível (azul, verde, vermelho respectivamente), a banda 4 correspondente ao infravermelho próximo, e as bandas 5 e 7 são de infravermelho médio. Cada banda é denominada **20100520_bx.tif** (formato GeoTIFF), em que **x** é o número da banda. A banda 6 (banda térmica) foi convertida de uma resolução espacial original de 120 m para a resolução espacial das outras bandas (30 m) sem alteração dos valores. Os metadados da imagem multiespectral estão nos ficheiros L5203033_03320100520_GCP.txt (resultados da georeferenciação com pontos de controlo) e L5203033_03320100520_MTL.txt (diversos parâmetros da imagem). A imagem foi obtida em <http://earthexplorer.usgs.gov/>.
2. Uma composição (“raster stack”) das 7 bandas designada por **bandas.tif**.
3. Um modelo digital de elevações da mesma região (prévio ao enchimento da albufeira) **MDE90** e um cdg matricial **cosi30** com resolução espacial de 30m com valores aproximados do *coseno do ângulo de incidência zenital*, função da posição do sol no momento de aquisição das imagens, do declive e da orientação do terreno.

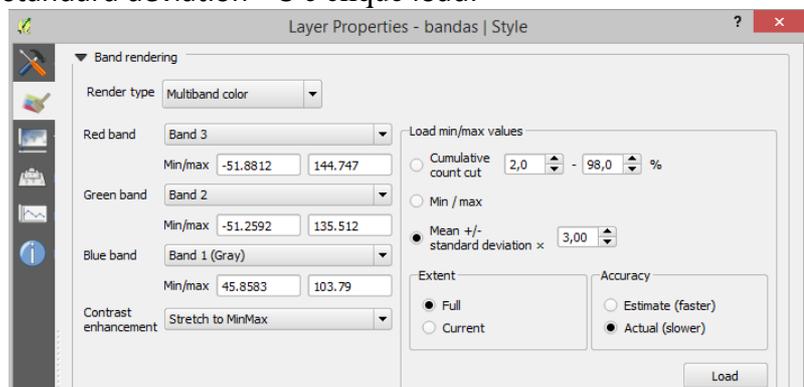
Parte 1: Definição de composição colorida e análise exploratória das imagens

1. Copiar a pasta **aula_DR_alqueva**
2. Observar as primeiras linhas do ficheiro que contém os erros posicionais dos pontos de controlo **L5203033_03320100520_GCP.txt** :

Point_ID	Latitude	Longitude	Height	Across Scan	Along Scan	Residual in y dir	Residual in x dir
				Residual	Residual		
	(deg)	(deg)	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)	(meters)
2030330002	38.506972	-6.706399	576.142	2.000	2.206	1.606	2.505
2030330006	38.456728	-7.533790	276.686	-1.224	5.580	-2.130	5.297
2030330012	39.282273	-7.642292	277.660	2.459	-1.984	2.750	-1.551
2030330014	38.457048	-6.656071	809.502	-0.739	4.533	-1.477	4.343
2030330016	38.470434	-7.760819	259.049	5.299	2.420	4.821	3.262
2030330021	38.149433	-6.550592	646.588	3.634	-0.679	3.693	-0.065
2030330022	38.141277	-6.866797	465.136	2.014	3.054	1.478	3.344
...							

O que pode concluir sobre a precisão na georreferenciação das imagens?

3. Abrir ficheiro **Alqueva.qgs**
4. A “pilha” de imagens em **bandas.tif** segue a ordem das bandas do sensor, i.e. a primeira imagem (bandas@1) é **20100520_b1**, a segunda (bandas@2) é **20100520_b2**, e assim sucessivamente. Em propriety/style do layer bandas pode estabelecer a composição colorida. Comece por observar a composição colorida em “cor verdadeira” RGB=321 seleccionando as bandas associadas aos três canais RGB a ajustando o contraste em propriety/style; escolha Mean+-standard deviation = 3 e clique load:

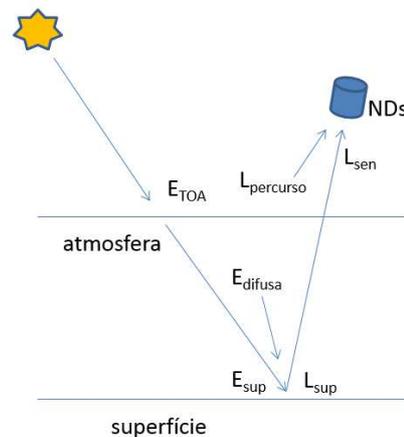


5. Alterar composição para “falsa cor” RGB=432 em propriety/style desse layer (clique em load para ajustar o contraste). A que tipo de coberto correspondem as zonas mais avermelhadas na imagem resultante? Compare as imagens de satélite com resolução espacial de 30m com a imagens de alta resolução disponíveis com o plugin OpenLayers. Verifique que é possível identificar alguns objectos no terreno na composição em falsa cor das imagens de satélite (por exemplo estradas, pivots de rega, faixas de vegetação, zonas urbanas, etc) apesar da grande diferença de resolução espacial.
6. Com a ferramenta “identify results”  clique sobre o layer **bandas** para obter padrões de números digitais de vários pixels. Verifique que a banda 6 toma valores bastante constantes (em redor de 125 sobre a água e de 155 sobre o solo).

7. Compare as imagens **20100520_b4** e **20100520_b6**. Justifique o facto da imagem da banda 6 ser muito mais homogénea do que a imagem da banda 4.
8. Use **20100520_b4** para determinar de forma expedita um valor aproximado para a área da parte inundada da albufeira visível na imagem. Como deve proceder? (Sugestão: observe o histograma para a banda 4 e proceda a uma reclassificação).

Parte 2. Conversão de números digitais em reflectâncias

A conversão de valores no sensor, também designados por números digitais (dados não pré-processados radiometricamente, como os dados Landsat descarregados de <http://earthexplorer.usgs.gov/>) para estimativas de reflectância à superfície pode ser feita numa sequência de operações ilustrada pela figura abaixo.



Parte 2.1 Converter números digitais (NDs) em radiâncias no sensor (L_{sen}).

O ficheiro L5203033_03320100520_MTL.txt de metadados contém, entre outra, a seguinte informação:

LMAX_BAND1 = 193.000	QCALMAX_BAND1 = 255.0
LMIN_BAND1 = -1.520	QCALMIN_BAND1 = 1.0
LMAX_BAND2 = 365.000	QCALMAX_BAND2 = 255.0
LMIN_BAND2 = -2.840	QCALMIN_BAND2 = 1.0
LMAX_BAND3 = 264.000	QCALMAX_BAND3 = 255.0
LMIN_BAND3 = -1.170	QCALMIN_BAND3 = 1.0
LMAX_BAND4 = 221.000	QCALMAX_BAND4 = 255.0
LMIN_BAND4 = -1.510	QCALMIN_BAND4 = 1.0
LMAX_BAND5 = 30.200	QCALMAX_BAND5 = 255.0
LMIN_BAND5 = -0.370	QCALMIN_BAND5 = 1.0
LMAX_BAND6 = 15.303	QCALMAX_BAND6 = 255.0
LMIN_BAND6 = 1.238	QCALMIN_BAND6 = 1.0
LMAX_BAND7 = 16.500	QCALMAX_BAND7 = 255.0
LMIN_BAND7 = -0.150	QCALMIN_BAND7 = 1.0

Esses valores são coeficientes de calibração para converter número digitais das imagens em valores de radiância espectral. A conversão é realizada em cada banda de acordo com a expressão:

$$\begin{aligned} L_{\text{sensor}} &= L_{\text{MIN}} + ((L_{\text{MAX}} - L_{\text{MIN}}) / (Q_{\text{CALMAX}} - Q_{\text{CALMIN}})) * (\text{DN} - Q_{\text{CALMIN}}) \\ &= L_{\text{MIN}} - ((L_{\text{MAX}} - L_{\text{MIN}}) / (Q_{\text{CALMAX}} - Q_{\text{CALMIN}})) * Q_{\text{CALMIN}} + \\ &\quad + ((L_{\text{MAX}} - L_{\text{MIN}}) / (Q_{\text{CALMAX}} - Q_{\text{CALMIN}})) * \text{DN} \\ &= \mathbf{B + G * DN}. \quad (\text{A relação entre } L_{\text{sensor}} \text{ e DN é linear}) \end{aligned}$$

Em que DN é o número digital na imagem (valor do pixel), Q_{CALMIN} e Q_{CALMAX} são os extremos da gama de número digitais que as imagens podem ter, e L_{MAX}, L_{MIN} (W/m²/sr/μm) dependem das bandas. L_{sensor} é a radiância espectral em W/m²/sr/μm.

1. Usar raster calculator para determinar as imagens de radiâncias espectrais “no sensor”: por exemplo, criar novo raster **Lsen_banda4** com a expressão

$$- 1.51 + ((221.0 + 1.51) / (255 - 1)) * (\text{"bandas@4"} - 1)$$

Proceda de forma análoga para a banda 6 para criar o cdg **Lsen_banda6** através da expressão

$$1.238 + ((15.303 - 1.238) / (255 - 1)) * (\text{"bandas@6"} - 1)$$

Por que razão o valor máximo possível de radiância no sensor é muito mais elevado para a banda 4 (221 W/m²/sr/μm) do que para a banda 6 (15.303 W/m²/sr/μm)? Verifique o cdg **Lsen_banda4** toma de facto valores muito mais elevados do que o cdg **Lsen_banda6**.

Parte 2.2: Estimar a radiância de percurso L_{percurso} para as bandas 1 a 4 usando a técnica do objecto escuro

A técnica do “objecto escuro” pode aplicar-se em imagens em que existem áreas que absorvem a maior parte da radiação incidente, como sejam áreas cobertas por água suficientemente profunda. A região de estudo tem esse tipo de condições. Dado que uma zona de água profunda deveria ter uma radiância próxima de zero, o valor mínimo observado na banda constitui uma estimativa da radiância de percurso, ou seja, do fluxo radiante que sofre dispersão atmosférica e atinge o sensor sem ser reflectido pela superfície. Como o efeito de dispersão atmosférico diminui com o comprimento de onda, apenas as bandas 1 a 4 sofrem esse efeito.

1. Verificar que o valor mínimo para o cdg **Lsen_banda4** é de 2.87 (W/m²/sr/μm).

Usando a calibração descrita na Parte 2 do exercício, os valores mínimos seriam respectivamente 39.06, 24.67, 13.44, **2.87**, -0.24 e -0.01 W/m²/sr/μm para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7. Nota: Dado que valores negativos são artifícios da calibração realizada na Parte 2, apenas as bandas 1 a 4 exibem o efeito da radiância de percurso com valores estimados de, respectivamente, 39.06, 24.67, 13.44, e 2.87 W/m²/sr/μm.

Parte 2.3: Estimar a radiância “à superfície” L_{sup} (excepto banda 6)

A radiância à superfície em cada banda pode ser estimada através da expressão

$$L_{\text{sensor}} = L_{\text{sup}} * \tau_v + L_{\text{percurso}}$$

em que τ_v é a transmitância atmosférica (adimensional) em cada banda na direcção do sensor. A transmitância depende das condições atmosféricas e do comprimento de onda mas, como aproximação, pode usar-se os seguintes valores médios para as bandas Landsat-5 TM para um dia de céu limpo: 0.73 (banda 1); 0.79 (banda 2); 0.85 (banda 3); 0.91 (banda 4); 0.95 (banda 5) e 0.97 (banda 7). O valor de L_{percurso} é o descrito na Parte 2.2 do exercício.

1. Determine a imagem de radiâncias “à superfície” para a banda 4 da imagem usando a expressão abaixo e designe-a por **Lsup_banda4**:

$$("Lsen_banda4@1" - 2.87) / 0.91$$

Parte 2.4: Calcular a irradiância no “topo da atmosfera” E_{TOA} para cada banda (excepto banda 6)

As irradiâncias exoatmosféricas médias são denotadas por E_{TOA} . Para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 do sensor Landsat 5 TM as irradiâncias exoatmosféricas espectrais são respectivamente 1983, 1796, 1536, 1031, 220 e 83.44 W/m²/μm (Markham, Chandler e Helder 2009) quando a Terra e o sol estão à distância média. Estes valores devem ser divididos por d^2 , em que d é a distância ao sol no dia de aquisição da imagem (em unidades astronómicas, adimensional). Dado que a imagem é de 20 de Maio (dia juliano 140), então $d=1.012$.

1. Calcular o valor de irradiância espectral no topo da atmosfera E_{TOA} para a banda 4, considerando o valor $d=1.012$ para o dia 20 de Maio (realizar numa calculadora: o valor obtido deverá ser 1006.7 W/m²/μm)

Parte 2.5: Estimar a irradiância à superfície E_{sup} , função do pixel e da banda (excepto banda 6)

A irradiância à superfície é estimada por

$$E_{\text{superficie}} = E_{\text{TOA}} * \cos \theta_i * \tau_s + E_{\text{DIF}} \quad (\text{W/m}^2/\mu\text{m})$$

em que θ_i é o ângulo de incidência em cada local e depende da posição do sol e do declive do terreno, τ_s é a transmitância atmosférica na direcção do sol (pode usar-se os valores de τ_v da Parte 2.3 como aproximação) e E_{DIF} é a contribuição da radiação difusa que atinge a parcela de terreno. Uma estimativa grosseira de E_{DIF} é dada por $0.1 * E_{\text{TOA}}$ para a banda 1, $0.05 * E_{\text{TOA}}$ para a banda 2 e $0.01 * E_{\text{TOA}}$ para a banda 3, e 0 para as restantes bandas.

A posição do sol relativamente ao centro da imagem é indicada no ficheiro de metadados ficheiro L5203033_03320100520_MTL.txt nas linhas
SUN_AZIMUTH = 129.0211156

SUN_ELEVATION = 63.4039568

- Os cosenos dos ângulos de incidência foram determinados aproximadamente a partir de um modelo digital de elevações e da posição do sol (usando a função Terrain analysis/Hillshade) e foram corrigidos para a localização da albufeira; estão disponíveis no cdg **cosi30**. Verifique que os valores variam entre 0.67 e 0.968 e que os valores mais elevados correspondem às zonas mais iluminadas (encostas viradas a sudeste) na altura da obtenção das imagens.

Nota: dado o modelo digital de elevações ser o SRTM (obtido no ano 2000) e o enchimento da albufeira ter ocorrido posteriormente, o modelo digital do terreno representa as elevações anteriormente ao enchimento.

Calcule um novo cdg **Esup_b4** com os valores estimados de E_{sup} para a banda 4 usando a expressão $1006.7 * "cosi30@1" * 0.91$.

Parte 2.6: Estimar as reflectâncias (excepto banda 6)

A reflectância (adimensional) pode finalmente ser estimada pela relação abaixo – apenas válida em rigor para superfícies lambertianas:

$$\rho = \pi * L_{sup} / E_{sup}$$

- Determine um cdg **ref_b4** com os valores de reflectância estimada na banda 4.

Observação: Combinando todas as expressões usadas atrás, a reflectância para cada banda poderia ser directamente escrita como:

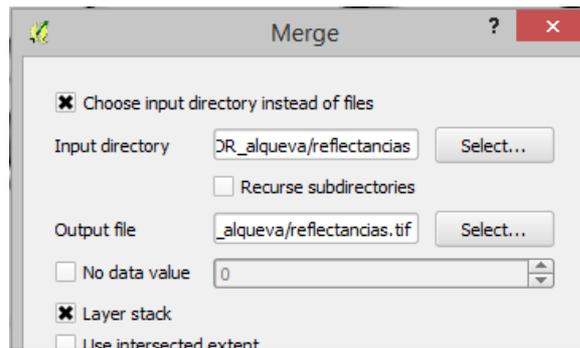
$$\rho = \pi * (B + G * DN - L_{percurso}) / [\tau_v * (E_{TOA} * \tau_s * \cos \theta_i + E_{DIF})]$$

banda	B (bias)	G (ganho)	$L_{percurso}$	$\tau_v = \tau_s$	E_{solar}	E_{TOA}	E_{DIF}
1	-2.29	0.76583	39.06	0.73	1983	1936.3	193.6
2	-4.29	1.44819	24.67	0.79	1796	1753.7	87.7
3	-2.21	1.04398	13.44	0.85	1536	1499.8	15
4	-2.39	0.87602	2.87	0.91	1031	1006.7	0
5	-0.49	0.12035	0	0.95	220	214.8	0
7	-0.22	0.06555	0	0.97	83.4	81.4	0

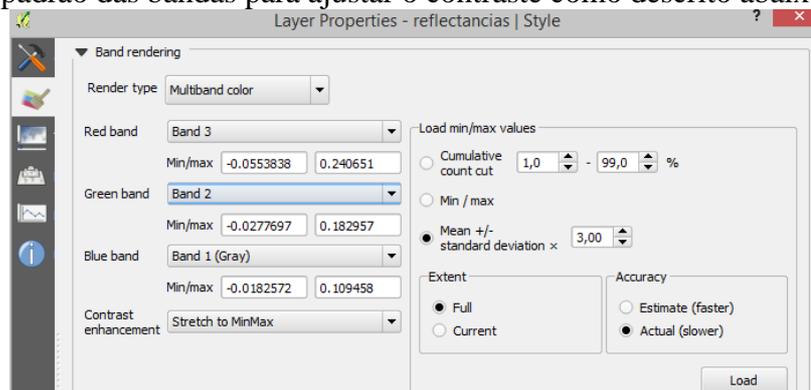
Tabela: Parâmetros para estimação das reflectâncias a partir dos números digitais.

Parte 3: Construir uma composição colorida das reflectâncias nas bandas

- Os cálculos descritos acima foram efectuados para obter os cdg **ref_b1**, **ref_b2**, **ref_b3**, **ref_b4**, **ref_b5** e **ref_b7** disponíveis na pasta **reflectancias**. Construa um ficheiro em formato GeoTIFF que contém a “pilha” de imagens de reflectância: use a função Merge no menu Raster/Miscellaneous e escolha como input a pasta reflectâncias e como output **reflectancias.tif**. Indique que pretende um “stack”.



2. Crie uma composição em cor verdadeira das reflectâncias usando a média e o desvio padrão das bandas para ajustar o contraste como descrito abaixo:



3. Crie agora uma composição colorida RGB=432 das reflectâncias e compare com a composição sobre as bandas originais da imagem obtida na parte 1.5. Observe em particular as zonas com relevo mais variável (por exemplo, Monsaraz). Comente.
4. Construa uma composição colorida das reflectâncias RGB=742 (nota: como a banda 7 do sensor é agora a 6ª camada da pilha, deve escolher Band 6 para R) e compare com a composição das reflectâncias da alínea anterior. Verifique que são agora as zonas artificializadas e as zonas de solo descoberto que se destacam mais.
5. Com a ferramenta “identify results”  clique sobre o layer **reflectâncias** para obter as assinaturas espectrais estimadas de vários pixels. Clique sobre uma **zona de solo descoberto**, um **pivot de rega**, **água**, **zona urbana**, **zona florestal** e compare as assinaturas espectrais para cada caso.

Parte 4: Calcular o índice de vegetação NDVI a partir das reflectâncias

O índice NDVI é definido como a razão $(IVP-V)/(IVP+V)$ em que IVP é a reflectância na banda do infravermelho próximo e V é a reflectância na banda correspondente à região espectral do vermelho.

1. Determine o NDVI para a imagem multispectral **reflectancias.tif** e represente a layer resultante numa escala de cores de vermelho (valores mais baixos de NDVI) a verde (valores mais altos).
2. Verifique que valores altos de NDVI ocorrem em zonas com vegetação com grande vigor vegetativo (e.g. pivot de rega) e em zonas urbanas ou de solo descoberto. Porque razão a zona da albufeira não parece homogénea na

imagem NDVI? Relacione este facto com os valores mínimos observados de de V e IVP.

3. Determine as zonas que satisfazem o seguinte critério: *NDVI abaixo de 0.25 e reflectância na região do infravermelho próximo superior a 0.35*. Verifique que as regiões seleccionadas correspondem a povoações e a zonas de solo descoberto. Explique por que razão se obtém esse resultado.

Parte 5: Estimar a temperatura da superfície usando a banda 6

Para determinar um mapa de temperaturas a partir da banda térmica do sensor, é preciso converter o valor da radiância espectral obtida na Parte 2 (layer **Lsen_banda6**) em temperatura (a descrição detalhada do procedimento está disponível em http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat_DN_to_Kelvin.pdf).

Tendo em consideração o efeito da atmosfera, a conversão é feita em 3 passos:

- (I) O valor de radiância espectral à superfície é calculada como

$$L_{\text{superfície}} = (L_{\text{sensor}} - L_{\text{up}}) / \tau_v - (1 - \epsilon) * L_{\text{down}} \quad (\text{W/m}^2/\text{sr}/\mu\text{m})$$

Em que ϵ é a emissividade da superfície (supor que $\epsilon=0.98$), τ_v é a transmitância atmosférica, e L_{up} e L_{down} são respectivamente as componentes da radiância atmosférica que atingem o sensor e o terreno. Os valores destes parâmetros dependem das condições atmosféricas. Valores estimados dos parâmetros τ_v , L_{up} , e L_{down} em função do momento de aquisição da imagem e da localização podem ser obtidos em <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>. Para a imagem do exercício os valores obtidos são:

Band average atmospheric transmission: 0.81
Effective bandpass upwelling radiance: 1.44 W/m²/sr/um
Effective bandpass downwelling radiance: 2.39 W/m²/sr/um

- (II) A radiância espectral “à superfície” pode ser convertida numa estimativa de temperatura (em graus Kelvin) à superfície com a expressão seguinte -- as constantes são próprias ao sensor Landsat 5 TM (ver Chandler et al., Remote Sensing of the Environment 113 (2009) 893-903):

$$T = 1260.56 / \ln(1 + 607.76 * \epsilon / L_{\text{superfície}}) \quad (^\circ\text{K})$$

- (III) Para obter a estimativa da temperatura em graus centígrados deve subtrair-se 273.15 ao valor anterior.

1. Obtenha um cdg com a estimativa da temperatura do solo (que deverá variar entre aproximadamente 18° e 45°) usando raster calculator para obter **Lsup_banda6** através da expressão que usa o resultado da Parte 2.1 para a banda 6:

$$("Lsen_banda6@1" - 1.44) / 0.81 - (1 - 0.98) * 2.39$$

e **temp_solo_c** através da expressão seguinte (dado que raster calculator não dispõe da função ln, a expressão abaixo é uma aproximação de 2ª ordem da equação em II para a gama de valores de $L_{\text{superfície}}$):

$$219.587+10.162*\"Lsup_banda6@1\"-0.141486*(\"Lsup_banda6@1\")^2 - 273.15$$

2. Observe o histograma de temperaturas.
3. A que tipo de ocupação do solo correspondem as temperaturas mais baixas e as mais elevadas?

Nota. as temperaturas estimadas são temperaturas à superfície, que podem ser sensivelmente mais elevadas para solo descoberto e materiais artificiais (podendo a diferença ser da ordem dos 10°C ou mesmo superior) do que a “temperatura do ar” medida entre 1.25m e 2m de altura. Para além disso, vale a pena observar que o mês de Maio de 2010 for anormalmente quente, tendo o boletim do Instituto de Meteorologia indicado que "ocorreram valores muito elevados da temperatura do ar, o que contribuiu para que no final do mês o número de dias com temperatura superior ou igual a 25 graus e a 30 graus tenha sido superior ao valor normal”.