

Fábio André Carvalho dos Santos

Determinação de Reflectâncias com Recurso a uma Câmara Multiespectral



**Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Outubro de 2010**

Fábio André Carvalho dos Santos

Determinação de Reflectâncias com Recurso a Uma Câmara Multiespectral



Dissertação submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geográfica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento de Território
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Outubro de 2010

*Tudo o que faço ou medito
Fica sempre na metade
Querendo, quero o infinito,
Fazendo, nada é verdade.*

*Que nojo de mim fica
Ao olhar para o que faço!
Minha alma é lúcida e rica
E eu sou um mar de sargaço –*

*Um mar onde bóiam lentos
Fragmentos de um mar de além...
Vontades ou pensamentos?
Não o sei e sei-o bem.*

Fernando Pessoa, *Cancioneiro*

Agradecimentos

Julgo que a justiça dos agradecimentos está em agradecer, não só ao que foi bom, como também ao que foi mau, ambos marcam todo o resultado final.

Para começar, os agradecimentos habituais. Um agradecimento especial ao(s) orientador(es), professores e colegas, a todos os que me acompanharam e ajudaram nestes dois últimos anos. Naturalmente, sem eles este trabalho não existiria.

A um projecto qualquer chamado “*Ancestral Irrigation Management on Mountain Meadows Using Remote Sensing*”, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AGR-AAM/67182/2006, do qual só tive conhecimento 2 dias antes da entrega da dissertação.

À família, em especial aos meus pais, por todo o apoio.

Um agradecimento especial à Astronomia porque, para o bem ou para o mal, sem ela eu não estaria em Engenharia Geográfica.

Aos amigos, os verdadeiros, aqueles que estão sempre presentes quando é preciso, que estão nos bons e nos maus momentos.

Aos amigos, os falsos, aqueles que só estão presentes quando precisam. A todo o fingimento, falsidade e desprezo.

A quem me fez desaparecer, para quem a minha existência deixou de fazer sentido. Quando perdemos alguém perdemos uma parte de nós próprios, mesmo assim e sem qualquer tipo de ironia, um muitíssimo obrigado por tudo, mas tudo mesmo.

A todos os que me ajudaram e continuarão a ajudar, aos velhos amigos, aos novos amigos, a quem me compreende e continuará a compreender.

No fundo, a todos os que me fazem ver que, às vezes, é preciso chegar ao fundo para saber onde fica o topo, que é preciso percorrer uma longa distância no caminho errado até saber qual é o caminho certo.

Termina.

Valeu a pena? Tudo vale a pena se a alma não é pequena.

Resumo

Por calibração absoluta entende-se o processo de transformação dos valores digitais, recolhidos por um sensor, em valores associados a uma propriedade física, como por exemplo a temperatura ou a reflectância.

Usualmente, a reflectância é medida com recurso a um espectroradiómetro, no entanto, este tipo de aparelho apresenta alguns problemas, tais como o facto de ser muito sensível a variações de iluminação, o não ser possível saber com precisão qual a área que o espectroradiómetro está a abranger e o facto de ser muito moroso, visto haver a necessidade de uma constante calibração do espectroradiómetro (que se baseia na medição de uma placa de referência).

Deste modo torna-se útil arranjar um método mais prático e ao mesmo tempo fiável para a obtenção de reflectâncias. Esta é a ideia de partida deste trabalho, ou seja, através do recurso a uma câmara multiespectral, que opera nas bandas do infravermelho próximo e do visível, verificar se é possível obter reflectâncias a partir das imagens multiespectrais.

O procedimento para a realização deste trabalho iniciou-se com a medição, recorrendo a um espectroradiómetro, em 4 dias diferentes, das reflectâncias das 24 marcas de calibração do alvo *GretagMacbeth™ ColorChecker®*.

Com a câmara multiespectral eram fornecidos, para cada banda, os gráficos da resposta espectral em função do comprimento de onda. Com estes gráficos, manualmente, foram obtidos os valores numéricos desses parâmetros e, com os valores obtidos da mediana das medições com o espectroradiómetro da reflectância das marcas de calibração do alvo, foram determinadas as reflectâncias equivalentes.

Com os valores mínimos e máximos das reflectâncias equivalentes foram definidos critérios que se baseavam na diferença entre estes valores, ou seja, o pretendido foi filtrar as marcas de calibração que apresentavam melhor consistência de resultados para os diferentes dias.

Seguidamente, em dois dias diferentes, foram obtidas imagens multiespectrais, contendo o alvo, de oito diferentes zonas de estudo. Na zona abrangente das

imagens foram seleccionadas zonas de amostra, para as quais foi feita a medição da reflectância, de novo com recurso ao espectroradiómetro.

Com base nos critérios que tinham sido definidos, com recurso ao software *PCI Geomatica*, foram extraídos os valores digitais correspondentes às marcas de calibração que preenchem os critérios, e com base nos valores de reflectância que se tinham obtido com o espectroradiómetro, foi determinada a relação linear existente entre a reflectância e o valor digital, isto para todas as zonas de estudo e para as diferentes bandas.

De seguida foram extraídos os valores digitais das diferentes amostras e com eles o procedimento foi a simples substituição na relação linear, ou seja, tendo o valor digital, calculou-se a reflectância. Estas reflectâncias foram então comparadas com as obtidas através do espectroradiómetro.

Os resultados finais obtidos são satisfatórios, apesar de para algumas zonas os valores não estarem muito de acordo, assim como para algumas bandas, para outras zonas já se obtiveram bons resultados, concluindo-se que, no geral, o método executado apresenta-se globalmente satisfatório, isto claro, dependendo da precisão que se pretenda.

Abstract

By absolute calibration, one means the process by which digital values, gathered by a sensor, are transformed into values assigned to a physical property (for example temperature or reflectance).

Usually reflectance is measured through the use of a spectroradiometer however, this kind of device has some drawbacks namely, it's very sensible to luminosity variations, it's not possible to accurately pinpoint the area which is being measured and it's very slow in gathering data since constant calibration is required (which is based on a calibration source).

Because of these problems, it becomes useful to find a method which is both more practical and, at the same time, more reliable where reflectance measures are concerned. This is the driving force behind this piece of work. Through the use of a multispectral camera, which operates in the Near-Infrared (NI) and visible wavelengths, we'll verify if it's possible to gather a reflectance without the use of a spectroradiometer.

This piece of work begun with by measuring, using a spectroradiometer in four different days, the reflectance values of the 24 calibration marks contained in the target *GretagMacbeth™ ColorChecker®*.

Supplied with the Multispectral camera were the camera sensitivity graphics for each band. Through this graphics, the numerical values were extracted (manually) and, coupled with the mean values of the squared reflectances of the marks measured with the spectroradiometer, the equivalent reflectances were determined.

Along with the minimum and maximum values obtained for the reflectance, criterions based in the difference of these two values were defined. The objective was to filter the calibration marks of the target which showed a better result consistency for different days of observation.

Afterwards, in two different days, multispectral images, containing the mark, of eight study areas were obtained. In the wide image area, sampling areas were

selected and their respective reflectances measured again using the spectroradiometer.

Based on the aforementioned criteria and using PCI/Geomatica software, digital values of the calibration marks which fulfilled the conditions set by the criteria were extracted. Based on the reflectance values obtained with the spectroradiometer, the linear relationship between reflectance and the Digital Value was determined for each sampling area and for all bands.

Next, the various samples digital values were extracted and the procedure was simply using the linear relation which means that the reflectance was calculated using the digital value. The reflectances obtained this way were then compared to the ones measured using a spectroradiometer.

The results obtained are satisfactory even though in some of the sampling areas, for some spectral bands, the values differ a little. The conclusion reached is that this method for calibrating a camera is generally satisfactory depending of course, of the intended precision.

Índice

Resumo.....	5
Abstract	7
Lista de tabelas	15
Lista de figuras	23
1. Introdução	35
2. Fundamentos de Detecção Remota	37
2.1 Detecção Remota.....	37
2.2 Grandezas radiométricas	38
2.3 Fundamentos físicos do comportamento espectral dos corpos	41
2.4 Interações da energia electromagnética com a matéria	45
2.5 Interações da energia electromagnética com os elementos terrestres	48
2.6 Espectroradiometria.....	50
2.7 Calibração	52
3. Material e Execução Prática.....	53
3.1 Material.....	53
3.1.1 Alvo	53
3.1.2 Espectroradiómetro.....	54
3.1.3 Câmara multiespectral	55
3.2 Execução prática.....	57
3.2.1 Medição da reflectância das marcas de calibração do alvo	57
3.2.2 Aquisição das imagens multiespectrais das áreas de estudo e medição da reflectância de algumas zonas de teste.....	59

4. Resultados	61
4.1 Medição da reflectância das marcas de calibração do alvo	61
4.2 Cálculo da reflectância equivalente das marcas de calibração	63
4.3 Aquisição das imagens multiespectrais e medição da reflectância das zonas de amostra	68
4.4 Obtenção dos valores digitais das imagens multiespectrais	70
5. Discussão dos Resultados	73
5.1 Medição da reflectância das marcas de calibração do alvo	73
5.2 Cálculo da reflectância equivalente das zonas de amostra	77
5.3 Aquisição das imagens multiespectrais e medição da reflectância das zonas de amostra	79
5.4 Cálculo da reflectância das zonas de amostra, com recurso às imagens multiespectrais	81
5.4.1 Obtenção dos valores digitais das zonas de amostra	82
5.4.2 Análise dos resultados para as diferentes áreas de estudo	83
5.4.2.1 Cimento	85
5.4.2.2 Superfície pintada.....	90
5.4.2.3 Granito.....	94
5.4.2.4 Pedra.....	98
5.4.2.5 Relva verde.....	102
5.4.2.6 Relva senescente	105
5.4.2.7 Metal.....	109
5.4.2.8 Terra	112
5.4.3 NDVI.....	117
5.4.4 Mediana <i>versus</i> média	120
6. Conclusões	121
6.1 Síntese e conclusões do trabalho	121

6.2 Trabalhos futuros	124
7. Referências	125
8. Anexos	126
A1 Gráficos da resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda.....	126
A2 Reflectância equivalente para os diferentes marcas de calibração do alvo	128
A3 Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias equivalentes, para os 4 dias e para os diferentes marcas de calibração do alvo.....	132
A4 Marcas de calibração usados na calibração	136
A5 Tabelas das reflectâncias	137
A5.1 Cimento.....	137
A5.1.1 Infravermelho próximo	137
A5.1.2 Vermelho	138
A5.1.3 Verde	139
A5.1.4 Azul	140
A5.2 Superfície pintada	141
A5.2.1 Infravermelho próximo	141
A5.2.2 Vermelho	142
A5.2.3 Verde	143
A5.2.4 Azul	144
A5.3 Granito	145
A5.3.1 Infravermelho próximo	145
A5.3.2 Vermelho	146
A5.3.3 Verde	147
A5.3.4 Azul	148
A5.4 Pedra.....	149
A5.4.1 Infravermelho próximo	149

A5.4.2 Vermelho	150
A5.4.3 Verde	151
A5.4.4 Azul	152
A5.5 Relva verde	153
A5.5.1 Infravermelho próximo	153
A5.5.2 Vermelho	154
A5.5.3 Verde	155
A5.5.4 Azul	156
A5.6 Relva senescente.....	157
A5.6.1 Infravermelho próximo	157
A5.6.2 Vermelho	158
A5.6.3 Verde	159
A5.6.4 Azul	160
A5.7 Metal	161
A5.7.1 Infravermelho próximo	161
A5.7.2 Vermelho	162
A5.7.3 Verde	163
A5.7.4 Azul	164
A5.8 Terra	165
A5.8.1 Infravermelho próximo	165
A5.8.2 Vermelho	166
A5.8.3 Verde	167
A5.8.4 Azul	168
A6 Gráficos das reflectâncias em função do comprimento de onda.....	169
A6.1 Cimento.....	169
A6.1.1 Infravermelho próximo	169
A6.1.2 Vermelho	171
A6.1.3 Verde	172
A6.1.4 Azul	174

A6.2 Superfície pintada	175
A6.2.1 Infravermelho próximo	175
A6.2.2 Vermelho	177
A6.2.3 Verde	178
A6.2.4 Azul	180
A6.3 Granito	181
A6.3.1 Infravermelho próximo	181
A6.3.2 Vermelho	183
A6.3.3 Verde	184
A6.3.4 Azul	186
A6.4 Pedra	187
A6.4.1 Infravermelho próximo	187
A6.4.2 Vermelho	189
A6.4.3 Verde	190
A6.4.4 Azul	192
A6.5 Relva verde	193
A6.5.1 Infravermelho próximo	193
A6.5.2 Vermelho	195
A6.5.3 Verde	196
A6.5.4 Azul	198
A6.6 Relva senescente.....	199
A6.6.1 Infravermelho próximo	199
A6.6.2 Vermelho	201
A6.6.3 Verde	202
A6.6.4 Azul	204
A6.7 Metal	205
A6.7.1 Infravermelho próximo	205
A6.7.2 Vermelho	207
A6.7.3 Verde	208

A6.7.4 Azul	210
A6.8 Terra	211
A6.8.1 Infravermelho próximo	211
A6.8.2 Vermelho	213
A6.8.3 Verde	214
A6.8.4 Azul	216

Lista de Tabelas

2.1 Grandezas radiométricas	39
3.1 Especificações do espectroradiômetro.....	55
3.2 Especificações da câmara multiespectral	57
4.1 1 Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	72
5.1 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona de cimento.	87
5.2 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona da superfície pintada	93
5.3 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona do granito	95
5.4 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona de pedra	101
5.5 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona de relva verde	104
5.6 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona de relva senescente	106
5.7 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona da metal	111
5.8 Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens, para a zona de terra	115
5.9 Valores do NDVI obtido das imagens multiespectrais e com o espectroradiômetro, para a zona de relva verde	118

5.10	Valores do NDVI obtido das imagens multiespectrais e com o espectroradiómetro, para a zona de relva senescente	118
5.11	Valores do NDVI obtido das imagens multiespectrais e com o espectroradiómetro, para a zona de terra	119
6.1	Valores médios do erro relativo da comparação dos valores de reflectância obtidos das imagens multiespectrais e com o espectroradiómetro para o critério Δ_1	123
A2.1	Reflectâncias dos quadrados do alvo na banda do infravermelho próximo	128
A2.2	Reflectâncias dos quadrados do alvo na banda do vermelho.....	129
A2.3	Reflectâncias dos quadrados do alvo na banda do verde	130
A2.4	Reflectâncias dos quadrados do alvo na banda do azul	131
A3.1	Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias na banda do infravermelho próximo	132
A3.2	Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias na banda do vermelho	133
A3.3	Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias na banda do verde	134
A3.4	Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias na banda do azul	135
A4.1	Lista dos quadrados usados nos diferentes critérios.....	136
A5.1	Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo e para o critério Δ_1	137
A5.2	Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo e para o critério Δ_2	137
A5.3	Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo e para o critério Δ_3	137
A5.4	Reflectâncias do cimento para a banda do vermelho e para o critério Δ_1	138

A5.5 Reflectâncias do cimento para a banda do vermelho e para o critério Δ_2	138
A5.6 Reflectâncias do cimento para a banda do vermelho e para o critério Δ_3	138
A5.7 Reflectâncias do cimento para a banda do verde e para o critério Δ_1	139
A5.8 Reflectâncias do cimento para a banda do verde e para o critério Δ_2	139
A5.9 Reflectâncias do cimento para a banda do verde e para o critério Δ_3	139
A5.10 Reflectâncias do cimento para a banda do azul e para o critério Δ_1	140
A5.11 Reflectâncias do cimento para a banda do azul e para o critério Δ_2	140
A5.12 Reflectâncias do cimento para a banda do azul e para o critério Δ_3	140
A5.13 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	141
A5.14 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2	141
A5.15 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3	141
A5.16 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1	142
A5.17 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2	142
A5.18 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3	142
A5.19 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do verde, usando o critério Δ_1	143
A5.20 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do verde, usando o critério Δ_2	143

A5.21 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do verde, usando o critério Δ_3	143
A5.22 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do azul, usando o critério Δ_1	144
A5.23 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do azul, usando o critério Δ_2	144
A5.24 Reflectâncias da superfície pintada para a banda do azul, usando o critério Δ_3	144
A5.25 Reflectâncias do granito para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	145
A5.26 Reflectâncias do granito para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2	145
A5.27 Reflectâncias do granito para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3	145
A5.28 Reflectâncias do granito para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1	146
A5.29 Reflectâncias do granito para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2	146
A5.30 Reflectâncias do granito para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3	146
A5.31 Reflectâncias do granito para a banda do verde, usando o critério Δ_1	147
A5.32 Reflectâncias do granito para a banda do verde, usando o critério Δ_2	147
A5.33 Reflectâncias do granito para a banda do verde, usando o critério Δ_3	147
A5.34 Reflectâncias do granito para a banda do azul, usando o critério Δ_1	148
A5.35 Reflectâncias do granito para a banda do azul, usando o critério Δ_2	148
A5.36 Reflectâncias do granito para a banda do azul, usando o critério Δ_3	148

A5.37 Reflectâncias da pedra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	149
A5.38 Reflectâncias da pedra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2	149
A5.39 Reflectâncias da pedra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3	149
A5.40 Reflectâncias da pedra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1	150
A5.41 Reflectâncias da pedra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2	150
A5.42 Reflectâncias da pedra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3	150
A5.43 Reflectâncias da pedra para a banda do verde, usando o critério Δ_1	151
A5.44 Reflectâncias da pedra para a banda do verde, usando o critério Δ_2	151
A5.45 Reflectâncias da pedra para a banda do verde, usando o critério Δ_3	151
A5.46 Reflectâncias da pedra para a banda do azul, usando o critério Δ_1	152
A5.47 Reflectâncias da pedra para a banda do azul, usando o critério Δ_2	152
A5.48 Reflectâncias da pedra para a banda do azul, usando o critério Δ_3	152
A5.49 Reflectâncias da relva para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	153
A5.50 Reflectâncias da relva para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2	153
A5.51 Reflectâncias da relva para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3	153
A5.52 Reflectâncias da relva para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1	154
A5.53 Reflectâncias da relva para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2	154

A5.54 Reflectâncias da relva para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3	154
A5.55 Reflectâncias da relva para a banda do verde, usando o critério Δ_1	155
A5.56 Reflectâncias da relva para a banda do verde, usando o critério Δ_2	155
A5.57 Reflectâncias da relva para a banda do verde, usando o critério Δ_3	155
A5.58 Reflectâncias da relva para a banda do azul, usando o critério Δ_1	156
A5.59 Reflectâncias da relva para a banda do azul, usando o critério Δ_2	156
A5.60 Reflectâncias da relva para a banda do azul, usando o critério Δ_3	156
A5.61 Reflectâncias da relva senescente para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	157
A5.62 Reflectâncias da relva senescente para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2	157
A5.63 Reflectâncias da relva senescente para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3	157
A5.64 Reflectâncias da relva senescente para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1	158
A5.65 Reflectâncias da relva senescente para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2	158
A5.66 Reflectâncias da relva senescente para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3	158
A5.67 Reflectâncias da relva senescente para a banda do verde, usando o critério Δ_1	159
A5.68 Reflectâncias da relva senescente para a banda do verde, usando o critério Δ_2	159
A5.69 Reflectâncias da relva senescente para a banda do verde, usando o critério Δ_3	159
A5.70 Reflectâncias da relva senescente para a banda do azul, usando o critério Δ_1	160
A5.71 Reflectâncias da relva senescente para a banda do azul, usando o critério Δ_2	160
A5.72 Reflectâncias da relva senescente para a banda do azul, usando o critério Δ_3	160

A5.73 Reflectâncias da metal para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	161
A5.74 Reflectâncias da metal para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2	161
A5.75 Reflectâncias da metal para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3	161
A5.76 Reflectâncias da metal para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1	162
A5.77 Reflectâncias da metal para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2	162
A5.78 Reflectâncias da metal para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3	162
A5.79 Reflectâncias da metal para a banda do verde, usando o critério Δ_1	163
A5.80 Reflectâncias da metal para a banda do verde, usando o critério Δ_2	163
A5.81 Reflectâncias da metal para a banda do verde, usando o critério Δ_3	163
A5.82 Reflectâncias da metal para a banda do azul, usando o critério Δ_1	164
A5.83 Reflectâncias da metal para a banda do azul, usando o critério Δ_2	164
A5.84 Reflectâncias da metal para a banda do azul, usando o critério Δ_3	164
A5.85 Reflectâncias da terra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1	165
A5.86 Reflectâncias da terra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2	165
A5.87 Reflectâncias da terra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3	165
A5.88 Reflectâncias da terra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1	166
A5.89 Reflectâncias da terra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2	166

A5.90 Reflectâncias da terra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3	166
A5.91 Reflectâncias da terra para a banda do verde, usando o critério Δ_1	167
A5.92 Reflectâncias da terra para a banda do verde, usando o critério Δ_2	167
A5.93 Reflectâncias da terra para a banda do verde, usando o critério Δ_3	167
A5.94 Reflectâncias da terra para a banda do azul, usando o critério Δ_1	168
A5.95 Reflectâncias da terra para a banda do azul, usando o critério Δ_2	168
A5.96 Reflectâncias da terra para a banda do azul, usando o critério Δ_3	168

Lista de Figuras

2.1 Ângulo sólido.....	39
2.2 Onda electromagnética.....	42
2.3 Espectro electromagnético	44
2.4 Interacção da radiação com a matéria	45
2.5 Reflexão especular e reflexão difusa.....	47
3.1 Alvo <i>GretagMacbeth ColorChecker</i>	53
3.2 Espectroradiómetro <i>FieldSpec® HandHeld</i>	54
3.3 Câmara multiespectral AD-080CL	55
3.4 Divisão do espectro nas bandas do visível e do infravermelho próximo	56
3.5 Placa de referência	58
4.1 Código de usado na numeração das marcas de calibração do alvo	61
4.2 Reflectância em função do comprimento de onda, dos quatro diferentes dias, para a marca 10.....	62
4.3 Resposta espectral em função do comprimento de onda para o infravermelho próximo	63
4.4 Resposta espectral em função do comprimento de onda para as três bandas do visível	63
4.5 Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para o infravermelho próximo	64
4.6 Mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância equivalente, na banda do infravermelho próximo	65

4.7 Mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância equivalente, na banda do vermelho	66
4.8 Mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância equivalente, na banda do verde	66
4.9 Mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância equivalente, na banda do azul	67
4.10 Imagem na banda infravermelho próximo da zona de relva	68
4.11 Imagem na banda visível da zona de relva	69
4.12 Imagem na banda do visível da zona do granito e sinalização das zonas de amostra	70
4.13 Imagem saturada, na banda do visível, da zona de relva	71
4.14 Reflectância equivalente em função do DN da imagem, na banda do infravermelho próximo, da área de cimento e usando o critério Δ_1	72
5.1 Reflectância em função do comprimento de onda, para um dos dias, da marca 4	74
5.2 Reflectância em função do comprimento de onda para a marca 19 (branco)	75
5.3 Reflectância em função do comprimento de onda para a marca 24 (preto)	76
5.4 Reflectância em função do comprimento de onda da marca 19 (branco), para três dias e da medição de controlo	81
5.5 Reflectância em função do DN da imagem 1 da zona de relva, para a banda do vermelho e utilizando o critério Δ_3	85
5.6 Reflectância obtida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do cimento na banda do infravermelho próximo	88
5.7 Reflectância obtida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do cimento na banda do vermelho	88

5.8 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do cimento na banda do verde	89
5.9 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do cimento na banda do azul	89
5.10 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada na banda do infravermelho próximo	91
5.11 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada na banda do vermelho	91
5.12 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada na banda do verde	92
5.13 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada na banda do azul	92
5.14 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do granito na banda do infravermelho próximo	96
5.15 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do granito na banda do vermelho	96
5.16 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do granito na banda do verde	97
5.17 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona do granito na banda do azul	97
5.18 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de pedra na banda do infravermelho próximo	98

5.19 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de pedra na banda do vermelho.....	99
5.20 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de pedra na banda do verde	99
5.21 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de pedra na banda do azul	100
5.22 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva na banda do infravermelho próximo	102
5.23 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva na banda do vermelho	102
5.24 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva na banda do verde	103
5.25 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva na banda do azul	103
5.26 Reflectância da vegetação em função do comprimento de onda	105
5.27 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva senescente na banda do infravermelho próximo	107
5.28 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva senescente na banda do vermelho	107
5.29 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva senescente na banda do verde	108

5.30 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de relva senescente na banda do azul	108
5.31 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da metal na banda do infravermelho próximo	109
5.32 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da metal na banda do vermelho.....	109
5.33 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da metal na banda do verde	110
5.34 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona da metal na banda do azul	110
5.35 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de terra na banda do infravermelho próximo	112
5.36 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de terra na banda do vermelho.....	113
5.37 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de terra na banda do verde	113
5.38 Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais da zona de terra na banda do azul	114
A1.1 Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para a banda do vermelho	126
A1.2 Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para a banda do verde	126

A1.3 Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para a banda do azul	127
A6.1 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de cimento, utilizando o critério Δ_1	169
A6.2 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de cimento, utilizando o critério Δ_2	170
A6.3 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de cimento, utilizando o critério Δ_3	170
A6.4 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de cimento, utilizando o critério Δ_1	171
A6.5 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de cimento, utilizando o critério Δ_2	171
A6.6 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de cimento, utilizando o critério Δ_3	172
A6.7 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de cimento, utilizando o critério Δ_1	172
A6.8 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de cimento, utilizando o critério Δ_2	173
A6.9 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de cimento, utilizando o critério Δ_3	173
A6.10 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de cimento, utilizando o critério Δ_1	174
A6.11 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de cimento, utilizando o critério Δ_2	174
A6.12 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de cimento, utilizando o critério Δ_3	175
A6.13 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1	175
A6.14 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2	176

A6.15 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3	176
A6.16 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1	177
A6.17 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2	177
A6.18 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3	178
A6.19 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1	178
A6.20 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2	179
A6.21 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3	179
A6.22 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1	180
A6.23 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2	180
A6.24 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3	181
A6.25 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área do granito, utilizando o critério Δ_1	181
A6.26 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área do granito, utilizando o critério Δ_2	182
A6.27 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área do granito, utilizando o critério Δ_3	182
A6.28 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da granito, utilizando o critério Δ_1	183
A6.29 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da granito, utilizando o critério Δ_2	183

A6.30 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da granito, utilizando o critério Δ_3	184
A6.31 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da granito, utilizando o critério Δ_1	184
A6.32 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da granito, utilizando o critério Δ_2	185
A6.33 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da granito, utilizando o critério Δ_3	185
A6.34 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da granito, utilizando o critério Δ_1	186
A6.35 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da granito, utilizando o critério Δ_2	186
A6.36 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da granito, utilizando o critério Δ_3	187
A6.37 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de pedra, utilizando o critério Δ_1	187
A6.38 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de pedra, utilizando o critério Δ_2	188
A6.39 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de pedra, utilizando o critério Δ_3	188
A6.40 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de pedra, utilizando o critério Δ_1	189
A6.41 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de pedra, utilizando o critério Δ_2	189
A6.42 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de pedra, utilizando o critério Δ_3	190
A6.43 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de pedra, utilizando o critério Δ_1	190
A6.44 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de pedra, utilizando o critério Δ_2	191

A6.45 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de pedra, utilizando o critério Δ_3	191
A6.46 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de pedra, utilizando o critério Δ_1	192
A6.47 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de pedra, utilizando o critério Δ_2	192
A6.48 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de pedra, utilizando o critério Δ_3	193
A6.49 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de relva, utilizando o critério Δ_1	193
A6.50 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de relva, utilizando o critério Δ_2	194
A6.51 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de relva, utilizando o critério Δ_3	194
A6.52 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de pedra, utilizando o critério Δ_1	195
A6.53 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de pedra, utilizando o critério Δ_2	195
A6.54 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de pedra, utilizando o critério Δ_3	196
A6.55 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de pedra, utilizando o critério Δ_1	196
A6.56 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de pedra, utilizando o critério Δ_2	197
A6.57 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de pedra, utilizando o critério Δ_3	197
A6.58 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de pedra, utilizando o critério Δ_1	198
A6.59 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de pedra, utilizando o critério Δ_2	198

A6.60 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de pedra, utilizando o critério Δ_3	199
A6.61 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_1	199
A6.62 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_2	200
A6.63 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_3	200
A6.64 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_1	201
A6.65 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_2	201
A6.66 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_3	202
A6.67 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_1	202
A6.68 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_2	203
A6.69 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_3	203
A6.70 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_1	204
A6.71 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_2	204
A6.72 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de relva senescente, utilizando o critério Δ_3	205
A6.73 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área da metal, utilizando o critério Δ_1	205
A6.74 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área da metal, utilizando o critério Δ_2	206

A6.75 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área da metal, utilizando o critério Δ_3	206
A6.76 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da metal, utilizando o critério Δ_1	207
A6.77 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da metal, utilizando o critério Δ_2	207
A6.78 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área da metal, utilizando o critério Δ_3	208
A6.79 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da metal, utilizando o critério Δ_1	208
A6.80 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da metal, utilizando o critério Δ_2	209
A6.81 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área da metal, utilizando o critério Δ_3	209
A6.82 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da metal, utilizando o critério Δ_1	210
A6.83 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da metal, utilizando o critério Δ_2	210
A6.84 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área da metal, utilizando o critério Δ_3	211
A6.85 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de terra, utilizando o critério Δ_1	211
A6.86 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de terra, utilizando o critério Δ_2	212
A6.87 Reflectância em função do DN, para a banda do infravermelho próximo, da área de terra, utilizando o critério Δ_3	212
A6.88 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de terra, utilizando o critério Δ_1	213
A6.89 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de terra, utilizando o critério Δ_2	213

A6.90 Reflectância em função do DN, para a banda do vermelho, da área de terra, utilizando o critério Δ_3	214
A6.91 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de terra, utilizando o critério Δ_1	214
A6.92 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de terra, utilizando o critério Δ_2	215
A6.93 Reflectância em função do DN, para a banda do verde, da área de terra, utilizando o critério Δ_3	215
A6.94 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de terra, utilizando o critério Δ_1	216
A6.95 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de terra, utilizando o critério Δ_2	216
A6.96 Reflectância em função do DN, para a banda do azul, da área de terra, utilizando o critério Δ_3	217

1. Introdução

Um dos procedimentos utilizado em Detecção Remota é a chamada calibração absoluta que, em termos gerais, é entendida como a transformação dos valores digitais, recolhidos por um sensor, em valores associados a uma propriedade física, tal como a reflectância como a temperatura.

Para a medição da reflectância são normalmente utilizados espectroradiómetros, aparelhos de dimensões variadas, existindo a vertente portátil que devido à sua versatilidade permite a realização de trabalhos de campo. Contudo estes aparelhos estão longe de serem perfeitos, apresentando diversas adversidades, como por exemplo o facto de serem muito sensíveis a variações de iluminação, não permitirem ter uma precisão da área que está a ser coberta pelo espectroradiómetro e o facto de todo o processo de medição ser demorado, visto ser necessária a constante calibração do espectroradiómetro, que é feita recorrendo a uma placa de referência. Outro facto está relacionado com as medições necessitarem de boas condições climatéricas e de estarem limitadas às horas de observação.

Torna-se então útil encontrar um método mais prático, ou seja, que ultrapasse as dificuldades, atrás mencionadas, que o espectroradiómetro apresenta.

A ideia geral deste trabalho é precisamente tentar encontrar um método de determinação de reflectâncias, recorrendo a imagens obtidas com uma câmara multiespectral que opera nas bandas do visível e do infravermelho próximo.

O uso da câmara multiespectral apresenta vantagens relativamente ao uso do espectroradiómetro. Uma destas vantagens está relacionada com o facto de a câmara permitir saber qual a área que está a ser observada, que é feito conectando a câmara a um computador. O espectroradiómetro utilizado também tem conexão a um computador, no entanto apenas permite visualizar, em tempo real, os gráficos de reflectância em função do comprimento de onda.

Uma grande vantagem que a câmara multiespectral apresenta está relacionada com o facto de ser possível proceder à sua instalação de modo a visualizar uma

determinada área fixa e a possibilidade de programar a câmara para a obtenção de imagens à cadência pretendida, existindo apenas a limitação relacionada com o espaço disponível em disco para o armazenamento das imagens. Ao invés, o espectroradiómetro apenas faz medidas pontuais.

A câmara multiespectral também permite o estudo de áreas maiores do que as que seriam obtidas com o espectroradiómetro, além de que com a câmara é possível fazer medições pixel a pixel.

O objectivo principal deste trabalho é então, como referido, a determinação de reflectâncias, com recurso a uma câmara multiespectral. Para além desta câmara utilizou-se ainda um espectroradiómetro e um alvo de calibração.

O procedimento prático do trabalho, em termos muito gerais, passa por recorrer a um espectroradiómetro para determinar as reflectâncias das marcas de calibração do alvo e determinar as suas reflectâncias equivalentes. Posteriormente são obtidas imagens multiespectrais, contendo o alvo, da zona de estudo e computacionalmente obtidos os valores digitais das marcas de calibração do alvo, valores que são relacionados com a reflectância determinada anteriormente para finalmente se obter a reflectância das áreas pretendidas nas imagens multiespectrais.

Como a obtenção, através das imagens multiespectrais, dos valores da reflectância não diz nada por si só, a reflectância das zonas de amostra é também medida com um espectroradiómetro para ser possível ter um termo de comparação. Saliente-se que as medições com o espectroradiómetro estão sempre dependentes das dificuldades atrás referidas.

Definido o objectivo do trabalho resta passar a uma ligeira nota introdutória acerca da estrutura desta dissertação. Assim, numa primeira instância, será feita uma abordagem a alguns conceitos fundamentais de Detecção Remota. Passar-se-á a uma descrição do material utilizado assim como a todos os procedimentos práticos realizados neste trabalho. Seguidamente serão apresentados os resultados obtidos e numa secção posterior serão discutidos estes mesmos resultados. Finalmente serão feitas as conclusões do trabalho e apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos.

2. Fundamentos de Detecção Remota

2.1 Detecção Remota

A Detecção Remota pode ser entendida como a disciplina capaz de obter informação sobre um objecto, área, evento ou fenómeno através da análise da informação recolhida por um dispositivo que não está em contacto com esse objecto, área ou fenómeno em estudo. Esta recolha da informação baseia-se nos conceitos de registo e análise das interacções entre a radiação electromagnética e os objectos que se encontram a ser estudados [1].

A génese do termo Detecção Remota assenta primordialmente no facto dos objectos à superfície terrestre poderem ser caracterizados e distinguidos pela forma como reflectem ou emitem a energia electromagnética, o que constitui a condição fundamental para que exista Detecção Remota, ou seja, é imprescindível que entre o sensor e o objecto observado exista algum tipo de interacção. De uma forma genérica, supõe-se a coexistência de uma fonte emissora de energia, um objecto e um sensor (receptor) como constituinte duma trilogia necessária à recolha de informação por meios remotos [1].

Para o registo da radiação electromagnética reflectida ou emitida pelos objectos são necessários dois componentes, a plataforma e o sensor, sendo a plataforma o componente no qual o sensor está acoplado e este, o aparelho capaz de registar a radiação electromagnética reflectida ou emitida pelos objectos.

As plataformas podem-se dividir em três categorias, as aéreas, as espaciais e as terrestres. Já no que diz respeito aos sensores, estes dividem-se em duas categorias, os sistemas passivos e os activos. Os sistemas passivos não têm uma fonte artificial de radiação e apenas detectam a radiação electromagnética que é reflectida ou emitida pelo objecto a analisar, como por exemplo a câmara utilizada neste trabalho (sobre a qual se falará adiante). Por outro lado, os sistemas activos contêm uma fonte de energia que incide sobre o objecto a analisar medindo o retorno dessa energia, o que leva a que nestes sistemas a

fonte de energia e os sensores coabitem no mesmo sistema, como por exemplo satélites de radar. Refira-se ainda que, a maioria dos sistemas de Detecção Remota são sistemas passivos [2].

As imagens utilizadas em Detecção Remota resultam do registo, obtido por um sensor, dos valores da radiação electromagnética reflectida ou emitida pelos objectos, em diferentes domínios do espectro electromagnético.

Estas imagens são por norma imagens digitais, ou seja um arranjo de elementos (pixel) sob a forma de uma matriz, onde cada pixel tem a sua localização definida num sistema de coordenadas e representa a intensidade (brilho) dos materiais da área correspondente ao pixel por meio de níveis de cinzento ou números digitais [3].

Com o intuito de uma melhor compreensão de alguns conceitos, seguidamente será feita uma apresentação de alguns desses conceitos e fenómenos relacionados com a energia electromagnética. Sintetizando, começar-se-á pela definição das grandezas radiométricas e de seguida descrever-se-á o conceito de energia electromagnética e do seu comportamento na interacção com a matéria.

2.2 Grandezas radiométricas

A radiometria pode ser entendida como sendo a medição do fluxo de energia electromagnética radiante emitida por uma superfície ou incidente sobre ela [1].

Para uma melhor compreensão das grandezas radiométricas, numa primeira instância, introduzir-se-á o conceito de ângulo sólido, considerando para este efeito uma fonte pontual, situada no centro de uma esfera de raio R , emitindo radiação num volume cónico (Figura 2.1). A projecção sobre a esfera dos limites desse cone, delimitam uma área A , então, o ângulo sólido (ω) definido pelo cone, e medido em estereoradianos (sr), corresponde ao quociente entre a área A e o quadrado do raio da esfera ($\omega=A/R^2$).

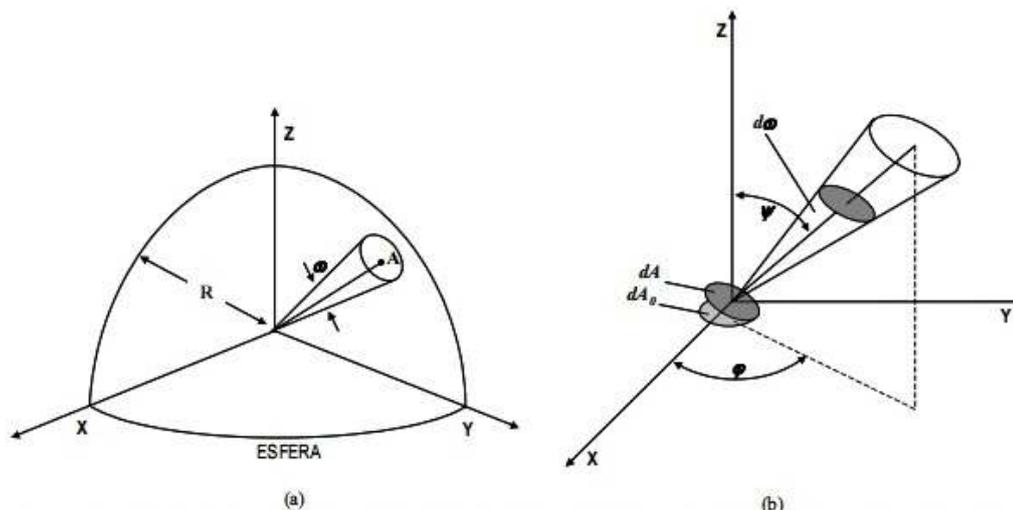


Figura 2.1: Ângulo sólido definido por um cone (a) e geometria de uma fonte pontual (b).

Para a caracterização da radiação electromagnética e da sua interacção com a matéria, são utilizadas diversas grandezas radiométricas, estando as mais comuns sintetizadas na Tabela 2.1.

Grandeza	Símbolo	Unidade
Energia radiante	Q	J
Fluxo radiante	ϕ	$J s^{-1} = W$
Irradiância	E	$W m^{-2}$
Exitância radiante (Emitância)	M	$W m^{-2}$
Intensidade radiante	I	$W s r^{-1}$
Radiância	L	$W m^{-2} s r^{-1}$

Tabela 2.1: Grandezas radiométricas.

Define-se energia radiante (Q) como sendo a energia total radiada por uma fonte em todos os comprimentos de onda e em todas as direcções num determinado instante (t). Noutros termos, é a radiação própria, comum a todos os corpos, cujas características dependem fundamentalmente da sua temperatura absoluta.

Por fluxo radiante (ϕ) entende-se a taxa de variação da energia radiante (2.1), isto é, a energia total radiada em todas as direcções por unidade de tempo:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2.1)$$

Caso se trate de uma fonte de energia pontual, o fluxo radiante pode ser entendido como o fluxo de energia através de uma hipotética esfera que envolve a fonte. Deste modo o fluxo radiante emitido designa-se por intensidade radiante (I) e é definido por:

$$I = \frac{dQ}{d\omega} \quad (2.2)$$

Por outro lado, se a fonte de energia for uma superfície, pode ser definido o conceito de densidade de fluxo radiante, que é o fluxo radiante que chega (irradiância, E) a uma unidade de área de uma superfície plana, ou que parte (exitância, M), por reflexão ou emissão, da unidade de área de uma superfície plana.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad \text{e} \quad M = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.3)$$

O fluxo radiante, por unidade de ângulo sólido e por unidade de área projectada numa determinada direcção, é designado por radiância (L):

$$L = \frac{d^2\Phi}{dAd\omega} = \frac{d^2\Phi}{dA_0 \cos\psi d\omega} \quad (2.4)$$

Desta última expressão retira-se que a radiância depende do ângulo de incidência (ψ) e do ângulo azimutal (ϕ), como pode ser visto na Figura 2.1b.

Refira-se ainda que, quando as grandezas atrás descritas estão confinadas a uma determinada região do espectro, isto é, quando dependem do comprimento de onda, passam a ter a designação de grandezas espectrais.

A radiância dos corpos origina a informação adquirida pelos sensores em diferentes bandas do espectro electromagnético, informação que é normalmente registada sob a forma numérica segundo matrizes de pixels (imagens digitais). O valor de cada pixel, ou seja, de cada elemento de imagem, depende sempre da quantidade de energia electromagnética que é reflectida e/ou emitida pela área de estudo correspondente a esse pixel. É usual, em Detecção Remota, esses

valores serem designados por intensidade radiométrica, nível radiométrico ou número digital. Em diante usar-se-á a sigla DN, do inglês *Digital Number*.

2.3 Fundamentos físicos do comportamento espectral dos corpos

A energia electromagnética, ou radiação electromagnética, é o suporte de toda a informação em Detecção Remota, ou seja, pode-se inferir que a aquisição de imagens por Detecção Remota baseia-se no facto de os objectos à superfície terrestre reflectirem a radiação electromagnética proveniente do Sol, o que possibilita deduzir algumas características físicas e químicas desses objectos. Por outro lado, além da radiação reflectida, como todos os objectos se encontram a uma temperatura superior ao zero absoluto (0 K), estes emitem uma radiação própria, com intensidade e composição espectral dependente da temperatura, que também é usada em Detecção Remota [2].

A radiação electromagnética propaga-se através do espaço sem suporte material e apresenta características tanto ondulatórias como corpusculares. A teoria ondulatória, seguindo os postulados de Maxwell, sustenta que a propagação da energia se faz através de um movimento ondulatório. Por seu lado, a teoria corpuscular postula que, a partir das formulações de Plank, a propagação da energia ocorre pela emissão do fluxo de partículas, designados de fótons [5].

Atendendo às propriedades ondulatórias, as ondas são formadas pela combinação de dois campos, um eléctrico e outro magnético, ortogonais entre si e normais à direcção de propagação (Figura 2.2). Refira-se ainda que a propagação da radiação electromagnética é feita com evolução de amplitude sinusoidal, no tempo e no espaço [5].

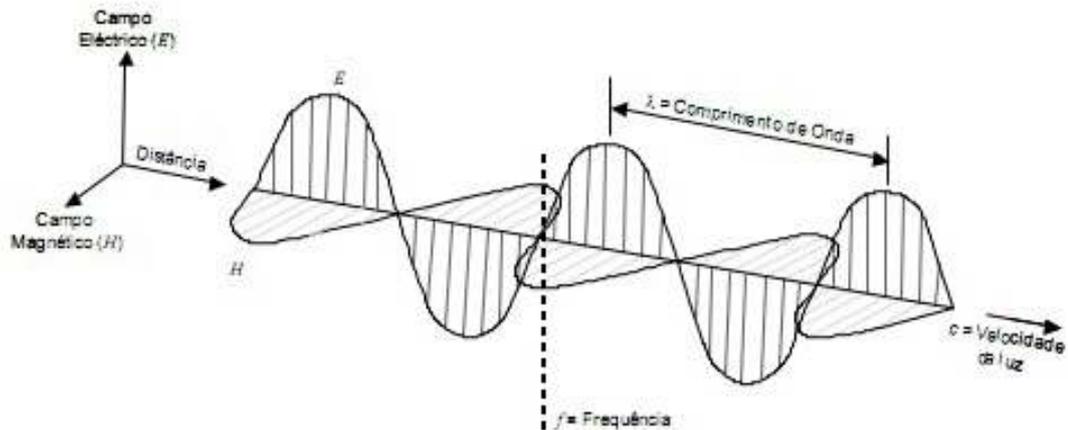


Figura 2.2: Onda eletromagnética.

Três características fundamentais podem definir as ondas eletromagnéticas, nomeadamente, a velocidade, o comprimento de onda e frequência. A velocidade de uma onda que se desloca no vácuo é normalmente considerada idêntica à da luz, já o comprimento de onda define a distância entre dois máximos adjacentes e a frequência é definida como o número de máximos de onda a passar num ponto fixo do espaço, por unidade de tempo [1]. A relação entre estas grandezas é dada por:

$$c = \lambda f \quad (2.5)$$

Nesta expressão, c é a velocidade da luz no vácuo (de acordo com o Sistema Internacional de Unidades, $c=299792458$ m/s, [6]), λ é o comprimento de onda (m) e f a frequência (s^{-1} ou Hz). Facilmente se retira desta expressão que, uma vez que a velocidade c é um valor constante, quanto maior a frequência menor o comprimento de onda e vice-versa.

A radiação eletromagnética assume uma particular importância em Detecção Remota, uma vez que os objectos se comportam de maneira selectiva e diferenciada face à radiação eletromagnética que incide sobre eles. Esta radiação pode provir de fontes naturais ou artificiais, sendo natural verificar que a principal fonte natural de energia eletromagnética é o Sol, que emite radiação em comprimentos de onda compreendidos entre 0,1 nm e as centenas de metros. No entanto, de toda a radiação, 99 % da radiação solar encontra-se entre os 0,15 μ m e os 5 μ m e desta, apenas uma pequena percentagem, cerca de um quinto do total incidente na Terra, atinge directamente a superfície terrestre. Deste total de

energia que incide sobre a superfície terrestre, uma parte é absorvida, e posteriormente emitida em comprimentos de onda variáveis entre os 4 μm e os 14 μm [1].

Tal como foi referido, a radiação electromagnética apresenta características ondulatórias e corpusculares. Embora algumas das características da radiação electromagnética sejam mais facilmente entendidas com base no seu comportamento ondulatório, a teoria corpuscular, na qual a radiação electromagnética é composta por entidades discretas designadas por fotões, é mais adequada para explicar a interacção da energia com a matéria.

Segundo a teoria quântica, a radiação electromagnética é produzida quando os electrões transitam para órbitas com menor nível energético, sendo a energia excedente fornecida aos fotões. A energia radiante de um fotão é dada por:

$$Q = hf \quad (2.6)$$

onde Q é a energia radiante de um fotão (J) e h a constante de Planck ($6,626 \times 10^{-24}$ Js).

Recuperando a equação (2.5), as equações da onda e do modelo quântico podem ser relacionadas, obtendo-se:

$$Q = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.7)$$

Desta expressão facilmente se conclui que a energia de um fotão é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda, ou seja, quanto maior for o comprimento de onda, menor a sua frequência e menor será o conteúdo energético do fotão. Este facto tem implicações importante em Detecção Remota, justificando que a radiação emitida naturalmente e de grande comprimento de onda (como a emissão, por parte dos objectos à superfície da Terra, na gama do infravermelho térmico), seja mais difícil de registar do que a de pequeno comprimento de onda. O baixo conteúdo energético da radiação com grandes comprimentos de onda, implica que, geralmente, os sistemas remotos que operam com esses comprimentos de onda tenham a necessidade de registar, a

cada momento, informação sobre uma grande área, de forma a obter um sinal com energia suficiente para ser detectado [1].

Ainda que a sucessão de valores de comprimento de onda seja contínua, normalmente estes valores são divididos numa série de bandas, na qual a radiação electromagnética manifesta um comportamento similar. A organização destas bandas em comprimentos de onda ou frequências designa-se por espectro electromagnético, logo, este representa todo o conjunto de comprimentos de onda conhecidos, isto é, cobre uma vasta gama de valores, que vão desde as ondas rádio (menor frequência, maior comprimento de onda, menos energéticas) até aos raios gama (maior frequência, menor comprimento de onda, mais energéticas). Na Figura 2.3 encontra-se apresentada uma ilustração do espectro electromagnético, onde estão representadas as principais regiões.

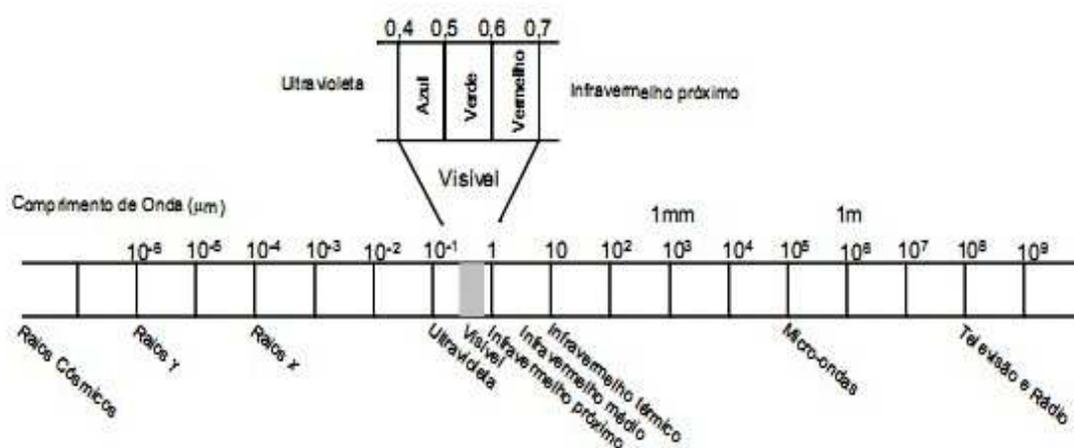


Figura 2.3: Espectro electromagnético.

Dentro do espectro há algumas regiões de destaque em Detecção Remota, no fundo são regiões que correspondem aos comprimentos de onda do principal fluxo de radiação solar incidente, da radiação terrestre emitida e da radiação usada pelos sistemas de RADAR, intercaladas com outras de menor importância para esta área.

Do ponto de vista da Detecção Remota, as bandas do espectro mais utilizadas são as bandas do espectro visível, do infravermelho próximo, do infravermelho médio, do infravermelho térmico e das microondas. Tal deve-se ao facto da atmosfera absorver quase toda a energia electromagnética emitida pela radiação solar com comprimentos de onda inferiores a 0,3 µm (raios X, raios gama e

ultravioleta) e permitir a penetração, até à superfície terrestre, de radiação electromagnética com comprimentos de onda maior que $0,3 \mu\text{m}$ [7].

Para o caso específico deste trabalho foram usadas as bandas do visível e do infravermelho próximo.

A banda do visível ($0,4$ a $0,7 \mu\text{m}$) coincide com os comprimentos de onda na qual a radiação solar é máxima. Esta zona do espectro pode ser separada em três bandas elementares que, em razão das cores primárias que os olhos humanos interpretam, são o azul ($0,4$ a $0,5 \mu\text{m}$), verde ($0,5$ a $0,6 \mu\text{m}$) e vermelho ($0,6$ a $0,7 \mu\text{m}$) [7].

A zona do infravermelho é uma região com maior comprimento de onda do que a zona do visível, logo menor frequência e menor energia, do que a região do visível. O infravermelho cobre a região espectral com comprimento de onda entre $0,7\mu\text{m}$ e $100\mu\text{m}$. Esta região pode ser dividida em três sub-regiões designadas infravermelho próximo ($0,7-1,3 \mu\text{m}$), infravermelho médio ($1,3-3 \mu\text{m}$) e infravermelho térmico ($3-14 \mu\text{m}$). Relativamente ao infravermelho próximo, esta zona do espectro é muito utilizada pela capacidade de distinguir massas vegetais e diferentes concentrações de humidade [7].

2.4 Interacções da energia electromagnética com a matéria

Quando a energia electromagnética incide sobre a matéria, podem ocorrer essencialmente três tipos de interacções: reflexão, transmissão e absorção (Figura 2.4).

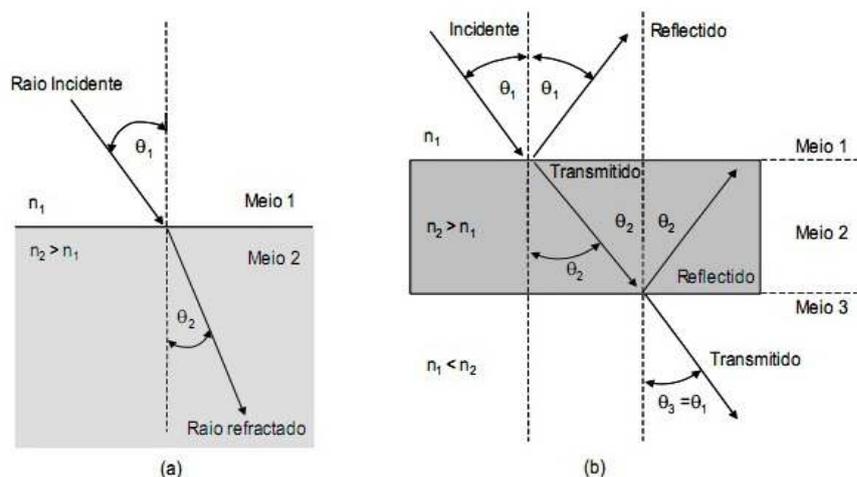


Figura 2.4: Interação da radiação com a matéria.

Absorção: ocorre devido à existência de trocas de energia entre a onda electromagnética e os átomos de um determinado corpo, levando, como principal consequência, ao aumento da temperatura do corpo. Para uma camada de espessura infinitesimal, a absorção processa-se de forma proporcional à intensidade radiante, dando origem a uma redução desta intensidade [1].

Transmissão: é um processo que acontece quando meios de densidades diferentes provocam alterações na velocidade e direcção de propagação da onda electromagnética [1]. Na Figura 2.4b, exemplificativamente, a energia incidente, com um ângulo θ_1 , ao encontrar um meio de densidade diferente, vai ser transmitida ao longo desse meio numa direcção θ_2 .

A relação entre a velocidade de propagação da radiação electromagnética no vácuo (c) e num determinado material (v) é definida pelo chamado índice de refacção do meio (n) e expressa-se através da equação:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.8)$$

Quando o feixe transita entre dois meios de índice de refacção diferente ocorre, na superfície de separação dos meios, o processo de refacção (Figura 2.4). A relação entre o ângulo de incidência (θ_1) e o ângulo de refacção (θ_2) é dada pela chamada Lei de Snell:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.9)$$

onde n_1 e n_2 são respectivamente os índices de refacção dos meios 1 e 2.

Reflexão: este fenómeno ocorre quando a radiação incide, segundo a direcção θ_1 , sobre superfícies consideradas lisas relativamente ao seu comprimento de onda, sendo então reflectida, de novo com um ângulo θ_1 , mas do lado oposto em relação à normal, ou seja, o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência (Figura 2.4b) [1]. A quantidade de energia reflectida pelo objecto, e que posteriormente alcança o sensor, depende da energia total incidente, da estrutura da superfície, do ângulo de incidência e do comprimento de onda.

Tendo em consideração a forma como os objectos reflectem a energia incidente, a reflexão pode ser dividida em três grupos, designadamente, a reflexão especular, a reflexão difusa ou lambertiana e a reflexão mista.

A reflexão especular (Figura 2.5a) ocorre quando se está perante uma superfície perfeitamente lisa, com comportamento semelhante a um espelho, no qual a energia é reflectida com um ângulo igual ao de ângulo de incidência [1].

Considera-se reflexão difusa ou lambertiana (Figura 2.5b) quando a energia incidente sobre uma dada superfície é reflectida uniformemente em todas as direcções, independentemente do ângulo de incidência. As superfícies deste tipo são designadas de Radiadores Lambertianos ou Reflectores Lambertianos e a sua radiância é independente do ângulo de observação [1].

A maioria dos objectos à superfície terrestre não se comporta como um reflector ideal, especular ou difuso, deste modo, define-se a reflexão mista (Figuras 2.5c e 2.5d), como a reflexão que está algures entre os dois extremos. Este é o tipo de reflexão mais comum, atendendo ao comportamento das superfícies face à energia incidente [1].

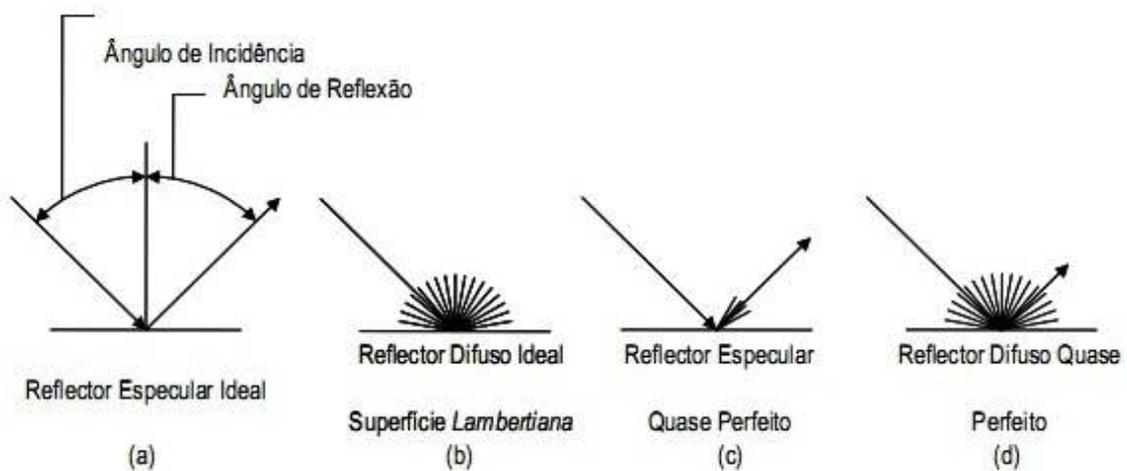


Figura 2.5: Reflexão especular e reflexão difusa.

É importante ter em consideração a forma geométrica como os objectos reflectem a energia incidente, um factor que varia primordialmente em função da rugosidade da superfície do objecto. Deste modo, a superfície dos objectos pode ser classificada como especular, difusa ou mista em função da sua rugosidade face ao comprimento de onda da energia incidente. Em resumo, quando o comprimento de onda da energia incidente é bastante mais pequeno que as

variações de altitude da superfície ou da dimensão das partículas que a compõem, então essa superfície é considerada rugosa.

Refira-se também que a reflexão difusa tem um especial interesse em Detecção Remota, uma vez que é mais selectiva relativamente ao comprimento de onda do que a reflexão especular. Esta última leva, por vezes, à saturação do sensor, se a radiação electromagnética for reflectida na sua direcção, ao invés da reflexão difusa, onde só alguns comprimentos de onda são reflectidos podendo, através destes obter-se informação sobre as características físicas do objecto.

Como adenda, diga-se ainda que a emissão, a reflexão e a dispersão podem ser considerados fenómenos de superfície, visto que dependem principalmente das características exteriores dos objectos, como por exemplo a rugosidade, podendo ser medidas externamente, ao passo que a transmissão e a absorção já dependem essencialmente das características internas dos objectos (tais como a densidade e condutividade ou a composição geoquímica), não podendo ser medidas externamente sendo assim designadas de fenómenos de volume.

2.5 Interacção da energia electromagnética com os elementos terrestres

Tal como foi visto, quando a radiação electromagnética incide sobre os objectos situados na superfície terrestre, podem ocorrer os fenómenos de absorção, reflexão e transmissão.

A intensidade de radiação electromagnética absorvida, reflectida ou transmitida depende das características físicas do objecto, do comprimento de onda, do ângulo de incidência da radiação electromagnética e, em menor escala, da matéria constituinte do corpo, e a sua distribuição pode ser relacionada de acordo com o princípio da conservação da energia (2.10) [1].

$$E_I(\lambda) = E_A(\lambda) + E_R(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (2.10)$$

onde $E_I(\lambda)$ é a energia incidente, $E_R(\lambda)$ a energia reflectida, $E_A(\lambda)$ a energia absorvida e $E_T(\lambda)$ a energia transmitida.

No que concerne à última expressão devem ser feitas duas chamadas de atenção, com a primeira a dizer respeito ao facto da proporção de energia reflectida, absorvida e transmitida, variar consoante o objecto sobre o qual essa energia incide, com esta diferença a permitir que se distingam os diversos objectos registados numa imagem. Em segundo lugar, refira-se que estas três grandezas dependem do comprimento de onda da energia incidente, o que faz com que dois objectos possam ser indiferenciáveis numa determinada região do espectro e aparecerem como bastante diferentes noutra [1].

Recuperando o principio da conservação da energia (2.10) e dividindo todos os seus termos pela energia incidente tem-se:

$$1 = \frac{E_A(\lambda)}{E_I(\lambda)} + \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} + \frac{E_T(\lambda)}{E_I(\lambda)} \quad (2.11)$$

Deste modo, atendendo aos termos situados no lado direito de (2.11), são definidos novos conceitos que correspondem a grandezas com especial importância na descrição das interacções da radiação electromagnética com a matéria. Assim definem-se:

$$\alpha_\lambda = \frac{E_A}{E_I} \quad \rho_\lambda = \frac{E_R}{E_I} \quad \tau_\lambda = \frac{E_T}{E_I} \quad (2.12)$$

onde α_λ designa-se por absorptância, ρ_λ por reflectância e τ_λ por transmitância.

Basicamente estes conceitos correspondem à razão entre a energia radiante absorvida, reflectida e transmitida, respectivamente, e a energia radiante incidente.

Pode-se ainda reescrever a expressão (2.10) como:

$$1 = \alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda \quad (2.13)$$

Entende-se por absorptância a fracção de energia absorvida quando a radiação incide numa superfície. Já a transmitância pode ser vista como o fenómeno onde a radiação incide num objecto e não sofre qualquer atenuação sensível na

passagem [1]. Este parâmetro depende das propriedades dos objectos e do comprimento de onda.

Qualitativamente, a reflectância é uma propriedade da capacidade de um determinado objecto reflectir a radiação electromagnética que sobre ele incide. A reflectância depende da composição dos objectos e da sua textura.

Como foi visto, a intensidade média de fluxo radiante que atinge um objecto é designada por irradiância (E), que, visto poder ser medida para cada comprimento de onda ou para uma região específica do espectro electromagnético, recebe a designação E_λ . Por outro lado, a intensidade média do fluxo radiante reflectido recebe a designação de radiância (L), mas, pelas mesmas razões explicitadas para a irradiância, recebe a designação L_λ . Assim sendo, pode-se concluir que a reflectância representa a razão entre a radiância de um alvo pela irradiância incidente [1].

Um chamado corpo transparente apresenta valores elevados de transmitância, reflectindo e absorvendo pouca radiação electromagnética. Já um corpo opaco tem uma transmitância nula, e um corpo espelhado reflecte uma grande quantidade de radiação electromagnética, logo absorve pouco.

A análise conjunta da reflectância, absorptância e transmitância compõe o estudo do comportamento espectral dos alvos. No entanto, comumente enfatiza-se a análise da reflectância dos objectos, uma vez que a maioria dos sensores actualmente disponíveis para o estudo dos recursos naturais utiliza a radiação electromagnética reflectida por eles.

2.6 Espectroradiometria

A espectroradiometria pode ser entendida como a técnica utilizada em Detecção Remota com o intuito de medir a distribuição espectral de potência de radiação emitida por uma fonte. Para tal, a radiação deve ser separada em bandas de comprimentos de onda e, cada uma dessas bandas, medida separadamente. Uma curva de intensidade luminosa em função do comprimento de onda fornece a informação sobre as características espectrais da fonte. A radiação medida pode ser descrita de várias maneiras diferentes, dependendo de como é colectada a radiação que entra no sensor, designado por espectroradiómetro, e de como esta é processada pelo sistema [1].

Assim sendo, um espectroradiómetro é um sensor passivo utilizado para a medição da potência óptica radiante emitida. Estes aparelhos decompõem a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, possibilitando medir a resposta da superfície de maneira contínua ao longo de espectro electromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais.

Os espectroradiómetros realizam uma ampla leitura, com alta resolução espectral, podendo ser instalados a bordo de aeronaves, existindo também modelos portáteis, que permitem o estudo *in situ*. Este último factor distingue o espectroradiómetro, de outros aparelhos usados em Detecção Remota, pelo sua relativa mobilidade, assim como pelo facto de possibilitar uma menor distância entre o objecto de estudo e o sensor, o que se traduz na possibilidade de medição de uma área muito mais pequena.

Um espectroradiómetro é composto por três elementos básicos, uma entrada óptica (capta a radiação a ser medida), um monocromador (dispositivo para isolar cada radiação, em cada comprimento de onda, de um feixe de luz) e um detector (dispositivo utilizado para converter a energia radiante num sinal neural ou num sinal eléctrico) [8].

Pode-se ainda falar de espectroradiometria de reflectância, quando esta tem por função medir, em diferentes comprimentos de onda, a energia electromagnética reflectida da superfície dos objectos. A medida de reflectância é captada pelo espectroradiómetro, que decompõe a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, o que possibilita a medição da resposta do objecto de maneira contínua ao longo do espectro electromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais. Esta medição é feita pelos espectroradiómetros através da comparação entre o fluxo de radiação reflectida e a quantidade de radiação incidente sobre o alvo [1].

Refira-se também que a maioria dos espectroradiómetros cobre apenas as regiões do visível e do infravermelho próximo, uma vez que os detectores (fotoiodos) para estas regiões são bem mais simples, permitindo a construção de equipamentos relativamente baratos, portáteis e robustos para o uso em campo.

2.7 Calibração

A resolução radiométrica de uma imagem pode ser entendida como a sensibilidade de um sensor a diferenças de intensidade do sinal à medida que regista o fluxo reflectido, emitido ou transmitido pelo terreno. Esta resolução determina o número de níveis de sinal claramente discriminados pelo sensor. Assim, os valores dos píxeis em imagens normalmente expressam a quantidade de energia radiante recebida do sensor na forma de valores relativos não calibrados, simplesmente chamados de números digitais (DNs).

Contudo, a relação entre este valor numérico e as propriedades físicas dos objectos é influenciada por uma série de factores, como por exemplo, as características ópticas e electrónicas do sensor. Cada sensor possui o seu próprio critério para identificar os valores de radiância medidos na escala da sua resolução radiométrica (8 bits, 16 bits, etc), nas suas respectivas bandas espectrais. Pode-se mesmo afirmar que mesmo as imagens de um respectivo sensor, em diferentes bandas, não apresentam necessariamente compatibilidade entre os DN's.

Portanto, um valor de DN em duas imagens em diferentes bandas espectrais não está na mesma escala de cinzento. Isto é resultante na impossibilidade de comparação entre DN's de distintos sensores e entre diferentes bandas de um mesmo sensor.

A resolução destes obstáculos consiste na transformação dos DN's, recolhidos por um sensor, para valores associados a uma propriedade física, como por exemplo, temperatura ou reflectância. A este processo é dado o nome de calibração absoluta que, repita-se, é o meio de determinar e minimizar os efeitos dos diferentes factores que influenciam a relação entre os números digitais e as propriedades físicas, com vista a remover as perturbações causadas por eles, mantendo a máxima fidelidade entre os DN's e as propriedades físicas de um determinado objecto [9].

Refira-se que na calibração absoluta, a relação entre os DN's e os valores das propriedades físicas é normalmente uma função linear.

Existe ainda a chamada calibração relativa que permite determinar os parâmetros de ganho e *offset* de cada detector para corrigir as diferenças nas respostas dos detectores [9].

3. Material e Execução Prática

A componente prática deste trabalho incidiu na medição da reflectância das diferentes marcas de calibração do alvo, na obtenção de imagens nas bandas do infravermelho e do visível de diferentes áreas de teste e, para estas, a medição da reflectância de algumas zonas de amostra.

Para tal foi necessário recorrer, além do alvo, a um espectrorradiómetro e a uma câmara multiespectral.

3.1 Material

3.1.1 Alvo

Para este trabalho foi utilizado como alvo para a medição das reflectâncias, um alvo *GretagMacbeth™ ColorChecker®* (Figura 3.1).



Figura 3.1: Alvo *GretagMacbeth ColorChecker*.

Este alvo representa uma escala de cor, sendo composto por 24 marcas de calibração, ou seja, marcas de calibração de cores produzidas com pigmentos, e não por impressão, o que garante grande fidelidade cromática na calibração de aparelhos de captura de imagem [10]. Essas 24 marcas de calibração são montadas num cartão, com uma tira preta em redor de todos as marcas de calibração.

No que respeita às cores usadas neste tipo de alvo, elas são escolhidas de modo a representarem vários objectos naturais, cores que são problemáticas em representações cromáticas, cores primárias aditivas e subtractivas e uma escala de cinzento.

Este tipo de alvo é muito utilizado em trabalhos de fotografia e vídeo, uma vez que fornece uma série de cores de referência que podem ser usadas para preparação e ajustamento de imagens e produções de vídeo. É, provavelmente, um dos objectos mais fotografados e filmados no mundo.

3.1.2 Espectroradiómetro:

O espectroradiómetro utilizado neste trabalho é um espectroradiómetro portátil *FieldSpec® HandHeld* (Figura 3.2).



Figura 3.2: Espectroradiómetro *FieldSpec® HandHeld*.

Este aparelho tem uma resolução espectral de 3.5 nm, uma faixa de operação de 325–1075 nm e um campo de visada de 25°. É possível ter uma ligação a um computador, que, com recurso ao *software ASD RS²*, permite medir e visualizar em tempo real os gráficos de reflectância, irradiância, radiância e transmitância [11]. Não é demais realçar que no caso deste trabalho apenas foram obtidos valores de reflectância.

Na Tabela 3.1 encontram-se algumas das especificações do espectroradiómetro *FieldSpec® HandHeld*.

Tamanho	22 x 15 x 8 cm
Peso	≈ 1,2 Kg
Alcance espectral	325 - 1075 nm
Resolução espectral	3,5 nm em 700 nm
Intervalo de amostras espectrais	1.6 nm ou 0,6 nm
Taxa típica de recolha de dados (iluminação solar)	0,7 spectra/segundo

Tabela 3.1: Algumas especificações do espectraloradiómetro *FieldSpec® HandHeld*.

3.1.3 Câmara multiespectral:

A câmara utilizada neste trabalho foi a AD-080CL (Figura 3.3), uma câmara multiespectral de 2 CCD, que tem a particularidade de obter simultaneamente os espectros das bandas do visível e do infravermelho próximo captados pelo mesmo conjunto de lentes e posteriormente redireccionados para dois canais distintos com períodos de exposição diferenciados. O canal 1 refere-se ao visível e o canal 2 ao infravermelho próximo [12].



Figura 3.3: Câmara multiespectral AD-080CL (à esquerda a parte de trás da câmara; à direita a parte da frente).

A separação do espectro é precisa e é feita através de um prisma, que separa a parte visível do espectro numa banda entre os 400 e os 650 nm, ao passo que o infravermelho se encontra entre os 760 nm e os 1000 nm [12]. Daqui resultam duas imagens obtidas simultaneamente, uma no visível e outra no infravermelho. Este conceito está representado na Figura 3.4.

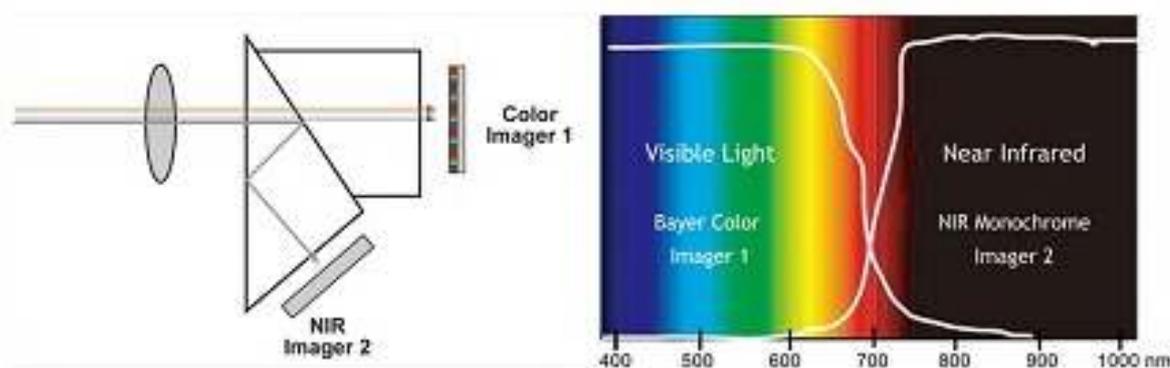


Figura 3.4: Conceito da divisão do espectro nas bandas do visível e do infravermelho próximo.

Esta técnica da captura simultânea das imagens no visível e no infravermelho próximo ajuda na resolução de variadas tarefas de inspecção. As propriedades superficiais são vistas no canal do visível, ao passo que o canal do infravermelho próximo detecta sob a superfície. Esta particularidade é usada em diferentes tipos de trabalho, como por exemplo, na inspecção de fruta e vegetais, onde o estado de maturação é visto no visível, enquanto contusões, desgaste ou dano causado por pestes, que se encontra debaixo da superfície, é revelado com o canal de infravermelho. Outras aplicações deste tipo de câmara incluem inspecção de notas, passaportes e bilhetes, inspecções electrónicas, etc [12].

As imagens geradas pela câmara AD-080CL são no formato 768 x 1024 pixels, podendo resultar de um disparo único ou cíclico, com uma taxa de repetição até 30 imagens por segundo. O período de exposição pode ser individualizado para cada canal, garantindo, para ambos, uma correlação sinal/ruído adequada [12].

A câmara possui ainda a integração com o software *CameraLink™*, assim sendo, é possível visualizar em tempo real as imagens.

Na Tabela 3.2 encontram-se algumas das especificações físicas e técnicas da câmara AD-080CL.

Sensores	Visível	1/3" CCD de cor <i>Bayer</i>
	Infravermelho próximo	1/3" CCD monocromático
Resolução máxima		1024 (h) x 768 (v)
Área activa		5,8 (h) x 4,92 (v) mm
Tamanho de pixel		4,65 μm
Velocidade de resolução máxima		30 imagens/s
Tempo de exposição		21 μs a 33ms
Dimensões		55 x 55 x 80 mm
Peso		400 g

Tabela 3.2: Algumas especificações da câmara multiespectral AD-080CL.

3.2 Execução Prática

A realização deste trabalho, em termos práticos, pode ser dividida em duas etapas. Na primeira etapa foram obtidas as reflectâncias das diferentes marcas de calibração do alvo, utilizando o espectroradiómetro, e numa segunda etapa foram obtidas as reflectâncias de algumas amostras, assim como a obtenção das imagens do visível e do infravermelho próximo, com recurso à câmara multiespectral referida na secção anterior.

3.2.1 Medição da reflectância das marcas de calibração do alvo

Tal como referido, a primeira etapa consistiu na medição da reflectância das diferentes marcas de calibração do alvo *GretagMacbeth™ ColorChecker®*.

Antes de cada medição de reflectância, com o espectroradiómetro, das diferentes marcas de calibração, efectuava-se a medição de uma placa de referência, nomeadamente a placa *Spectralon* (Figura 3.5), cuja reflectância é aproximadamente a de uma superfície Lambertiana, ou seja, uma superfície difusora perfeita onde a radiação é reflectida de forma uniforme em todas as direcções. A título de curiosidade, diga-se que esta placa é um fluopolímero, o

material que possui a maior reflectância difusa nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho próximo [13].



Figura 3.5: Placa de referência.

Nesta fase de calibração o espectroradiómetro mede a radiância da placa de referência e considera-a como tendo reflectância igual a 1, tudo o que é medido para a frente é com base nesta medição da placa de referência.

Deste modo, o procedimento consistiu em fazer a medição da superfície de referência, tendo o cuidado de que apenas esta preenchesse o campo de visada do espectroradiómetro, ou seja, tentar, o máximo possível, que não se abrangessem zonas fora da placa de referência. Como o espectroradiómetro estava conectado a um computador, através do software *R³*, foi possível visualizar em tempo real o respectivo gráfico da reflectância e, caso este fosse praticamente uniforme, com valor igual a 1, procedia-se à medição de um das marcas de calibração do alvo. Seguidamente, fazia-se uma nova medição da placa de referência, posteriormente de mais uma das marcas de calibração, e por aí adiante, até se obterem as medições das 24 marcas de calibração do alvo.

É importante salientar que, caso o gráfico obtido na medição da superfície de referência não fosse aceitável, voltava-se a repetir essa medição, pois de outro modo, os valores pretendidos das reflectâncias das marcas de calibração não seriam aceitáveis. É óbvio verificar que se a referência não for bem medida, tudo o que posteriormente parta desta base estará incorrecto.

Refira-se ainda que, à razão entre a quantidade de luz reflectida pela amostra a estudar e a reflectida, nas mesmas condições, por uma superfície Lambertiana dá-se o nome de factor de reflectância. Este factor depende das propriedades da amostra, da geometria de iluminação e da faixa espectral utilizada.

As medições das reflectâncias das diferentes marcas de calibração do alvo foram feitas sempre no mesmo local em quatro dias diferentes, todos eles sem nuvens no céu e sempre entre as 10:00 e as 12:00, visto serem as horas em que o ângulo de elevação solar é superior a 75° , o que leva à redução do efeito do ângulo solar na reflectância. Além disso são também horas onde é garantida uma grande intensidade de radiação. Uma vez que o espectroradiómetro é um aparelho que não tem muita sensibilidade, caso haja pouca radiação pode não ser possível conseguir fazer as medições.

Note-se que, para cada medição, tanto da placa de referência como das marcas de calibração, não se fez apenas uma observação dos valores. Uma vez que havia a probabilidade dos valores obtidos com o espectroradiómetro não serem correctos, decidiu-se realizar 10 observações, de modo a prevenir que uma das observações não fosse aceitável, ou seja, com 10 observações de cada medição previne-se, de certo modo, a instabilidade do espectroradiómetro.

Ressalve-se ainda o facto de, tal como foi feito para a placa de referência, se ter tido o máximo cuidado de apenas se tentar medir a reflectância de cada marca de calibração, tentando evitar reflectâncias provenientes de marcas de calibração vizinhos ou do solo, assim como o facto de se ter tentado, o máximo possível, proceder às medições em zonas planas, de modo a minimizar problemas relacionados com o sombreamento.

3.2.2 Aquisição das imagens multiespectrais das áreas de estudo e medição da reflectância de algumas zonas de teste

Nesta parte do trabalho foram adquiridas, com a câmara multiespectral, as imagens no visível e no infravermelho próximo. Foram obtidas imagens, contendo o alvo, de 8 diferentes locais, nomeadamente:

- Cimento: correspondente ao pavimento do exterior da FCUP.
- Superfície pintada: nomeadamente a parede do edifício do Departamento de Matemática.
- Granito: zona do passeio circundante dos jardins da FCUP.
- Pedra: relativa aos pequenos muros de pedra situados nas traseiras do Departamento de Matemática.

- Relva verde.
- Relva senescente.
- Metal: referente a uma tampa de esgoto.
- Terra.

Para além das imagens multiespectrais, foram também feitas medições das reflectâncias de diferentes zonas de amostra dos referidos locais, ou seja, numa zona abrangida pelas imagens multiespectrais eram escolhidas zonas homogéneas em redor do alvo, nas quais era feitas medições de reflectância, com recurso ao espectroradiómetro.

Estas medições, assim como a aquisição das imagens foram realizadas em dois dias distintos, ambos dias de Verão, de intenso calor, com o céu completamente sem nuvens. Anteriormente referiu-se o facto das medições da reflectância serem feitas preferencialmente entre as 10:00 e as 12:00. Contudo, neste caso as reflectâncias já foram medidas entre as 10:00 e as 16:00, mas, visto serem dias de Verão, o facto de se terem realizado algumas medições da parte da tarde não terá alterado os resultados.

O número de amostras de cada local variou consoante a maior ou menor facilidade em escolher diferentes zonas de amostra, assim, foram obtidas 4 amostras do cimento, 3 da superfície pintada, 4 do granito, 5 dos muros de pedra, 5 de relva verde, 5 de relva senescente, 5 de metal e 3 amostras da zona de terra.

4. Resultados

4.1 Medição da reflectância das marcas de calibração do alvo

A primeira fase deste trabalho consistiu na medição da reflectância das diferentes marcas de calibração do alvo *GretagMacbeth™ ColorChecker®*.

Para uma mais fácil distinção entre as marcas de calibração do alvo foi atribuído, a cada uma delas, um número. A Figura 4.1 representa a numeração usada para as diferentes marcas de calibração do alvo.

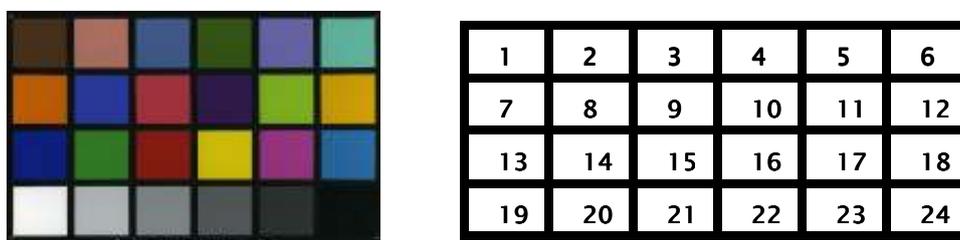


Figura 4.1: Alvo *GretagMacbeth™ ColorChecker®* (esquerda) e código usado na numeração das diferentes marcas de calibração (direita).

Estas medições, tal como referido anteriormente, procederam-se em quatro dias diferentes, sempre entre as 10:00 e as 12:00, e para cada medição de cada quadrado foram obtidos os valores de 10 observações diferentes.

À partida, a ideia mais intuitiva seria tomar a média dessas 10 observações, no entanto, uma vez que, dessas 10 observações, algumas vezes, existia pelo menos um dos valores que não era aceitável, o que levava a que a sua média fosse significativamente alterada, foi tomada a mediana desses valores como o valor correspondente da reflectância desse alvo.

De qualquer modo, as fases posteriores do trabalho foram desenvolvidas das duas maneiras, ou seja, usando tanto a média como a mediana, tendo em conta que não foi necessário eliminar manualmente nenhum dos valores da média, uma vez que os valores que não eram aceitáveis correspondiam sempre ao comprimento de onda de 1075 nm, e para a posterior análise apenas se usou um comprimento de onda máximo de 1000 nm.

É preciso ter em conta que os cálculos apresentados ao longo deste trabalho baseiam-se nos valores de mediana, com os resultados obtidos com média a

serem apenas usados na parte final do trabalho, para comparação com os que são obtidos com a mediana.

Então, com os valores da mediana foram feitos gráficos, com o intuito de se ter uma noção das diferenças das reflectâncias para os diferentes dias. Exemplificativamente apresenta-se na Figura 4.2 o gráfico da reflectância em função do comprimento de onda para os quatro diferentes dias da marca de calibração 10.

Refira-se ainda que o gráfico que representa a variação da reflectância espectral de um objecto em função do comprimento de onda é chamado curva de reflectância espectral.

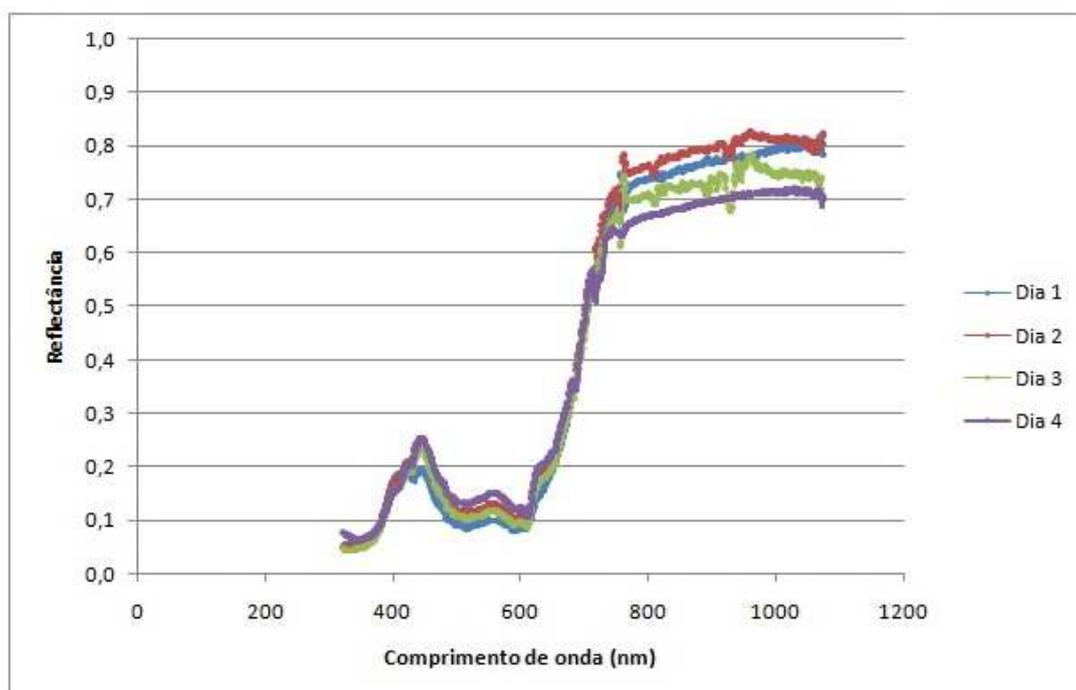


Figura 4.2: Reflectância em função do comprimento de onda, para os quatro diferentes dias, da marca de calibração 10.

4.2 Cálculo da reflectância equivalente das marcas de calibração do alvo

O manual das especificações técnicas da câmara multiespectral *AD-080 CL* fornece os gráficos da resposta espectral em função do comprimento de onda para a banda do infravermelho próximo e para as diferentes bandas do visível (vermelho, verde e azul). Estes gráficos podem ser vistos nas Figuras 4.3 e 4.4.

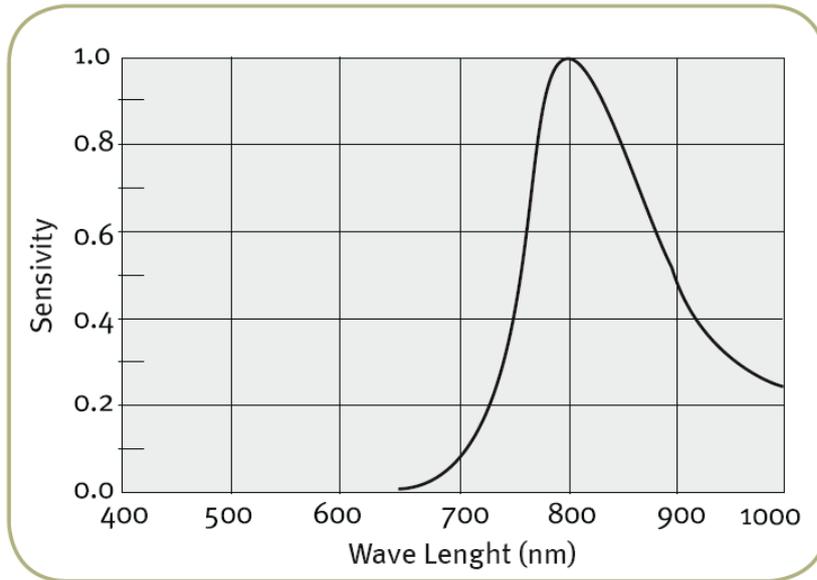


Figura 4.3: Gráfico, fornecido no manual da câmara, da resposta espectral em função do comprimento de onda para a banda do infravermelho próximo.

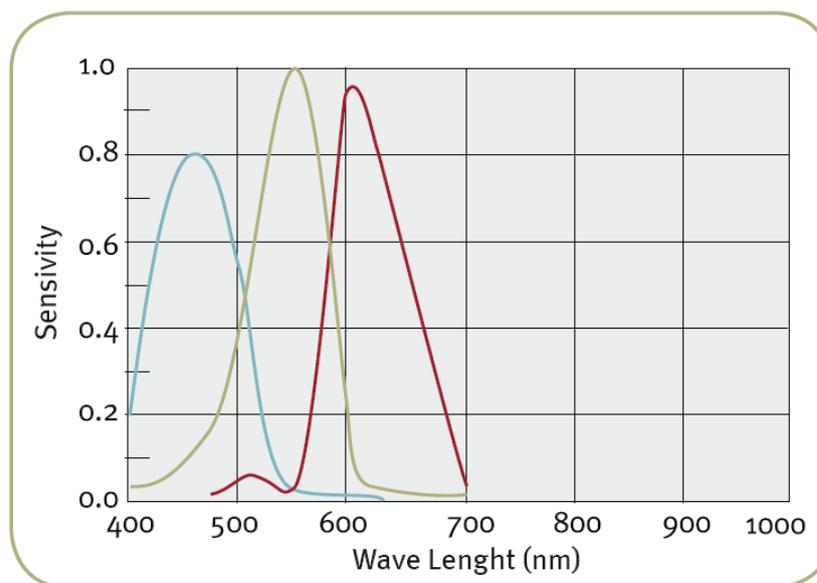


Figura 4.4: Gráfico, fornecido no manual da câmara, da resposta espectral em função do comprimento de onda para as bandas do visível.

Idealmente a resposta de um sensor seria de 100 % dentro do intervalo de comprimentos de onda utilizado e 0 % fora desse intervalo, contudo esse tipo de sensores apenas existe teoricamente, os sensores existentes não tem uma resposta deste tipo, tal como pode ver visto nas Figuras 4.3 e 4.4 [14].

O pretendido era ter os valores numéricos e não o simples gráfico, contudo, o fornecedor da câmara não forneceu os dados numéricos, pelo que eles tiveram de ser obtidos manualmente, seguindo o procedimento de, com recurso a uma

régua, dividir as quadrículas dos gráficos das Figuras 4.3 e 4.4 em pequenas quadrículas de 1 mm², ou seja, basicamente transformar a folha dos gráficos como se fosse, o mais próximo possível, uma folha de papel milimétrico.

De seguida, de 2 em 2 milímetros, foram obtidos os valores da resposta espectral e do comprimento de onda e com eles construíram-se gráficos da resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda. Na Figura 4.5 apresenta-se o resultado para a banda do infravermelho próximo. Os restantes gráficos podem ser vistos em anexo, nas Figuras A1.1 a A1.3.

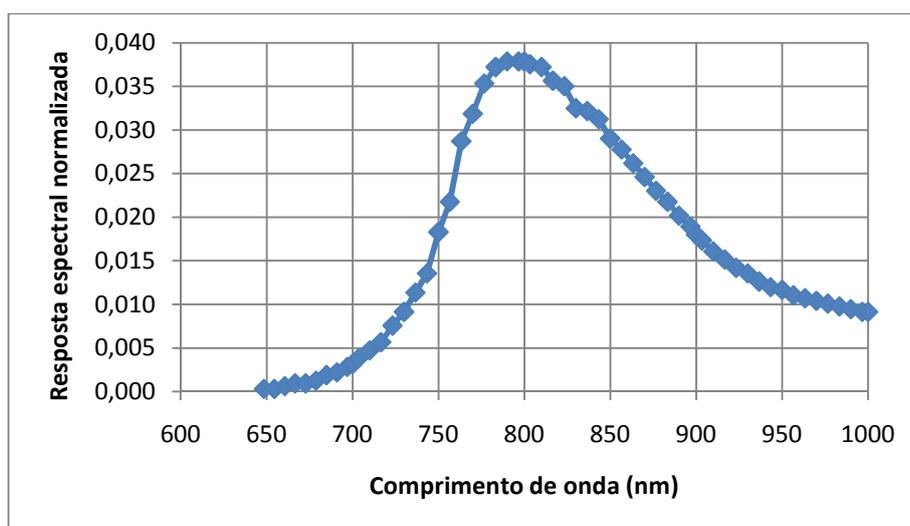


Figura 4.5: Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para a banda do infravermelho próximo.

Seguidamente procedeu-se ao cálculo das reflectâncias equivalentes para cada uma das marcas de calibração do alvo, usando para isso os valores da reflectância obtidos com o espectroradiómetro. Contudo os valores obtidos dos gráficos não coincidiam com os valores do espectroradiómetro, pelo que foi necessário interpolar estes valores para se ter a reflectância correspondente.

Para esta tarefa foi criado um código de *Matlab* que automaticamente fez a interpolação linear:

$$g(\lambda_x) = \frac{\lambda_b - \lambda_x}{\lambda_b - \lambda_a} f(\lambda_a) + \frac{\lambda_x - \lambda_a}{\lambda_b - \lambda_a} f(\lambda_b) \quad (3.1)$$

Nesta expressão λ_a e λ_b correspondem aos valores do comprimento de onda obtidos com o espectroradiómetro, λ_x os valores do comprimento de onda

extraídos manualmente dos gráficos. Já $f(\lambda_a)$ e $f(\lambda_b)$ estão associados às reflectâncias medidas com o espectralradiómetro.

Posto isto pôde-se calcular as reflectâncias equivalentes e, mais uma vez tendo em conta o facto dos quadrados dos gráficos das Figuras 4.3 e 4.4 não possuírem todos o mesmo tamanho, foi necessário contar com o peso de cada um dos quadrados. Recorrendo aos valores da resposta espectral normalizada e os valores da reflectância calculados por interpolação no *Matlab*, foi possível obter os valores da reflectância equivalente para cada uma das marcas de calibração do alvo, para cada um dos dias e para cada uma das bandas estudadas (Tabelas A2.1 a A2.4, em anexo).

Com base nestes valores foram determinados os valores mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância equivalente para cada banda e para cada uma das marcas de calibração do alvo, para cada um dos quatro dias. A apresentação gráfica destes resultados encontra-se nas Figuras 4.6 a 4.9. Para um consulta dos valores, estes encontram-se em anexo, nas Tabelas A3.1 a A3.4.

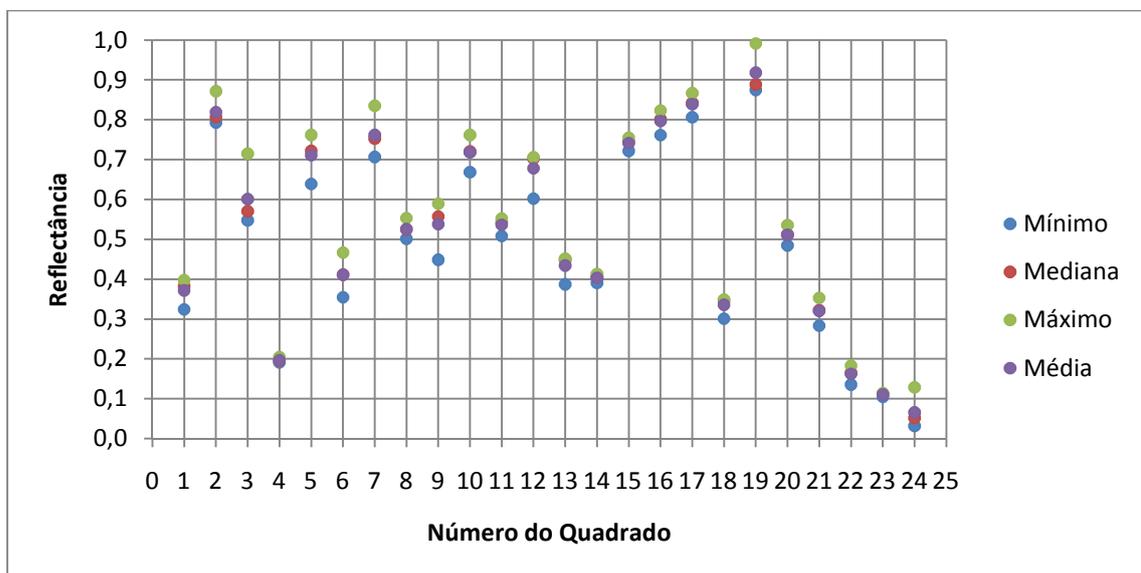


Figura 4.6: Representação gráfica dos valores mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância para as diferentes marcas de calibração, na banda do infravermelho próximo.

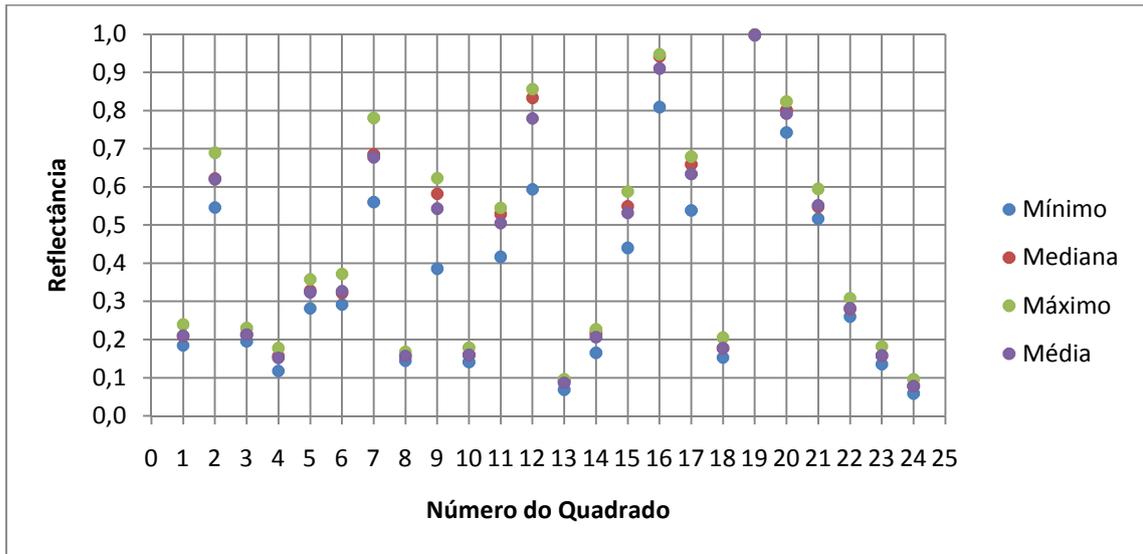


Figura 4.7: Representação gráfica dos valores mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância para as diferentes marcas de calibração, na banda do vermelho.

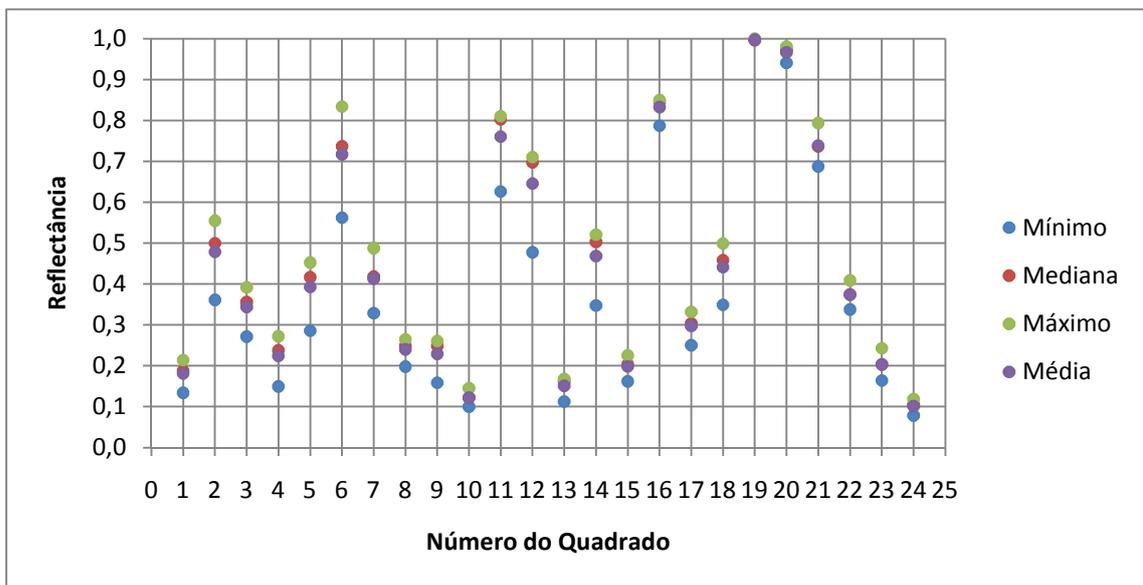


Figura 4.8: Representação gráfica dos valores mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância para as diferentes marcas de calibração, na banda do verde.

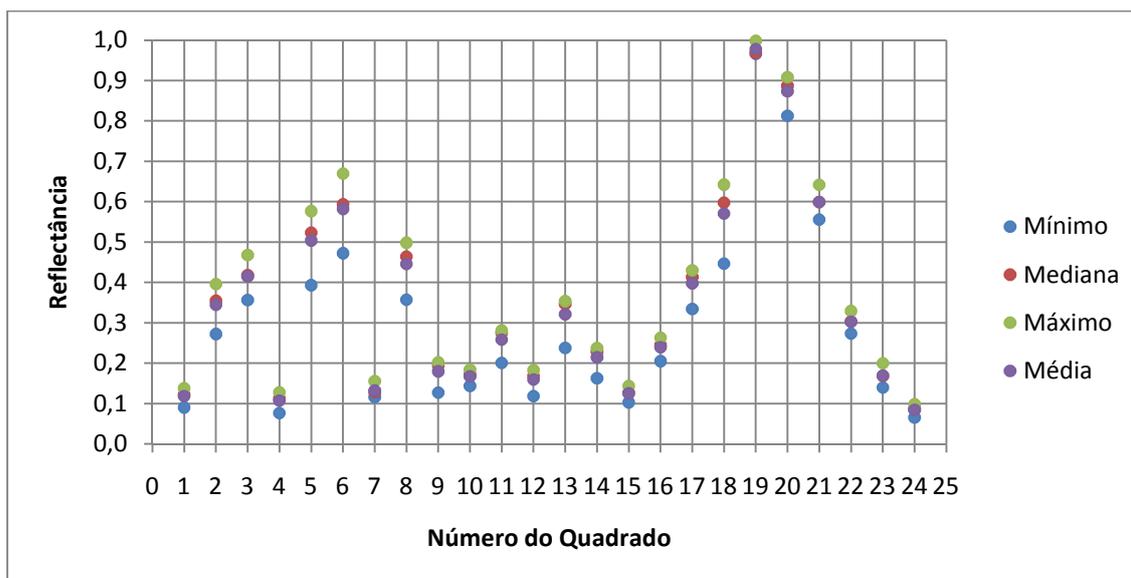


Figura 4.9: Representação gráfica dos valores mínimos, máximos, médias e medianas da reflectância para as diferentes marcas de calibração, na banda do azul.

Com base nos valores mínimos e máximos foram definidos critérios, baseados na diferença entre esses valores. O objectivo era simplesmente escolher, de entre todas as marcas de calibração, aquelas que apresentavam melhores resultados. Intuitivamente se verifica que quanto menor a diferença entre máximo e mínimo, mais fiável, para efeitos da calibração, será essa marca, isto é, significa que os valores nos quatro diferentes dias são mais próximos uns dos outros, logo de maior confiança.

O critério usado para a selecção das marcas de calibração a utilizar baseou-se na diferença entre os valores máximos e mínimos da reflectância ser menor que um determinado Δ . Foram então escolhidos três valores para Δ , nomeadamente, $\Delta_1 < 0,1$, $\Delta_2 < 0,075$ e $\Delta_3 < 0,05$, ou seja, um primeiro critério mais abrangente, um intermédio e um critério mãos rigoroso. Deste modo obtiveram-se, para as diferentes bandas, as marcas de calibração com as quais se procedeu à calibração. A lista das marcas usadas encontra-se na Tabela A4.1, em anexo.

4.3 Aquisição das imagens multiespectrais e medição da reflectância das zonas de amostra

Nesta fase do trabalho foram escolhidas 8 diferentes áreas para a obtenção das imagens multiespectrais contendo o alvo. O objectivo era ter áreas homogéneas e diferentes entre si, ou seja, compostas por diferentes materiais. Relembrando, as zonas de estudo foram, uma zona de cimento, relativa ao pavimento do exterior da FCUP, uma superfície pintada (parede do edifício do Departamento de Matemática), uma zona de granito (passeio circundante dos jardins da FCUP), os muros de pedra situados nas traseiras do Departamento de Matemática, uma zona de relva verde, outra de relva senescente, uma zona de metal, que correspondia a uma tampa de esgoto e uma zona de terra.

As imagens foram obtidas em dois dias diferentes, nas condições anteriormente referidas. Nas Figuras 4.10 e 4.11 estão exemplificadas, respectivamente, as imagens nas bandas do infravermelho e do visível, neste caso para a zona de relva verde.

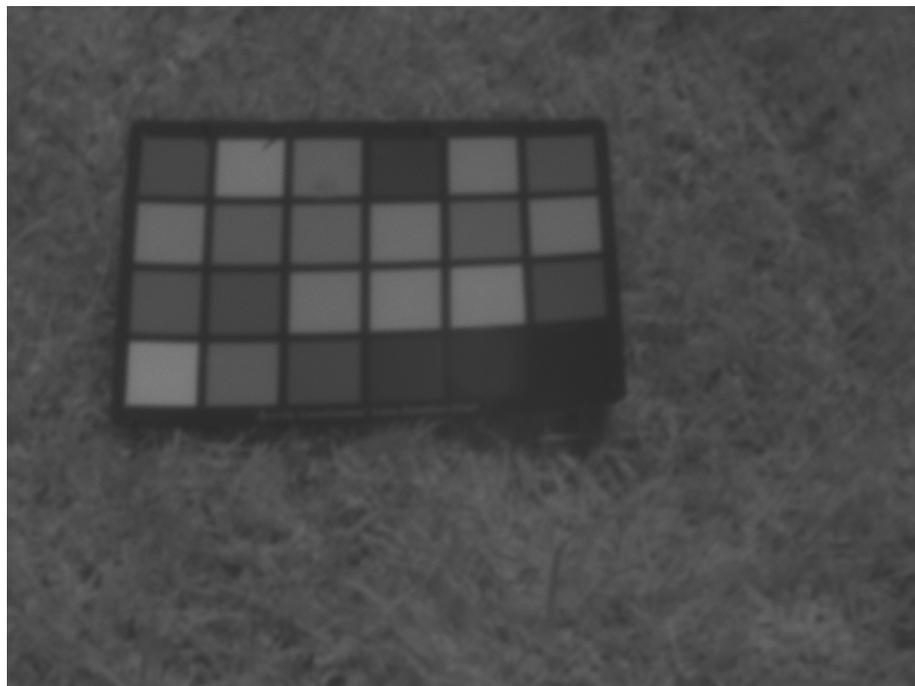


Figura 4.10: Imagem na banda do infravermelho próximo da zona de relva verde.



Figura 4.11: Imagem na banda do visível da zona de relva verde.

Recorde-se que as imagens das bandas do visível e do infravermelho próximo foram obtidas simultaneamente. Refira-se ainda que foram obtidas mais que uma imagem, de cada banda, tendo-se feito variar a abertura da entrada de luz (diafragma), ou seja, possibilitando o aumento e a diminuição da quantidade de radiação que a câmara recebia, variação esta que era pré-visualizada no computador que se encontrava conectado à câmara.

Para as oito diferentes áreas de estudo, foram escolhidas algumas zonas de amostra em redor do alvo, que estivessem contidas nas imagens, e nessas zonas foi medida a reflectância com recurso ao espectrorradiómetro. Na Figura 4.12 encontra-se mais um exemplo de uma imagem da banda do visível, neste caso da zona de granito, onde estão sinalizadas as zonas de amostra usadas.

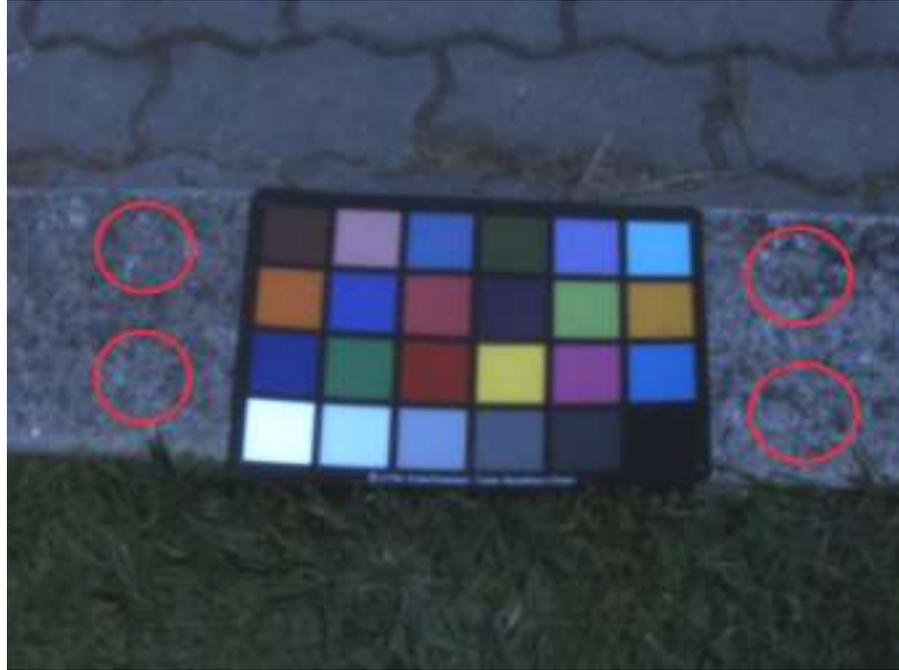


Figura 4.12: Imagem, na banda do visível, da zona de granito e onde estão simbolizadas as zonas de amostra utilizadas.

Os valores de reflectância, obtidos com o espectralradiómetro, das zonas de amostra sofreram então o mesmo procedimento referido para as reflectâncias das marcas de calibração do alvo. Relembrando, usou-se o código de *Matlab* para interpolar os valores da reflectância e utilizou-se a resposta normalizada de cada banda da câmara multiespectral para calcular a reflectância equivalente de cada uma das áreas de estudo. Estes resultados encontram-se nas Tabelas A5.1 a A5.96, em anexo, na linha correspondente a *Reflectâncias (espectralradiómetro)*.

4.4 Obtenção dos valores digitais das imagens multiespectrais

Como foi referido, foram obtidas diferentes imagens de cada zona de estudo, com diferentes aberturas do diafragma. Contudo, das imagens obtidas apenas foram escolhidas para análise as que não se encontravam saturadas.

A última linha da base do alvo vai de um quadrado branco até um quadrado preto, passando por quatro tons de cinzento, e permite ter a percepção se a imagem está ou não saturada, isto claro, na banda do visível. Nas imagens das Figuras 4.11 e 4.12 nota-se que não existe saturação, quando comparadas com a imagem da Figura 4.13, que é um bom exemplo de uma imagem saturada, onde

os três primeiros marcas de calibração da linha de baixo do alvo se apresentam muito semelhantes.



Figura 4.13: Imagem saturada, na banda do visível, da zona de relva verde.

Deste modo, para cada zona de estudo foram escolhidas duas imagens na banda do visível e as correspondentes na banda do infravermelho próximo, excepto para a área de relva senescente, onde só foi analisada uma imagem de cada banda, uma vez que as restantes se apresentavam todas saturadas.

Com estas imagens, o passo seguinte foi a obtenção dos DNs das marcas de calibração pretendidas para cada banda, tendo-se recorrido, para esse efeito, ao software *PCI Geomatica*[®]. O procedimento consistiu em criar *bitmaps*, ou seja, máscaras de uma zona envolvente ao centro de cada marca de calibração do alvo, tendo em atenção o facto de não se fazer um *bitmap* muito pequeno mesmo no centro do quadrado, nem um *bitmap* muito grande que abrangesse a quase totalidade do quadrado.

Com os valores obtidos dos DNs de cada marca de calibração foi possível proceder à elaboração de gráficos da reflectância em função do comprimento de onda e a respectiva relação linear. Um exemplo de um destes gráficos encontra-se na Figura 4.14, onde se apresenta o gráfico da reflectância em função do DN para a imagem 1, na banda do infravermelho próximo, da zona de cimento do exterior do Departamento de Matemática e utilizando o critério Δ_1 . Todos estes resultados apresentam-se em anexo nas Figuras A6.1 a A6.96.

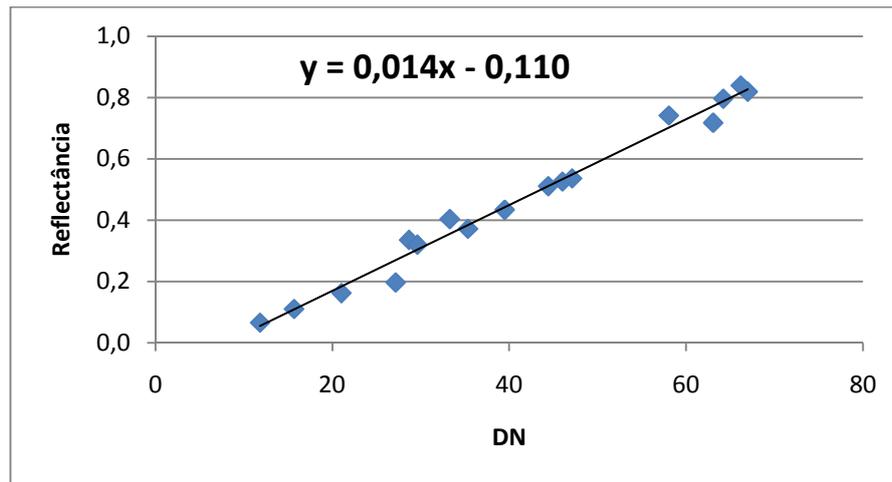


Figura 4.14: Gráfico da reflectância em função do DN, e respectiva relação linear, para a imagem 1, na banda do infravermelho próximo, da área correspondente à zona de cimento e utilizando o critério Δ_1 .

O passo final foi a obtenção dos DNs das zonas de amostra, onde o primeiro procedimento foi feito de igual forma ao da obtenção dos DNs das marcas de calibração do alvo, ou seja, mais uma vez, foram criados *bitmaps*, desta feita em torno das zonas de amostra. Extraídos os DNs dessas zonas, fez-se recurso das relações lineares obtidas anteriormente, isto é, substituiu-se, na correspondente relação linear, o valor do DN médio da zona de amostra, determinando-se assim a reflectância que, finalmente, é comparada com o valor obtido através das medições com o espectrorradiómetro das zonas de amostra.

A Tabela 4.1 representa um exemplo de uma tabela onde se encontram os valores obtidos das imagens multiespectrais e os medidos com o espectrorradiómetro, para a zona de cimento, na banda do infravermelho próximo da zona e utilizando o critério Δ_1 . Os restantes resultados podem ser consultados nas Tabelas A5.1 a A5.96 em anexo.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,26	0,29	0,29
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,23	0,24	0,26	0,26
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,25	0,24	0,30

Tabela 4.1: Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

5. Discussão dos Resultados

5.1 Medição da reflectância das marcas de calibração do alvo

Na primeira fase do trabalho o objectivo era, usando o espectroradiómetro, medir as reflectâncias de todas as marcas de calibração do alvo.

Realce-se a primeira dificuldade encontrada na elaboração deste trabalho, que se prendeu com a necessidade de se ter um dia de céu completamente limpo, o que nem sempre foi possível. Inclusive, num dos dias, as medições começaram por ser feitas com o céu completamente limpo e a meio tiveram de ser interrompidas visto terem começado a aparecer algumas nuvens e seguidamente neblina, o que levou a um completo descontrolo dos resultados da reflectância da placa de referência, tendo sido necessário o cancelamento das medições e a posterior repetição noutra dia.

Como já referido, antes da medição da reflectância de cada uma das marcas de calibração, procedeu-se à medição da radiância de uma placa de referência, cuja reflectância é aproximadamente a de uma superfície Lambertiana. Deste modo era feita a medição desta placa de referência, visualizava-se o respectivo gráfico no computador que estava conectado ao espectroradiómetro e, se o gráfico fosse aceitável, procedia-se à medição da reflectância das marcas de calibração do alvo.

Um problema encontrado nesta fase do trabalho esteve relacionado com o facto de, muitas das vezes, os valores da placa de referência não serem aceitáveis, tendo sido necessário fazer diversas medições consecutivas da placa de referência até se obter um valor aceitável para seguidamente se poder medir a reflectância de um quadrado do alvo pretendido. Esta dificuldade não pôde ser controlada, ou seja, fazendo a medição da placa de referência, tanto se obtinha uma série de valores aceitáveis, como seguidamente era preciso fazer cerca de 10 medições (nalguns casos até mais) até se obter uma aceitável. Não foi encontrada nenhuma justificação plausível para este facto, apenas foi possível verificar que não existia controlo para a instabilidade do espectroradiómetro.

Tendo um valor aceitável da medição da placa de referência procedia-se à medição da reflectância para cada um das marcas de calibração onde, para cada

comprimento de onda, se obtiveram 10 diferentes valores de reflectância, dos quais foi extraída a mediana desses valores. Relativamente a este facto, de se terem usado os valores de mediana ao invés dos valores da média, exemplificativamente apresenta-se a Figura 5.1, onde claramente se verifica que, usando a média, para o último valor do comprimento de onda obtém-se um valor de reflectância superior a 1, o que não é possível, visto os valores da reflectância variarem entre 0 e 1.

Este valor poderia ter sido eliminado manualmente, contudo optou-se por uma solução mais prática e correcta, que foi considerar a mediana dos 10 valores, o que já leva a que não hajam valores fora do intervalo entre 0 e 1.

A existência de valores de reflectância superiores a 1 está relacionada com as variações de iluminação, ou seja, é feita a medição da radiância da placa de referência e considera-se que esta possui uma reflectância igual a 1, todas as posteriores medições da reflectância terão por base este valor, assim, se existir uma variação das condições de iluminação é possível que alguns valores de reflectância se apresentem superiores a 1, mas como a reflectância está compreendida num intervalo entre 0 e 1, caso haja valores fora este intervalo é necessária a sua eliminação ou uma repetição da medição.

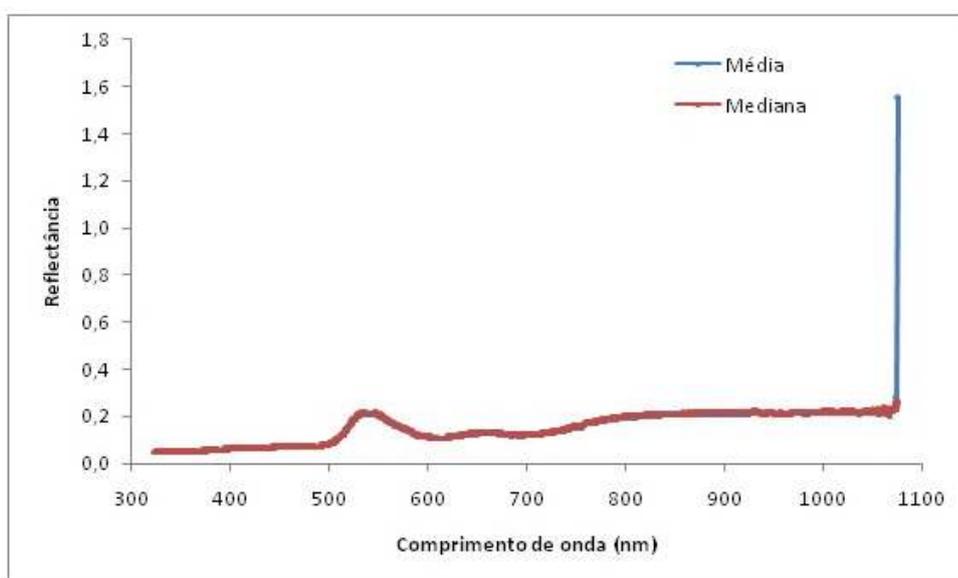


Figura 5.1: Reflectância em função do comprimento de onda da marca de calibração 4, para um dos dias de medição.

Relembre-se que os resultados apresentados e a sua análise apenas têm por base os resultados obtidos usando os valores da mediana. Os resultados utilizando a média apenas serão usados para comparação na secção 5.4.3.

Numa primeira análise, ainda que de modo grosseiro, dos gráficos das reflectâncias das diferentes marcas de calibração (tal como exemplificado na Figura 5.1), nota-se que os valores da média e da mediana não diferem muito entre si, o que leva a supor que os resultados finais não irão ser muito diferentes caso se opte pela média ou pela mediana.

De todas as marcas de calibração do alvo existem duas que podem ser analisadas de uma forma simplista, as marcas de calibração 19 e 24, ou seja, as marcas de calibração de cor branca e de cor preta, onde se esperariam, respectivamente, os valores de reflectância mais altos (idealmente 1) e os mais baixos (idealmente 0). Nas Figuras 5.2 e 5.3 encontram-se os gráficos da reflectância em função do comprimento de onda para estas duas marcas de calibração.

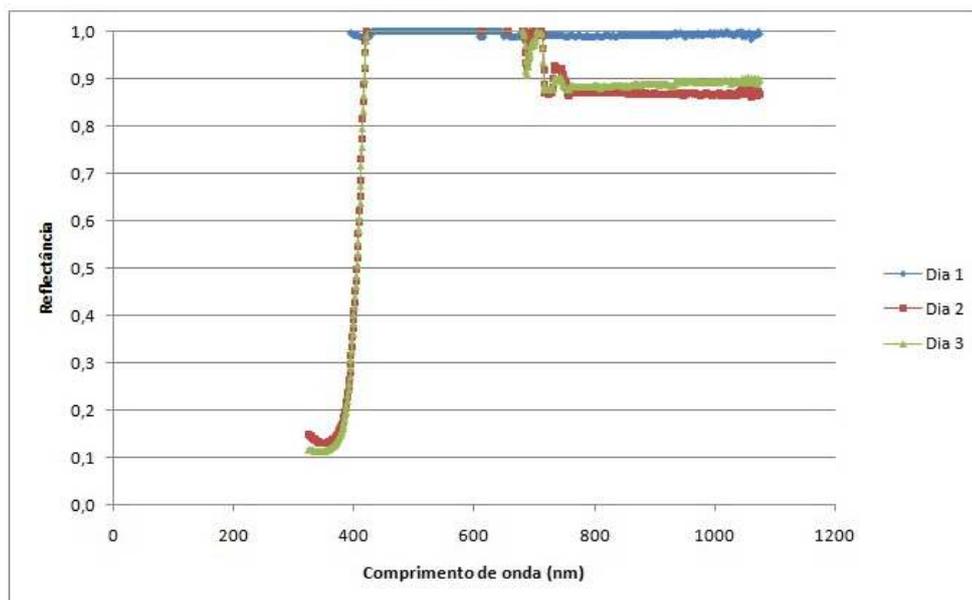


Figura 5.2: Reflectância em função do comprimento de onda para a marca de calibração 19 (branco).

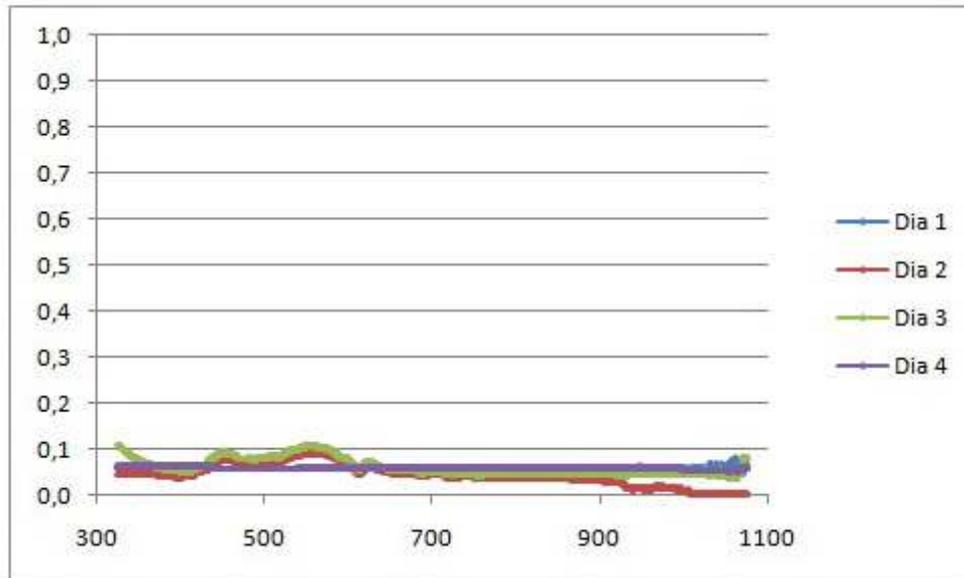


Figura 5.3: Reflectância em função do comprimento de onda para a marca de calibração 24 (preto).

Refira-se que para a marca de calibração 19 não foi utilizada a medição do 4º dia. Saliente-se que, na altura da medição, o gráfico que era visualizado parecia ser aceitável mas, na posterior análise, verificou-se que tal não era verdade uma vez que a maioria dos valores obtidos eram superiores a 1 e, tal como referido, estes valores não são aceitáveis pelo que se optou por não incluir esta medição.

Dos gráficos anteriores facilmente se verifica que os valores estão dentro do esperado, nota-se claramente que para a cor branca os valores se encontram muito próximos de 1 e para a cor preta obtiveram-se valores muito baixos (maioritariamente menores que 0,1). Para a cor branca verifica-se que para dois dos dias se obtêm valores baixos de reflectância até um certo comprimento de onda, aproximadamente 400 nm, ou seja, abaixo deste valor já não se está na banda do visível, mas sim na do ultravioleta, o que leva ao aspecto do gráfico evidenciado na Figura 5.2.

Devido ao facto da marca branca não ter uma reflectância igual a 1, assim como a marca preta não ter reflectância nula, pode-se inferir que estas cores, no alvo, não são cores perfeitas, sendo apenas uma boa aproximação do que seriam as cores perfeitas.

Para as restantes marcas de calibração, tal como para as duas apresentados anteriormente, nunca existiu uma total correspondência entre os valores obtidos para os diferentes dias, apesar de eles serem próximos uns dos outros. Isto provém do facto de as condições climatéricas não serem exactamente iguais, tal

como a quantidade de radiação incidente não ser igual, e de um facto muito importante, relacionado com a dificuldade da medição da reflectância das marcas de calibração do alvo, uma vez que cada marca apresenta dimensões reduzidas, o que dificultou a medição da reflectância com o espectroradiómetro, ou seja, torna-se praticamente impossível obter apenas a reflectância da marca pretendida, havendo sempre valores que provêm de zonas fora do quadrado.

Na tentativa de apenas se tentar visar uma marca de calibração era necessário que o espectroradiómetro se encontrasse muito próximo dela, o que levava a que a sombra do espectroradiómetro incidisse sobre a marca a medir, ou seja, era necessário ter atenção para que o espectroradiómetro não fizesse sombra no alvo. Além disso, era necessário ir rodando o alvo, e conseqüentemente o espectroradiómetro, de acordo com o movimento aparente do Sol em torno da Terra.

Realce-se que todas as dificuldades, apresentadas anteriormente, na medição da reflectância das marcas de calibração do alvo também se fizeram sentir nas medições da reflectância da placa de referência, que no entanto é um pouco maior do que cada marca de calibração do alvo.

5.2 Cálculo da reflectância equivalente das marcas de calibração do alvo

Como foi abordado, o manual da câmara fornecia os gráficos da resposta espectral em função do comprimento de onda para as diferentes bandas, contudo, foi necessário obter os valores numéricos, tendo-se para isso dividido as quadrículas dos gráficos fornecidos em quadrículas de 1 mm². Seguidamente, de 2 em 2 milímetros, obtiveram-se os valores da resposta espectral e do comprimento de onda. De referir que poder-se-iam ter obtido os valores numéricos de 1 em 1 mm, contudo tal processo seria muito moroso, tendo em conta a quantidade de valores. Não quer isto dizer que o tempo foi a única justificação para tal facto, foi feita uma primeira tentativa de proceder desta maneira, tendo-se chegado à conclusão que os resultados não variavam muito quer se fizesse de 1 em 1 ou de 2 em 2 milímetros.

O anterior procedimento não é o mais exacto uma vez que, como é óbvio, as quadrículas são feitas manualmente, logo nunca são perfeitas, no entanto, neste

caso, devido à impossibilidade de se terem os valores numéricos da calibração laboratorial, foi o procedimento possível, sendo, à primeira vista, verificável que os perfis dos gráficos obtidos da resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda (Figuras 4.5, A1.1, A1.2 e A1.3) são muito idênticos aos perfis dos gráficos da resposta espectral em função do comprimento de onda fornecidos com a câmara multiespectral (Figuras 4.3 e 4.4), o que leva à conclusão de que o procedimento foi bem realizado.

Como também foi referido, para a determinação das reflectâncias equivalentes foi necessário proceder a uma interpolação, visto que os valores do comprimento de onda obtidos dos gráficos da câmara não coincidiam com os obtidos com o espectroradiómetro. Um simples código de *Matlab* possibilitou a interpolação e uma também simples análise dos valores obtidos facilmente permitiu verificar que os mesmos se encontravam dentro do esperado.

Com os valores da reflectância para os quatro dias foi possível realizar a representação gráfica dos valores mínimo, máximo, da média e da mediana, representados nas Figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9.

Destes gráficos facilmente se extrai que os valores de reflectância das marcas de calibração cobrem toda a região entre 0 e 1, sendo verificável o já esperado, ou seja, para o quadrado 19 (branco) os valores da reflectância são máximos (próximos de 1) e para o quadrado 24 (preto) os valores são mínimos (próximos de 0). Tal é intuitivo, uma vez que, o branco é a cor que reflecte todos os raios luminosos, não absorvendo nenhum, logo apresenta uma clareza máxima, ao invés do preto que não apresenta clareza, uma vez que absorve todos os raios luminosos. Por outras palavras, o branco terá necessariamente de ter uma reflectância máxima ao contrário do preto que terá uma reflectância mínima.

Atendendo á última linha do alvo, esta representa uma escala de cinzento, indo do branco até ao preto. Pela análise das Figuras 4.6 a 4.9 é possível verificar que os valores da reflectância apresentam o perfil esperado onde, para todas as bandas, se nota uma natural diminuição desde a marca 19 (branco) até à marca 24 (preto).

Das Figuras 4.6 a 4.9 é ainda possível verificar que, dependendo da marca de calibração e dependendo da banda, os valores de mínimo e de máximo são ou não próximos uns dos outros. A título de exemplo, atente-se à marca de calibração 15 que para o infravermelho próximo e para o azul os valores de

máximo e de mínimo são muito idênticos, ao passo que para o vermelho e verde estas valores já não são tão idênticos.

Estas diferenças entre valores de mínimo e de máximo, para cada uma das bandas, foram a base dos critérios usados para a escolha das marcas utilizadas para a calibração, com a ideia básica de que quanto mais próximos estes valores, mais fiáveis serão as reflectâncias dessas marcas de calibração, visto que existe uma maior concordância dos valores das reflectâncias para os diferentes dias.

Deste modo foram então definidos três critérios diferentes, $\Delta_1 < 0,1$, $\Delta_2 < 0,075$ e $\Delta_3 < 0,05$. Intuitivamente é esperado que quanto mais restrito for o critério menor o número de marcas de calibração que irá ser usado, assim, facilmente se verifica, da Tabela A4.1, em anexo, que para o critério Δ_1 foram utilizadas 17 marcas de calibração para a banda do infravermelho próximo, 16 para a banda do vermelho, 12 para verde e 17 para a banda azul. Com o critério Δ_2 foram utilizadas 14 marcas de calibração para o infravermelho próximo, 12 para o vermelho, 9 para o verde e 13 para o azul e, finalmente, com o critério mais restrito de todos (Δ_3) foram apenas utilizadas 7 marcas de calibração para o infravermelho próximo, 8 para o vermelho, 4 para a banda do verde e 6 para o azul.

Pode-se desde já frisar que utilizando o critério Δ_3 , para a banda do verde apenas se têm 4 marcas de calibração, ou seja, um número muito reduzido, o que leva à conclusão que para esta banda este critério não será muito eficaz, visto que o pretendido é ter-se um vasto conjunto de valores, o mais fiáveis possível, ou seja, um critério rigoroso mas com um bom número de marcas de calibração disponíveis que cubram toda a gama de reflectâncias, desde as mais baixas às mais altas.

Apesar deste reduzido número de marcas de calibração, decidiu-se proceder à mesma com a aplicação deste critério para a banda do verde, mais não seja para efeitos de comparação dos resultados com os outros critérios.

5.3 Aquisição das imagens multiespectrais e medição da reflectância das zonas de amostra

As zonas de teste escolhidas foram: cimento, superfície pintada, granito, pedra, relva verde, relva senescente, metal e uma zona de terra.

A conexão da câmara a um computador permitiu visualizar as imagens antes da sua aquisição, contudo, devido ao facto de todo o trabalho ser realizado num dia de Sol sem nuvens, levou a que a forte iluminação dificultasse a visualização das imagens, logo, não era fácil saber se as imagens estavam ou não saturadas. Assim, por via das dúvidas, adquiriram-se diversas imagens da mesma zona, com diferentes aberturas da entrada de luz, tentando, o máximo possível, controlar se havia ou não saturação.

Posteriormente estas imagens foram visualizadas no computador, com melhores condições de iluminação, permitindo, através da linha de cinzento da base do alvo, na banda do visível, distinguir as imagens válidas das que se apresentavam saturadas. Chegou-se então à conclusão que havia duas imagens não saturadas para cada área de estudo, com excepção da zona de relva senescente, onde apenas uma imagem não se encontrava saturada.

Seguidamente procedeu-se à medição, com recurso ao espectroradiómetro, da reflectância de algumas zonas de amostra, que estivessem contidas nas imagens. Contudo, antes desta medição, para cada uma das zonas, procedeu-se à medição da reflectância de três marcas de calibração do alvo, nomeadamente os marcas de calibração 1, 11 e 19, naquilo a que se pode chamar um processo de controlo, isto é, visualizavam-se os gráficos correspondentes a essas três marcas de calibração de modo a verificar se estavam dentro do esperado, ou seja, se eram idênticos aos obtidos para os quatros dias em que foram medidas as reflectâncias de todos as marcas de calibração do alvo. Refira-se que a marca 19 foi escolhida por ser a mais simples de verificar a consistência dos resultados, uma vez que os valores deveriam andar por volta de 1, enquanto as marcas 1 e 11 foram escolhidas de forma puramente aleatória.

Na Figura 5.4 é possível verificar a consistência dos resultados para a marca 19, com os valores de controlo a serem praticamente idênticos aos valores dos dias 1 e 2. Refira-se que para as outras marcas de calibração e para as outras zonas também foi encontrada uma consistência nos valores.

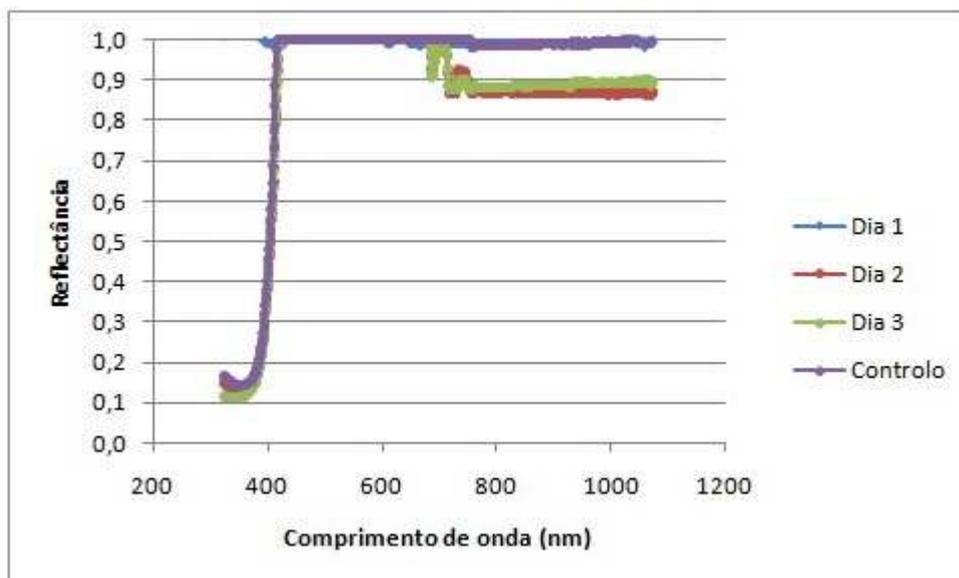


Figura 5.4: Valores, para três diferentes dias e para a medição de controlo, da reflectância em função do comprimento de onda para o quadrado 19 (branco).

No que diz respeito à medição da reflectância das zonas de amostra foi necessário ter o cuidado de apenas se abranger a zona que realmente era pretendida, por exemplo, a zona de terra não era muito espaçosa, por isso, tentou-se ao máximo abranger apenas a parte de terra e não a relva em redor. Contudo não se pode concluir que esta tarefa tenha sido completamente executada, visto que, mais uma vez, foi impossível determinar qual a total zona que era abrangida pelo espectroradiómetro e como tal, em certas zonas, apesar de todo o cuidado, poderão ter sido abrangidas áreas que não eram desejáveis.

5.4 Cálculo da reflectância das zonas de amostra, com recurso às imagens multiespectrais

Como se referiu, algumas das imagens multiespectrais adquiridas apresentavam-se saturadas, deste modo, estas imagens não foram utilizadas na análise que se segue, tendo sido apenas usados duas imagens na banda do visível e as respectivas no infravermelho próximo, para cada uma das áreas de estudo, excepto para a zona de relva senescente, onde apenas foi utilizada uma imagem para cada banda.

O passo seguinte consistiu na extracção dos valores digitais das marcas de calibração do alvo, tendo sido extraídos os valores digitais de todas as marcas de

calibração e posteriormente seleccionados os que eram pretendidos (Tabela A4.1, em anexo). Desta fase do trabalho há que realçar que os *bitmaps* criados tinham todos aproximadamente o mesmo tamanho e eram criados de modo a não conter apenas o centro da respectiva marca de calibração, mas uma área com cerca de metade da área da marca de calibração, centrada no seu centro. Destes *bitmaps* retiraram-se os valores da média.

Por fim, destaque para os valores encontrados para o desvio padrão, que foram sempre valores pequenos e portanto aceitáveis. Exemplificativamente, para valores médios na ordem de 50 pixels o desvio padrão encontrava-se entre 1 e 2 pixels, e para valores médios de 220 o desvio padrão foi de 3 pixels. Refira-se ainda que para a banda do infravermelho próximo foram obtidos os menores valores de desvio padrão, por outro lado, os maiores valores foram obtidos na banda do azul.

5.4.1 Obtenção dos valores digitais das zonas de amostra

No que toca à obtenção dos valores digitais para as zonas de teste, o procedimento foi idêntico ao anterior, no entanto, agora os *bitmaps* já possuíam maiores dimensões, mais propriamente, abrangiam a área que se supõe ter sido medida com o espectroradiómetro, pois só assim se poderá ter uma boa comparação final de valores. Não é demais frisar que tal área não é propriamente bem conhecida, uma vez que é impossível ter um conhecimento da real área que o espectroradiómetro está a abranger no momento das medições.

No que respeita às zonas de amostra, era pretendido que estas fossem homogéneas e, obtidos os valores digitais dessas zonas, a primeira nota de realce vai para o facto de se ter constatado que, quer se usassem *bitmaps* maiores ou mais pequenos, os resultados eram muito idênticos, o que significa que, de facto, as zonas podem ser consideradas razoavelmente homogéneas.

Tal como na obtenção dos valores digitais das marcas de calibração do alvo, também neste caso dos valores digitais das zonas de amostra, foram utilizados os valores correspondentes à média. Contudo, desta vez, os valores do desvio padrão não foram tão aceitáveis como no caso anterior.

De novo se verificou que, para todas as zonas de amostra, a banda do infravermelho era a que possuía menores valores de desvio padrão (entre 0,7 e

4,0 pixels para valores médios aproximadamente entre 18 e 73 pixels), seguida da banda do vermelho (valores entre 1 e 10 para valores médios entre 15 e 135), depois a banda do verde (desvio padrão entre 1 e 14 pixels para médias entre 25 e 180 pixels) e por último a banda do azul com os mais elevados valores de desvio padrão. Para esta última banda chegou-se mesmo a ter casos de valores de desvio padrão de 9,8 pixels para um valor médio de 31,0 pixels, ou ainda, para uma média de 191,1 pixels um desvio padrão de 25,2 pixels. Daqui se pode inferir o facto de que para a banda do azul os valores não serão tão aceitáveis como para as outras bandas.

Poder-se-ia pensar que para o azul, os elevados valores de desvio padrão poderiam estar relacionados com a dispersão do azul, provocada pela atmosfera. Contudo, as imagens foram todas obtidas ao nível do solo, com a câmara a cerca de 0,5 metros do objecto de estudo, portanto o efeito de dispersão de Rayleigh pode ser desprezado. Outra possível explicação pode estar relacionada com a sensibilidade do sensor, que não é a mesma para todas as bandas, assim como poderá ser um efeito causado pela lente da câmara, entre outras possíveis causas, não tendo sido possível apurar a justificação para estes resultados.

Note-se ainda que, para todas as bandas, os piores valores de desvio padrão foram as zonas de relva verde e as de relva senescente, ao passo que os melhores valores foram para as zonas da superfície pintada e de terra.

Com os valores digitais obtidos para as diferentes marcas de calibração e tendo em conta os diferentes critérios, foram criados, para todas as imagens usadas, gráficos da reflectância em função do valor digital, tendo-se obtido, para cada gráfico, uma relação linear.

Com esta relação linear o passo final consistiu na simples substituição dos valores digitais das zonas de amostra na relação linear, o que resulta no valor de reflectância obtido das imagens multiespectrais, que de seguida é comparado com o valor de reflectância obtido pelas medições com o espectroradiómetro das zonas de amostra.

5.4.2 Análise dos resultados para as diferentes áreas de estudo

Antes de passar à discussão dos resultados para cada uma das áreas de estudo, há que ter em conta alguns pormenores. O primeiro está relacionado com o facto

de, após a extracção dos DN das marcas de calibração, se ter verificado que, para as bandas do visível, alguns das marcas de calibração se apresentavam saturados, ou seja, com um valor de DN de 255. Assim sendo, na criação dos gráficos da reflectância em função do DN, não foram utilizados estas marcas de calibração, o que em alguns casos limitou o número de marcas de calibração disponíveis, principalmente para a banda do verde usando o critério Δ_3 . Relembre-se que nesta banda, com este critério, apenas existiam 4 marcas de calibração, que como foi visto é um número reduzido, que mais reduzido fica com a saturação de uma delas. Como adenda diga-se que a marca 19 (branco) foi a que na maioria das vezes apresentou saturação.

Há que referir também que, com o aumento da rigorosidade do critério, como é natural, vão-se tendo cada vez menos marcas de calibração, e por conseguinte, a gama de valores de reflectância fica reduzida. Isto acontece, como é óbvio, para todas as bandas, em especial para a banda do azul que, em muitos casos apresenta uma gama de reflectâncias muito baixa (em alguns casos com todos os valores abaixo de 0,2).

Outro aspecto a ter em conta deve-se ao facto de se ter experimentado, para as bandas do visível, eliminar alguns dos valores que pareciam se afastar da linha de tendência do gráfico. Refira-se que este procedimento não foi efectuado para a banda do infravermelho próximo, uma vez que havia uma boa correspondência entre os valores e a linha de tendência.

Na Figura 5.5 encontra-se o gráfico da reflectância em função do DN da imagem 1 da zona de relva verde, para a banda do vermelho e utilizando o critério Δ_3 . Para esta figura, e com base na ideia expressa, foram retirados as 3 marcas de calibração com maior DN (e também maior reflectância), visto serem os que não estavam tão próximos pela linha de tendência.

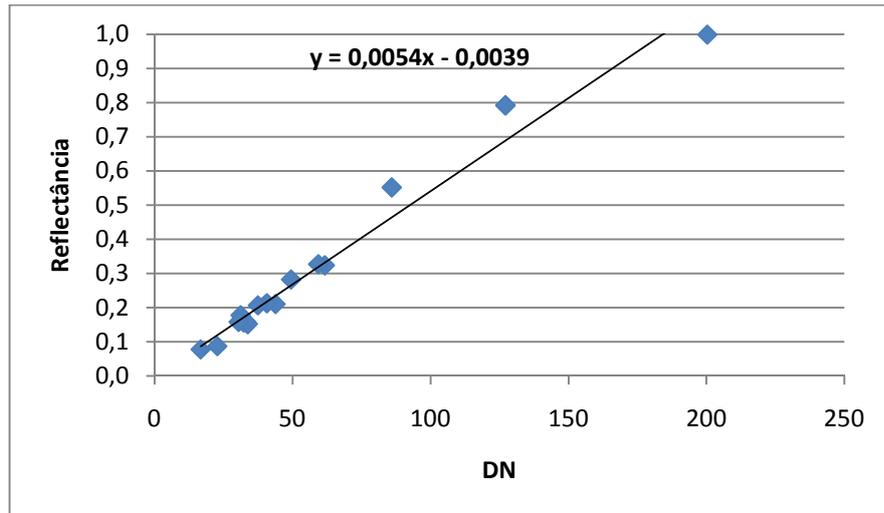


Figura 5.5: Gráfico da reflectância em função do DN da imagem 1 da zona de relva verde, para a banda do vermelho e utilizando o critério Δ_1 .

Facilmente se depreende que ao retirar essas marcas de calibração a linha de tendência já estará mais de acordo com as marcas de calibração que restam mas, por outro lado, perdem-se os valores de maior reflectância, ou seja, a gama de valores de reflectância já não é tão vasta como se pretende. Apesar disto, para uma grande maioria dos gráficos, procedeu-se a esta abordagem, com vista a comparar os resultados obtidos.

Refira-se ainda que, para cada área de estudo, as diferentes imagens utilizadas representam diferentes aberturas do diafragma, ou seja, a quantidade de radiação incidente foi diferente, o que leva a que os resultados sejam diferentes consoante a imagem que se use.

Posto isto, passar-se-á à análise dos resultados obtidos para as diferentes áreas de estudo, para as diferentes bandas e critérios.

5.4.2.1 Cimento

Para a banda do infravermelho próximo os valores de reflectância obtidos das imagens multiespectrais são próximos dos medidos com o espectrorradiómetro, o mesmo sucedendo para os 3 diferentes critérios, sendo o critério Δ_1 o que, no geral, apresenta melhores resultados, seguido do critério Δ_2 e finalmente o Δ_3 que apresenta resultados ligeiramente piores que os anteriores.

Na banda do vermelho, os resultados obtidos com o critério Δ_1 são semelhantes aos obtidos para os outros dois critérios mas, em qualquer dos casos, não são

tão próximos dos medidos com o espectroradiómetro, quando comparados com os resultados da banda do infravermelho próximo.

No que diz respeito à banda do verde, os resultados também não foram muito diferentes, sendo que, no geral, o critério Δ_2 é o que apresenta melhores resultados. Para esta banda, como foi referido, o critério Δ_3 não é uma boa opção, uma vez que apenas estão disponíveis 3 marcas de calibração, contudo, apesar deste facto, os resultados são semelhantes aos obtidos com os outros dois critérios e, para algumas amostras, até melhores do que os obtidos com o critério Δ_1 .

Relativamente à banda do azul, a gama de valores de reflectância não foi boa, o melhor dos casos foi uma gama de reflectâncias inferiores a 0,6, contudo, para todos os critérios obtiveram-se valores próximos do esperado. Para os critérios Δ_2 e Δ_3 a gama de valores era consideravelmente baixa, no entanto os resultados estão próximos dos obtidos com o espectroradiómetro.

Com o intuito de uma melhor compreensão dos resultados obtidos e em forma de resumo, foi calculado o erro relativo, em percentagem (5.1), obtido da comparação entre a reflectância medida com o espectroradiómetro e a obtida das imagens multiespectrais (Tabela 5.1).

$$\delta = \left| \frac{\rho_{\text{espectroradiómetro}} - \rho_{\text{imagens}}}{\rho_{\text{espectroradiómetro}}} \right| \cdot 100\% \quad (5.1)$$

Com base na expressão 5.1, os valores da Tabela 5.1 são expeditamente interpretados de modo a que quanto mais próximos os valores obtidos com o espectroradiómetro e os obtidos das imagens multiespectrais menor será o erro relativo. A análise desta tabela consolida o que foi referido anteriormente para os resultados desta área de estudo, notando-se que, em alguns casos, se tem um erro relativo de 0,0%.

É de salientar que os valores das reflectâncias obtidos com o espectroradiómetro não são valores infalíveis. Tal como foi referido, o uso do espectroradiómetro levantou alguns problemas, alguns de natureza desconhecida, como tal, torna-se impossível afirmar que estes valores são em rigor os correctos. A situação ideal seria, como é óbvio, ter valores iguais para as reflectâncias obtidas das imagens multiespectrais e das medidas com o espectroradiómetro.

Infravermelho Próximo					
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Δ_1	Imagem 1	8,70 %	4,00 %	20,83 %	3,33 %
	Imagem 2	0,00 %	4,00 %	8,33 %	13,33 %
Δ_2	Imagem 1	0,00 %	28,00 %	25,00 %	6,67 %
	Imagem 2	4,35 %	32,00 %	29,17 %	16,67 %
Δ_3	Imagem 1	8,70 %	36,00 %	37,50 %	13,33 %
	Imagem 2	4,35 %	32,00 %	29,17 %	13,33 %
Vermelho					
Δ_1	Imagem 1	16,67 %	14,71 %	6,45 %	38,10 %
	Imagem 2	20,00 %	11,76 %	3,23 %	33,33 %
Δ_2	Imagem 1	16,67 %	2,94 %	3,23 %	16,67 %
	Imagem 2	30,00 %	11,76 %	9,68 %	28,57 %
Δ_3	Imagem 1	16,67 %	5,88 %	3,23 %	16,67 %
	Imagem 2	13,33 %	11,76 %	12,90 %	9,52 %
Verde					
Δ_1	Imagem 1	16,22 %	14,63 %	5,26 %	36,00 %
	Imagem 2	30,70 %	24,39 %	18,42 %	42,00 %
Δ_2	Imagem 1	18,92 %	4,88 %	2,63 %	16,00 %
	Imagem 2	29,73 %	9,76 %	10,53 %	28,00 %
Δ_3	Imagem 1	21,62 %	7,32 %	0,00 %	18,00 %
	Imagem 2	32,43 %	12,20 %	13,16 %	28,00 %
Azul					
Δ_1	Imagem 1	11,54 %	6,90 %	7,41 %	26,47 %
	Imagem 2	19,23 %	10,34 %	0,00 %	26,47 %
Δ_2	Imagem 1	30,77 %	20,69 %	18,52 %	29,41 %
	Imagem 2	50,00 %	37,93 %	37,04 %	47,06 %
Δ_3	Imagem 1	19,23 %	10,34 %	7,41 %	20,59 %
	Imagem 2	38,46 %	27,59 %	25,93 %	38,24 %

Tabela 5.1: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiômetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona de cimento.

Os resultados obtidos podem ainda ser representados de maneira gráfica, nomeadamente, em gráficos da reflectância das zonas de amostra, obtida com o espectroradiômetro, em função da reflectância dessas zonas, extraída das imagens.

De uma maneira mais geral, estes gráficos permitem ter uma noção dos resultados encontrados. É intuitivo verificar que se, para todas as amostras, o valor de reflectância for o mesmo para os dois métodos de obtenção (espectrorradiómetro e imagens), então num gráfico deste tipo será uma recta com declive igual a 1. Assim, nos gráficos são representados os valores das reflectâncias e também a recta de declive igual a 1, de modo a ser poder ter uma melhor noção do gráfico.

Nas Figuras 5.6 a 5.9 estão representados os referidos gráficos, para as diferentes bandas.

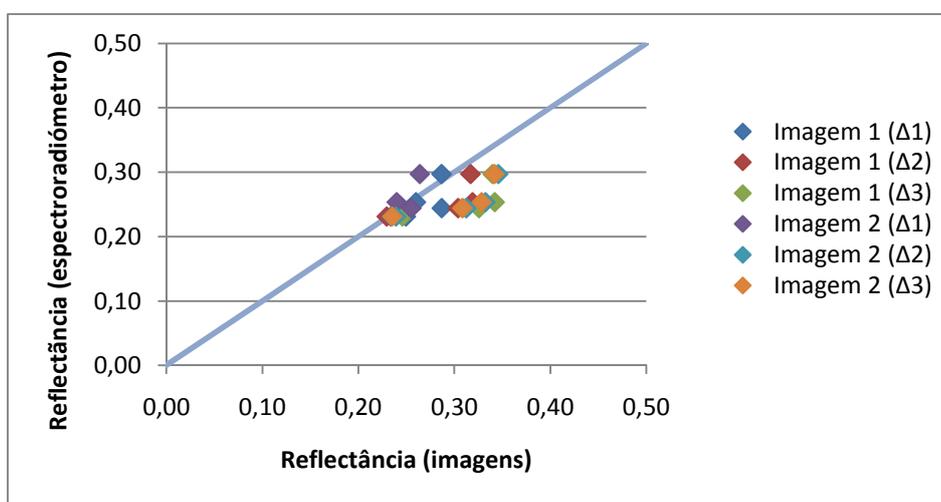


Figura 5.6: Reflectância medida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de cimento, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

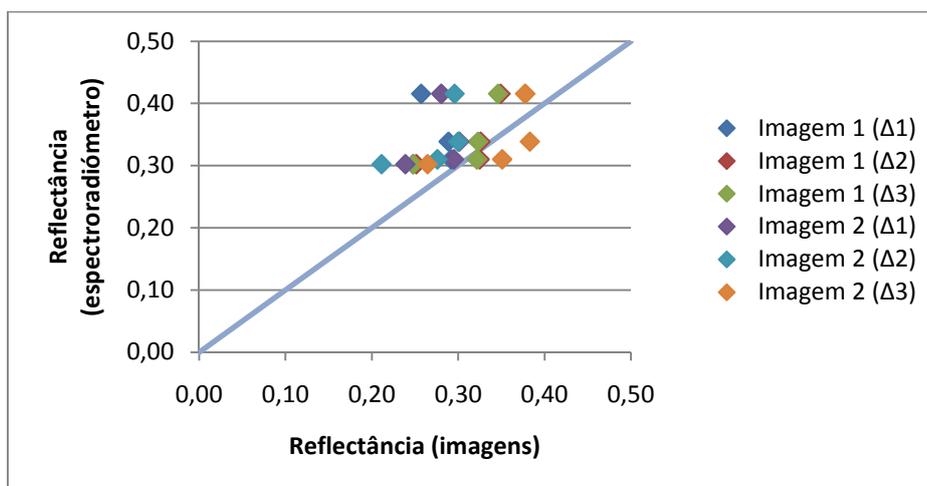


Figura 5.7: Reflectância medida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de cimento, para a banda do vermelho e para todos os critérios.

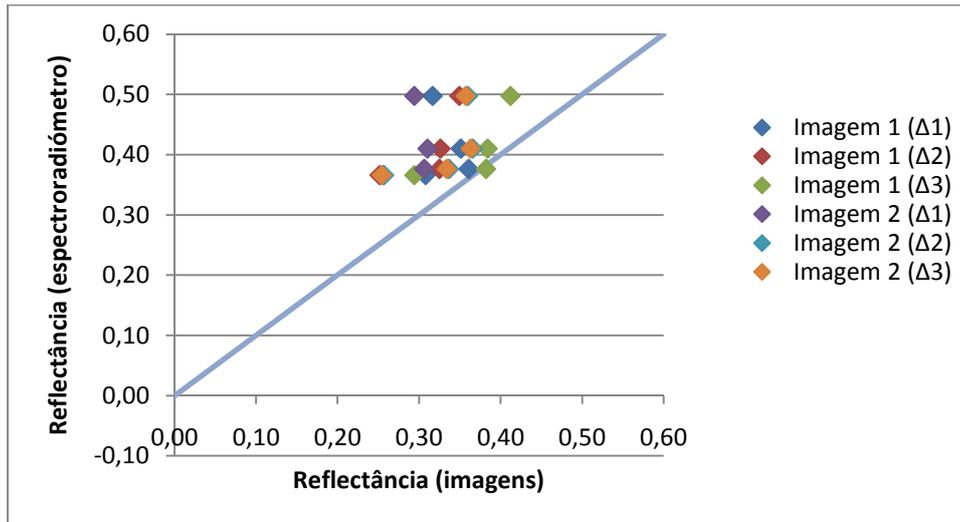


Figura 5.8: Reflectância medida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de cimento, para a banda do verde e para todos os critérios.

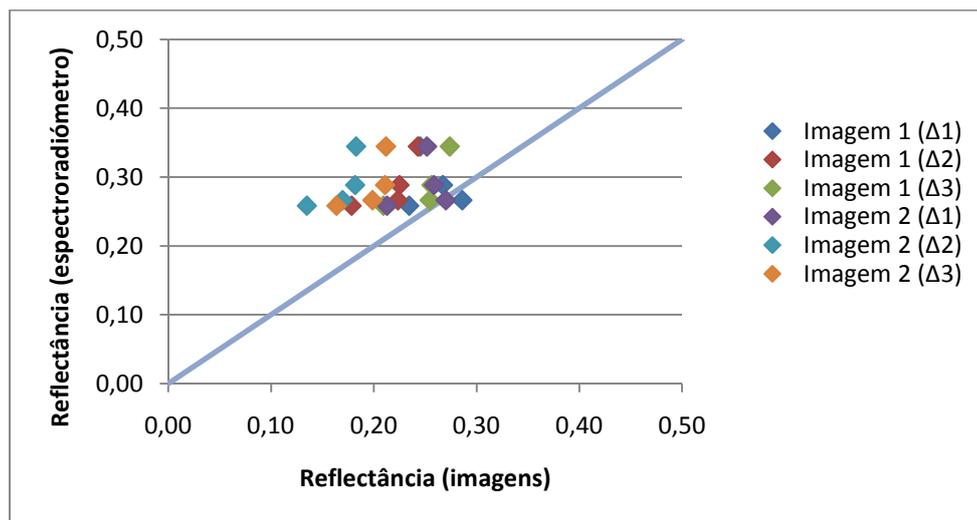


Figura 5.9: Reflectância medida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de cimento, para a banda do azul e para todos os critérios.

Dos gráficos anteriores é fácil verificar que, para a banda do infravermelho próximo, os pontos se encontram mais alinhados do que para as outras bandas, o que significa que os valores obtidos das imagens multiespectrais são mais idênticos aos medidos com o espectroradiômetro.

Em relação à experiência de se retirarem as marcas de calibração que se afastavam da linha de tendência, os resultados obtidos são, em geral, muito semelhantes aos obtidos anteriormente.

Há ainda a frisar que, para a amostra 4, os resultados obtidos com o espectroradiómetro apenas são aceitáveis para a banda do infravermelho próximo. Nas bandas do visível o valor desta amostra é muito diferente do valor das outras amostras o que, tendo em conta o facto de se tratar de zonas razoavelmente homogéneas, não era expectável.

5.4.2.2 Superfície pintada

A análise da tabela dos erros relativos para esta área de estudo (Tabela 5.2) permite verificar que para a banda do infravermelho próximo, os valores de reflectância obtidos para os diferentes critérios não são semelhantes aos valores obtidos com o espectroradiómetro, no entanto são muito semelhantes entre si.

Comparativamente com a banda anterior, a do vermelho apresenta resultados ligeiramente mais satisfatórios, nomeadamente para a imagem 2 onde os resultados são francamente melhores do que para a imagem 1.

No que concerne à banda do verde, os resultados para os diferentes critérios são no geral muito parecidos com os valores medidos com o espectroradiómetro, mesmo para o critério Δ_3 onde são apenas utilizadas quatro marcas de calibração, sendo eliminada uma devido ao facto de estar saturada.

Para a banda do azul os valores obtidos não fogem muito aos valores medidos com o espectroradiómetro, excepção feita para o critério Δ_3 onde os valores são realmente diferentes.

Todas estas conclusões podem ser verificadas nos gráficos da reflectância medida com o espectroradiómetro em função da obtidas das imagens multiespectrais, para todas as bandas estudadas encontram-se seguidamente, nas Figuras 5.10 a 5.13.

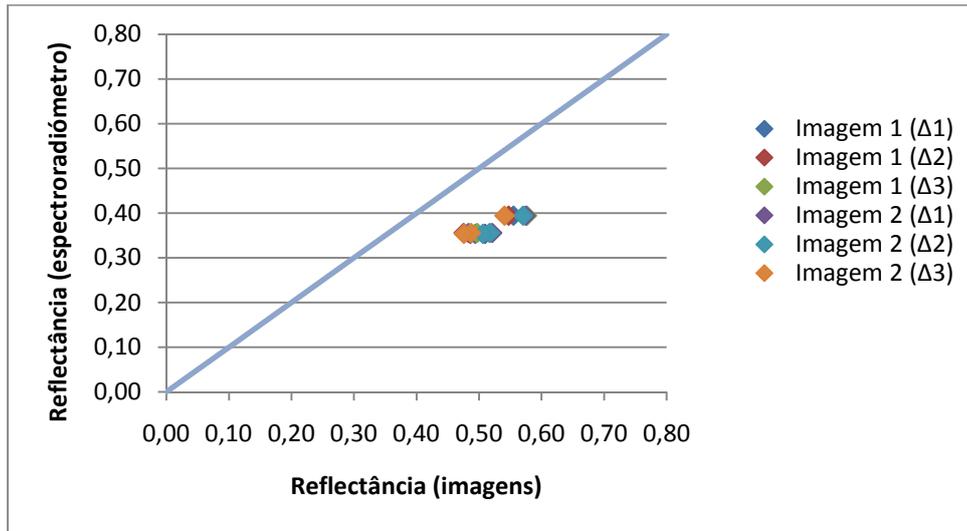


Figura 5.10: Reflectância medida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

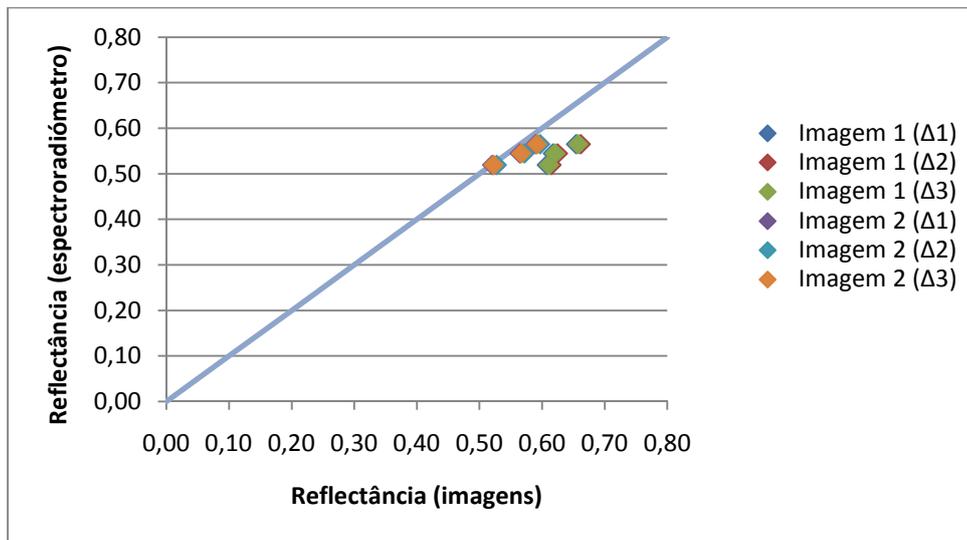


Figura 5.11: Reflectância medida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada, para a banda do vermelho e para todos os critérios.

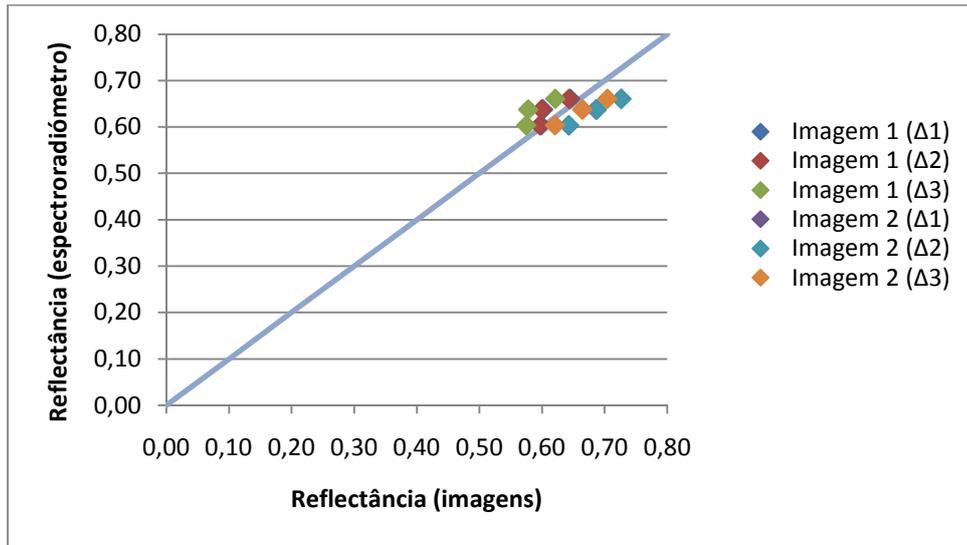


Figura 5.12: Reflectância medida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada, para a banda do verde e para todos os critérios.

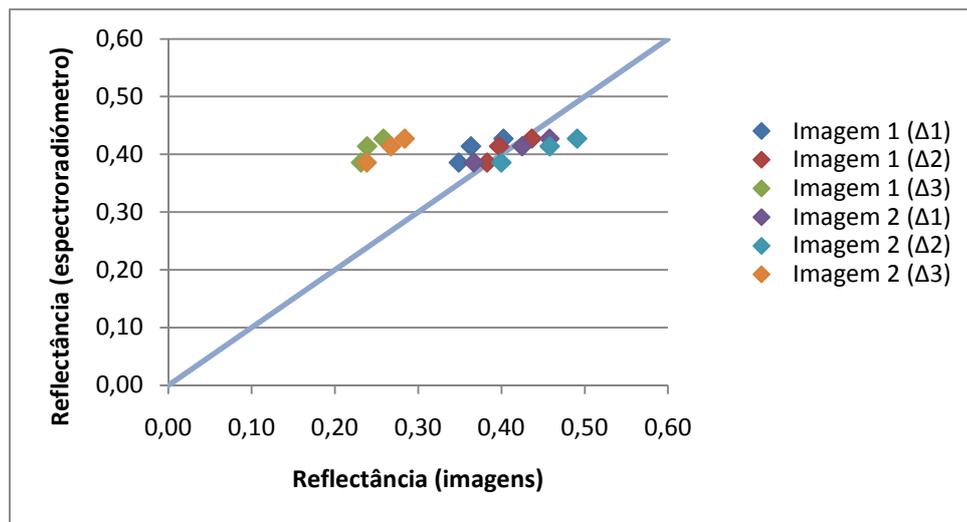


Figura 5.13: Reflectância medida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona da superfície pintada, para a banda do azul e para todos os critérios.

De novo, para uma mais fácil verificação dos resultados, procedeu-se à construção de uma tabela que contivesse o erro relativo (Tabela 5.3).

Infravermelho Próximo				
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Δ_1	Imagem 1	33,33 %	40,00 %	43,59 %
	Imagem 2	44,44 %	45,71 %	46,15 %
Δ_2	Imagem 1	33,33 %	40,00 %	41,03 %
	Imagem 2	44,44 %	45,71 %	46,15 %
Δ_3	Imagem 1	38,89 %	45,71 %	48,72 %
	Imagem 2	36,11 %	37,14 %	38,46 %
Vermelho				
Δ_1	Imagem 1	17,31 %	14,81 %	16,07 %
	Imagem 2	0,00 %	3,70 %	5,36 %
Δ_2	Imagem 1	17,31 %	14,81 %	17,86 %
	Imagem 2	1,92 %	5,56 %	7,14 %
Δ_3	Imagem 1	17,31 %	14,81 %	17,86 %
	Imagem 2	0,00 %	5,56 %	5,36 %
Verde				
Δ_1	Imagem 1	0,00 %	6,25 %	1,52 %
	Imagem 2	6,67 %	7,81 %	10,61 %
Δ_2	Imagem 1	0,00 %	6,25 %	3,03 %
	Imagem 2	6,67 %	7,81 %	10,61 %
Δ_3	Imagem 1	5,00 %	9,38 %	6,06 %
	Imagem 2	3,33 %	3,13 %	6,06 %
Azul				
Δ_1	Imagem 1	10,26 %	12,20 %	6,98 %
	Imagem 2	5,13 %	4,88 %	6,98 %
Δ_2	Imagem 1	2,56 %	2,44 %	2,33 %
	Imagem 2	2,56 %	12,20 %	13,95 %
Δ_3	Imagem 1	41,03 %	41,46 %	39,53 %
	Imagem 2	38,46 %	34,15 %	34,88 %

Tabela 5.2: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiómetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona da superfície pintada.

Desta tabela se constata o anteriormente referido, ou seja, são notórios os elevados valores do erro relativo para a banda do infravermelho, ao passo que para as outras bandas os erros relativos são, na sua maioria, menores. Realce também para a banda do azul, onde é claro o aumento do erro relativo quando usado o critério Δ_3 comparativamente aos outros dois critérios. É também

possível verificar que para a banda do vermelho os valores do erro relativo são muito menores para a imagem 2 do que em relação à imagem 1. Na imagem 2 existem 2 casos em que o erro relativo é nula, o mesmo acontecendo para a imagem 1 da banda do verde.

Apenas para a banda do vermelho e para os critérios Δ_2 e Δ_3 se experimentou retirar os valores que mais se desviavam da linha de tendência, mantendo um conjunto compacto de valores de baixa reflectância. Feito isto foi notório que para a imagem 1 os resultados se aproximavam mais dos medidos com o espectroradiómetro, ao invés da imagem 2 onde os resultados já não eram tão próximos.

5.4.2.3 Granito

A primeira nota de realce relativamente a esta área de estudo tem a ver com o facto de, no geral, para todas as bandas e todos os critérios, se notar que os resultados para a amostra 4 são bastante próximos dos resultantes da medição com o espectroradiómetro. Tal pode ser visto na Tabela 5.3, onde claramente se verifica que o erro relativo para a amostra 4 é inferior aos erros das outras amostras.

No cômputo geral, os resultados para o infravermelho são mais aproximados dos obtidos com o espectroradiómetro, comparativamente às outras bandas, excepção feita para o critério Δ_1 na banda do azul, que apresenta bons resultados. As bandas do vermelho e do verde, na sua maioria, não apresentam resultados muito semelhantes. Estes factos podem ser vistos nas Figuras 5.14 a 5.17, onde claramente se verifica uma melhor concordância de resultados para a banda do infravermelho próximo.

Infravermelho Próximo					
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Δ_1	Imagem 1	13,33 %	16,67 %	15,63 %	7,41 %
	Imagem 2	10,00 %	16,67 %	9,38 %	3,70 %
Δ_2	Imagem 1	6,67 %	13,89 %	9,38 %	3,70 %
	Imagem 2	16,67 %	19,44 %	15,63 %	11,11 %
Δ_3	Imagem 1	13,33 %	16,67 %	15,63 %	7,41 %
	Imagem 2	13,33 %	16,67 %	9,38 %	7,41 %
Vermelho					
Δ_1	Imagem 1	17,65 %	25,58 %	20,00 %	0,00 %
	Imagem 2	20,59 %	30,23 %	17,14 %	3,45 %
Δ_2	Imagem 1	38,24 %	46,51 %	40,00 %	27,59 %
	Imagem 2	20,59 %	30,23 %	17,14 %	3,45 %
Δ_3	Imagem 1	17,65 %	25,58 %	20,00 %	0,00 %
	Imagem 2	20,59 %	30,23 %	17,14 %	3,45 %
Verde					
Δ_1	Imagem 1	15,38 %	27,45 %	19,05 %	0,00 %
	Imagem 2	20,51 %	31,37 %	16,67 %	2,86 %
Δ_2	Imagem 1	17,95 %	27,45 %	19,05 %	2,86 %
	Imagem 2	20,51 %	31,37 %	16,67 %	2,86 %
Δ_3	Imagem 1	15,38 %	27,45 %	19,05 %	0,00 %
	Imagem 2	20,51 %	31,37 %	16,67 %	2,86 %
Azul					
Δ_1	Imagem 1	3,85 %	14,71 %	3,45 %	20,83 %
	Imagem 2	23,08 %	35,29 %	20,69 %	0,00 %
Δ_2	Imagem 1	26,92 %	38,24 %	27,59 %	8,33 %
	Imagem 2	11,54 %	26,47 %	10,34 %	12,50 %
Δ_3	Imagem 1	15,38 %	29,41 %	20,69 %	0,00 %
	Imagem 2	42,31 %	52,94 %	44,83 %	29,17 %

Tabela 5.3: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiómetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona de granito.

Mais uma vez, foram produzidos gráficos da reflectância medida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtidas das imagens multiespectrais (Figuras 5.14 a 5.17). Destes gráficos claramente se nota que os resultados para a banda do infravermelho são mais razoáveis do que para as outras bandas, principalmente para as bandas do vermelho e do azul.

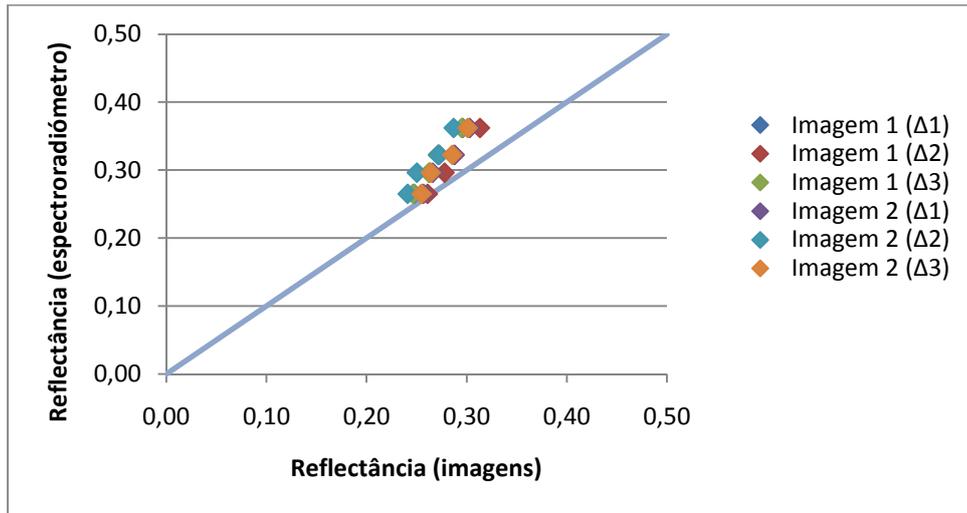


Figura 5.14: Reflectância medida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de granito, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

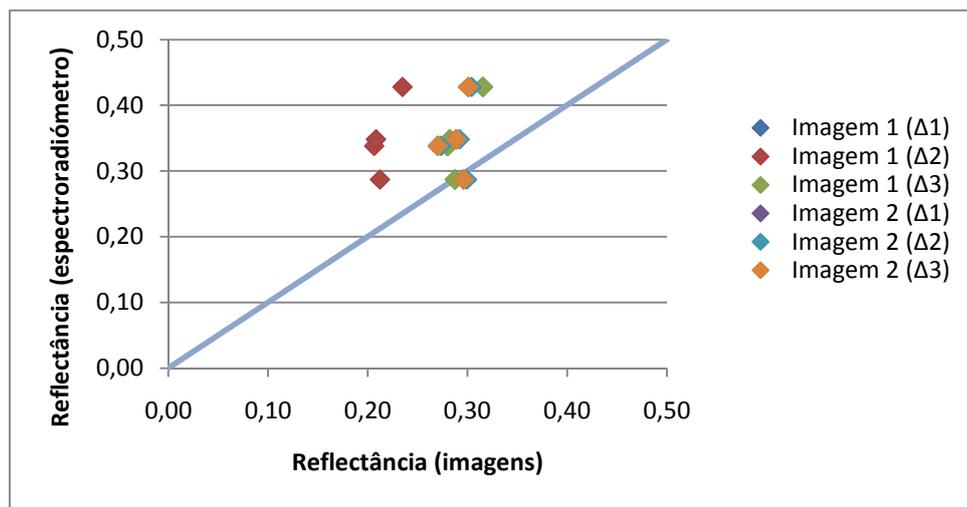


Figura 5.15: Reflectância medida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de granito, para a banda do vermelho e para todos os critérios.

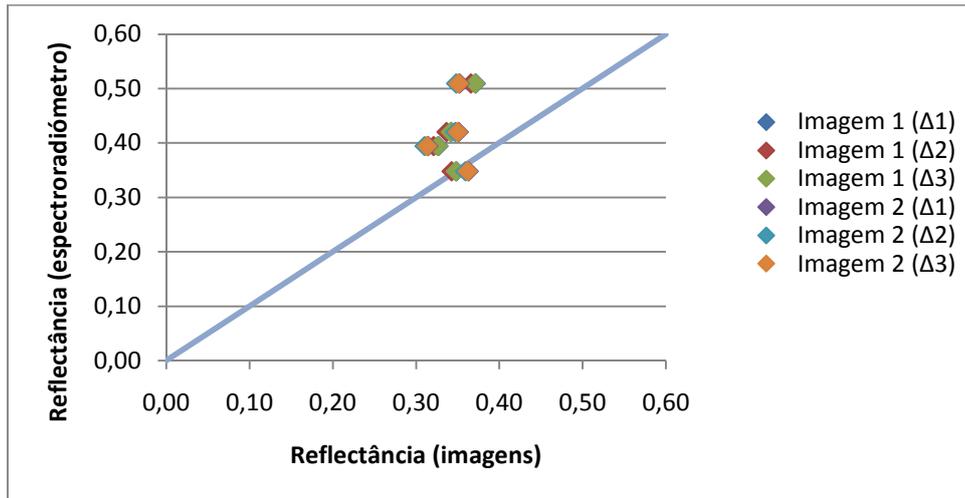


Figura 5.16: Reflectância medida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de granito, para a banda do verde e para todos os critérios.

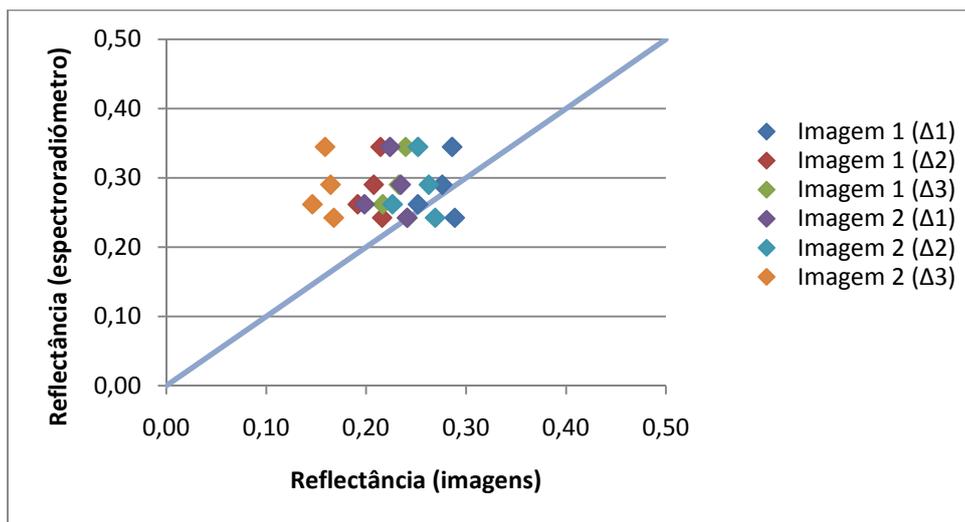


Figura 5.17: Reflectância medida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais da zona de granito, para a banda do azul e para todos os critérios.

Uma possível explicação para os resultados não serem tão próximos dos obtidos com o espectrorradiómetro poderá estar relacionada com o facto de o granito não ser uma superfície muito homogénea, visto apresentar algumas zonas claras e outras zonas escuras, tal como pode ser visto na Figura 3.12.

Ao se eliminarem algumas das marcas de calibração, para a banda do vermelho, alguns resultados ficaram mais idênticos aos medidos com o espectrorradiómetro, no entanto estes valores continuam a ser desfasados. Para as bandas do verde e e

do azul a eliminação de algumas marcas não produziu resultados muito diferentes, aliás, em alguns dos casos os resultados mantiveram-se iguais.

Nesta zona de estudo a amostra 2 não apresentou bons resultados obtidos com o espectroradiómetro, tal como pode ser visto na Tabela 5.3, onde se verifica que o erro relativo desta amostra é sempre superior ao das outras amostras. Verifica-se que para todas as bandas os valores desta amostra são consideravelmente diferentes dos valores das outras amostras o que, mais uma vez tendo em conta a razoável homogeneidade das zonas, não era de esperar. Neste caso pode-se concluir que a medição desta zona com o espectroradiómetro não foi bem efectuada.

5.4.2.4 Pedra

Para esta área de estudo a única banda que apresenta resultados aproximadamente idênticos aos adquiridos com o espectroradiómetro é a banda do infravermelho próximo, tal como pode ser visto na Figura 5.18 tendo-se obtido, para as outras bandas, resultados significativamente piores, apenas com excepção para a banda do vermelho onde, para o critério Δ_1 e para a imagem 1, alguns resultados são mais próximos dos obtidos com o espectroradiómetro, assim como na banda do azul, para o critério Δ_2 e desta vez para a imagem 2.

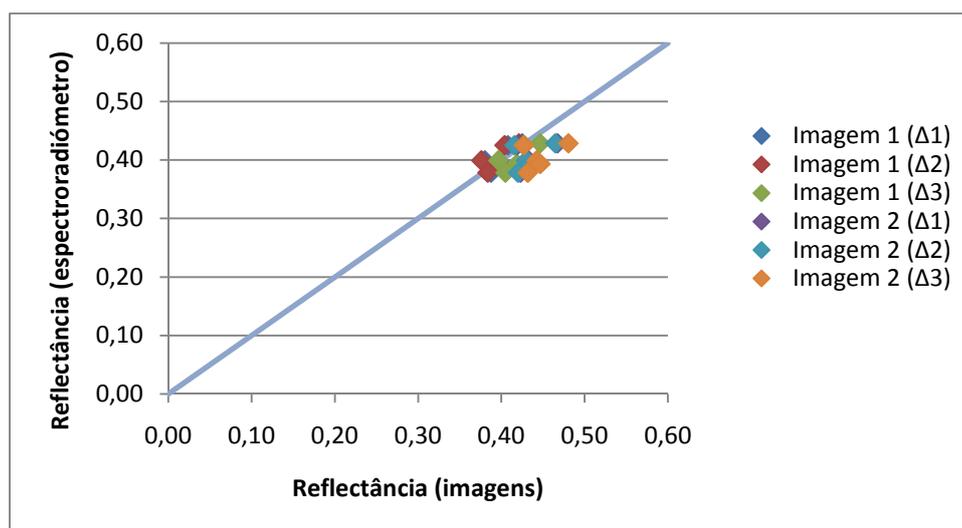


Figura 5.18: Reflectância obtida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de pedra, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

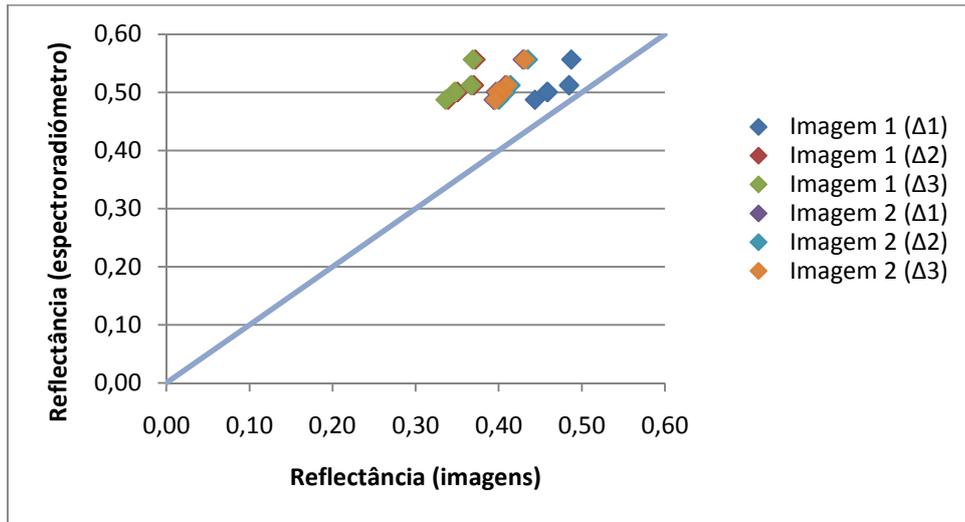


Figura 5.19: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de pedra, para a banda do vermelho e para todos os critérios.

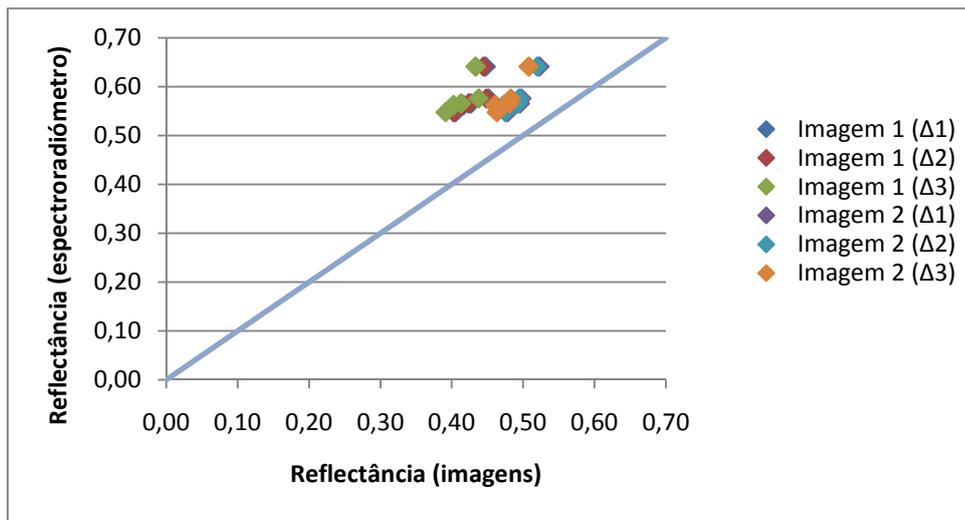


Figura 5.20: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de pedra, para a banda do verde e para todos os critérios.

Infravermelho Próximo						
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Δ_1	Imagem 1	5,00 %	2,56 %	0,00 %	4,65 %	2,63 %
	Imagem 2	7,50 %	12,82 %	9,30 %	2,33 %	10,53 %
Δ_2	Imagem 1	5,00 %	2,56 %	2,33 %	6,98 %	0,00 %
	Imagem 2	7,50 %	10,26 %	6,98 %	2,33 %	10,53 %
Δ_3	Imagem 1	0,00 %	7,69 %	4,65 %	0,00 %	5,26 %
	Imagem 2	10,00 %	15,38 %	11,63 %	0,00 %	13,16 %
Vermelho						
Δ_1	Imagem 1	5,88 %	8,00 %	12,50 %	8,00 %	10,20 %
	Imagem 2	19,61 %	20,00 %	23,21 %	20,00 %	20,41 %
Δ_2	Imagem 1	27,45 %	30,00 %	33,93 %	30,00 %	30,61 %
	Imagem 2	19,61 %	18,00 %	21,43 %	20,00 %	18,37 %
Δ_3	Imagem 1	27,45 %	30,00 %	33,93 %	30,00 %	30,61 %
	Imagem 2	19,61 %	20,00 %	23,21 %	20,00 %	18,37 %
Verde						
Δ_1	Imagem 1	22,41 %	24,56 %	29,69 %	25,00 %	25,45 %
	Imagem 2	13,79 %	12,28 %	18,75 %	14,29 %	12,73 %
Δ_2	Imagem 1	22,41 %	26,32 %	31,25 %	26,79 %	27,27 %
	Imagem 2	15,52 %	14,04 %	18,75 %	16,07 %	12,73 %
Δ_3	Imagem 1	24,14 %	28,07 %	32,81 %	28,57 %	29,09 %
	Imagem 2	17,24 %	15,79 %	20,31 %	17,86 %	16,36 %
Azul						
Δ_1	Imagem 1	42,86 %	28,57 %	17,07 %	26,47 %	27,27 %
	Imagem 2	17,14 %	14,29 %	2,44 %	5,88 %	12,12 %
Δ_2	Imagem 1	34,29 %	40,00 %	46,34 %	41,18 %	39,39 %
	Imagem 2	0,00 %	0,00 %	12,20 %	5,88 %	0,00 %
Δ_3	Imagem 1	28,57 %	34,29 %	41,46 %	32,35 %	33,33 %
	Imagem 2	40,00 %	40,00 %	46,34 %	41,18 %	39,39 %

Tabela 5.4: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectrorradiómetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona de pedra.

5.4.2.5 Relva verde

Através da análise das Figuras 5.22 a 5.25 verifica-se que os valores obtidos se encontram aproximadamente dentro da linha de declive 1, sendo a banda do azul a que apresenta resultados mais desfasados.

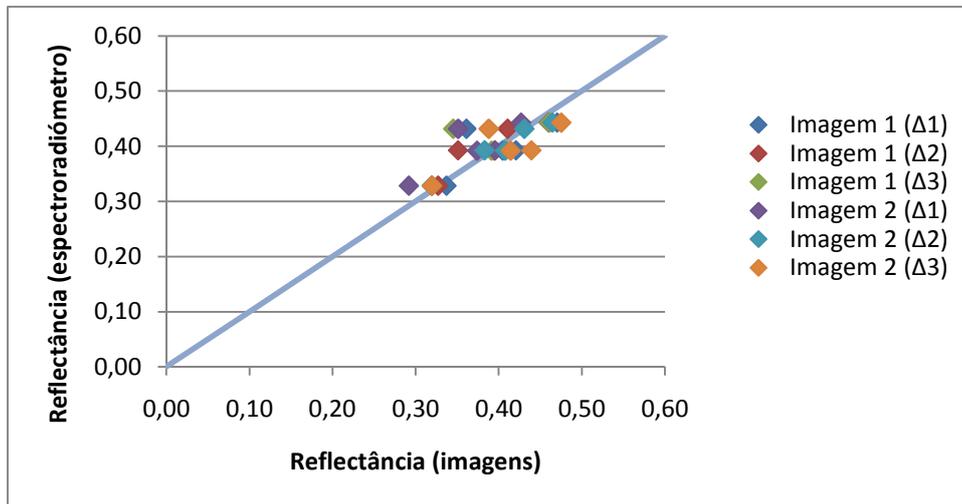


Figura 5.22: Reflectância obtida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva verde, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

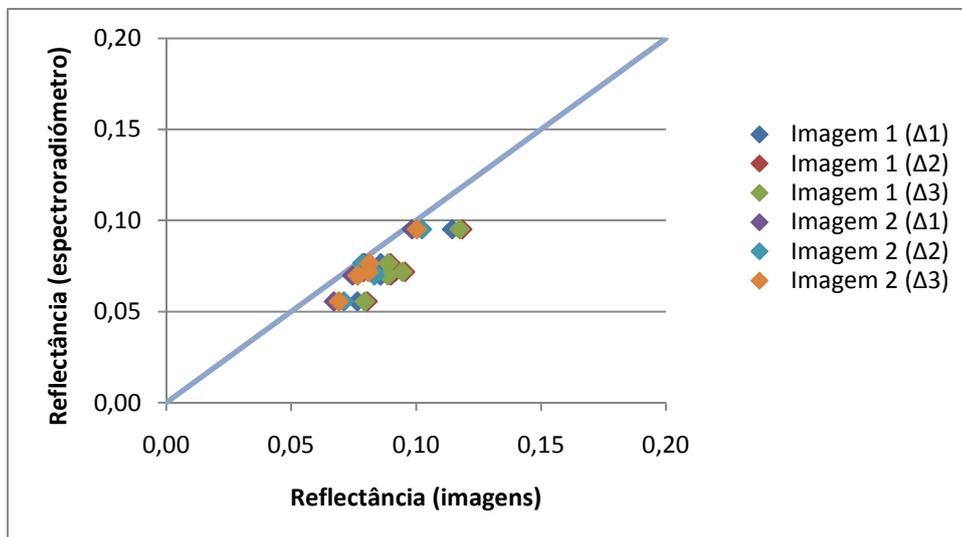


Figura 5.23: Reflectância obtida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva verde, para a banda do vermelho e para todos os critérios.

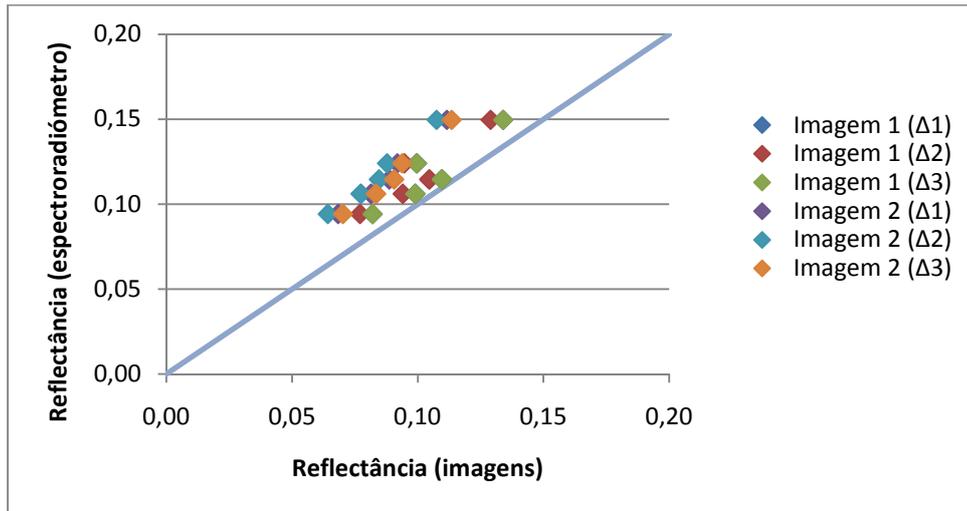


Figura 5.24: Reflectância obtida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva verde, para a banda do verde e para todos os critérios.

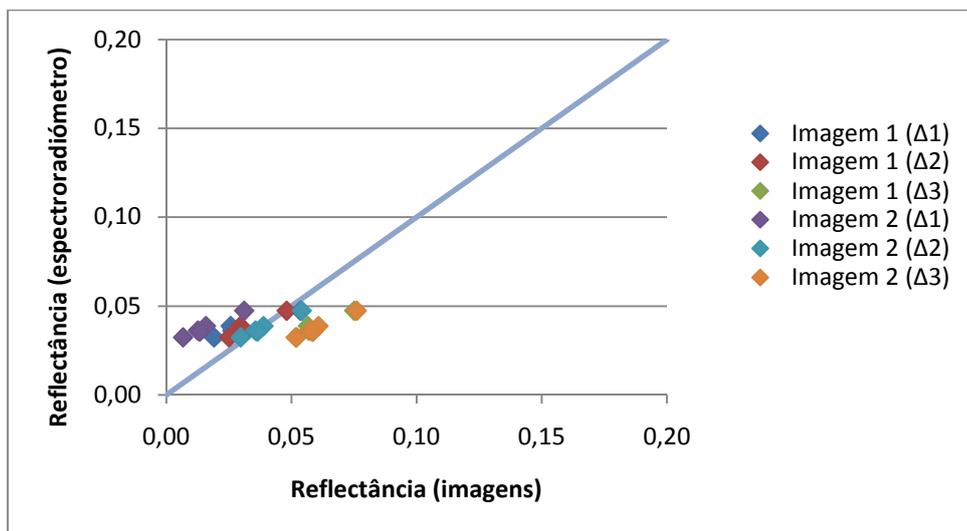


Figura 5.25: Reflectância obtida com o espectroradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva verde, para a banda do azul e para todos os critérios.

A Tabela 5.5 permite analisar o erro relativo dos resultados obtidos. Desta tabela retira-se que para a banda do infravermelho os valores de erro relativo são muito pequenos, ou seja, os valores obtidos das imagens multiespectrais são muito idênticos aos medidos com o espectroradiómetro. Para a banda do vermelho verifica-se que os resultados são muito melhores para a imagem 2 do que para a imagem 1, facto que já não se verifica para a banda do verde.

A banda do azul foi a que apresentou piores resultados, excepção feita para a imagem 2 usando o critério Δ_2 , onde se verifica que os valores obtidos das imagens multiespectrais são iguais aos medidos com o espectroradiómetro.

Infravermelho Próximo						
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Δ_1	Imagem 1	16,28 %	7,69 %	2,56 %	6,82 %	3,03 %
	Imagem 2	18,60 %	2,56 %	5,13 %	2,27 %	12,12 %
Δ_2	Imagem 1	4,65 %	10,26 %	0,00 %	4,55 %	0,00 %
	Imagem 2	0,00 %	2,56 %	5,13 %	4,55 %	3,03 %
Δ_3	Imagem 1	18,60 %	5,13 %	0,00 %	4,55 %	3,03 %
	Imagem 2	9,30 %	12,82 %	5,13 %	9,09 %	3,03 %
Vermelho						
Δ_1	Imagem 1	12,50 %	28,57 %	28,57 %	10,00 %	33,33 %
	Imagem 2	0,00 %	0,00 %	14,29 %	0,00 %	16,67 %
Δ_2	Imagem 1	12,50 %	28,57 %	42,86 %	20,00 %	33,33 %
	Imagem 2	0,00 %	14,29 %	14,29 %	0,00 %	16,67 %
Δ_3	Imagem 1	12,50 %	28,57 %	28,57 %	20,00 %	33,33 %
	Imagem 2	0,00 %	14,29 %	14,29 %	0,00 %	16,67 %
Verde						
Δ_1	Imagem 1	16,67 %	9,09 %	0,00 %	13,33 %	11,11 %
	Imagem 2	25,00 %	27,27 %	18,18 %	26,67 %	22,22 %
Δ_2	Imagem 1	25,00 %	18,18 %	9,09 %	13,33 %	11,11 %
	Imagem 2	25,00 %	27,27 %	27,27 %	26,67 %	33,33 %
Δ_3	Imagem 1	16,67 %	9,09 %	0,00 %	13,33 %	11,11 %
	Imagem 2	25,00 %	27,27 %	18,18 %	26,67 %	22,22 %
Azul						
Δ_1	Imagem 1	25,00 %	25,00 %	25,00 %	0,00 %	33,33 %
	Imagem 2	50,00 %	75,00 %	75,00 %	40,00 %	66,67 %
Δ_2	Imagem 1	25,00 %	25,00 %	25,00 %	0,00 %	0,00 %
	Imagem 2	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Δ_3	Imagem 1	50,00 %	50,00 %	50,00 %	60,00 %	66,67 %
	Imagem 2	50,00 %	50,00 %	50,00 %	60,00 %	66,67 %

Tabela 5.5: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiómetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona de relva verde.

Note-se o facto de, para as bandas do visível os valores de reflectância serem muito pequenos. Isto é explicado pelo facto de na região do visível a vegetação absorver a maioria da radiação, nomeadamente, pigmentos que absorvem na região do azul, a clorofila que absorve na região do vermelho, o que leva a que na região do espectro em torno de $0,55 \mu\text{m}$ haja uma menor absorção, ocasionando o pico de reflectividade que coincide com a banda do verde do espectro visível e causa a cor perceptível como vegetação vigorosa. No que toca à região do infravermelho próximo, esta é caracterizada por uma absorção pequena da radiação [8]. Estes factos podem ser vistos na Figura 5.26.

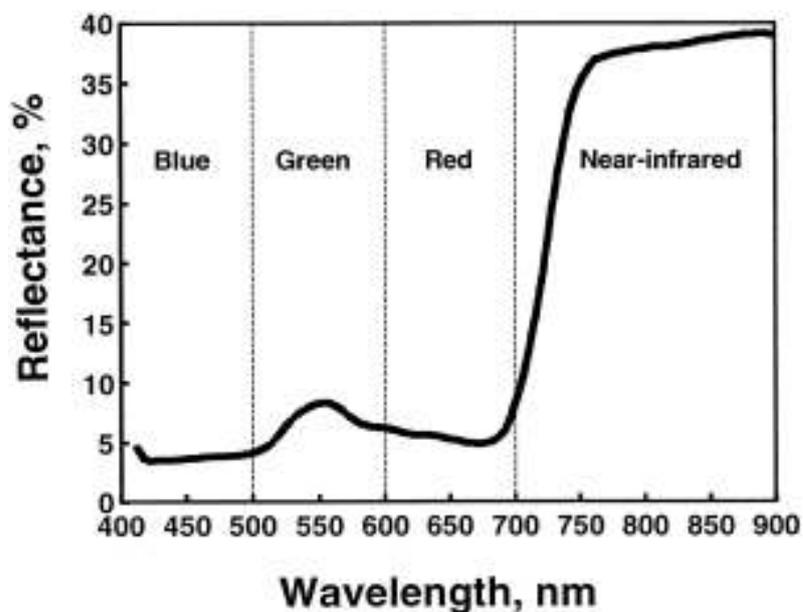


Figura 5.26: Reflectância da vegetação em função do comprimento de onda.

Desta forma, facilmente se verifica que os valores obtidos estão de acordo com o que seria esperado.

Refira-se mais uma vez que se procedeu à eliminação de algumas marcas de calibração para alguns critérios das bandas do visível, o que não alterou em muito os valores obtidos, continuando estes a serem muito próximos dos medidos com o espectroradiómetro.

5.4.2.6 Relva senescente

Para a zona de relva senescente os resultados obtidos para o infravermelho próximo são muito aproximados dos valores da reflectância medidos com o

espectrorradiómetro. A análise do erro relativo (Tabela 5.6) permite verificar isto mesmo, assim como verificar que para a banda do vermelho se têm bons resultados para o critério Δ_1 .

Já para a banda do verde esses valores não são tão próximos do que era esperado, notando-se que, independentemente do critério usado, os valores são muito semelhantes entre si.

Infravermelho Próximo					
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Δ_1	11,54 %	5,88 %	3,33 %	0,00 %	9,09 %
Δ_2	7,69 %	11,76 %	6,67 %	4,35 %	15,15 %
Δ_3	3,85 %	11,76 %	10,00 %	8,70 %	15,15 %
Vermelho					
Δ_1	8,70 %	6,25 %	11,54 %	4,76 %	7,14 %
Δ_2	26,09 %	18,75 %	26,92 %	23,81 %	25,00 %
Δ_3	26,09 %	18,75 %	26,92 %	23,81 %	25,00 %
Verde					
Δ_1	30,43 %	40,00 %	33,33 %	28,57 %	31,03 %
Δ_2	30,43 %	40,00 %	33,33 %	28,57 %	31,03 %
Δ_3	30,43 %	40,00 %	33,33 %	28,57 %	31,03 %
Azul					
Δ_1	46,15 %	54,55 %	40,00 %	41,67 %	37,50 %
Δ_2	23,08 %	36,36 %	26,67 %	25,00 %	25,00 %
Δ_3	7,69 %	9,09 %	6,67 %	0,00 %	12,50 %

Tabela 5.6: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectrorradiómetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona de relva senescente.

Na banda do azul verifica-se que quanto menos rigoroso for o critério melhores são os resultados, ou seja, mais próximos estão dos adquiridos com o espectrorradiómetro, o que é notório se verificar na Tabela 5.6, onde se pode ver que para o critério menos rigoroso o erro relativo é muito pequeno quando comparado com o dos outros critérios, aliás, os valores no critério menos rigoroso são, no geral, os melhores quando comparados também com as outras bandas

Tal como para as outras áreas de estudo foram feitos gráficos da reflectância medida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais (Figuras 5.27 a 5.30).

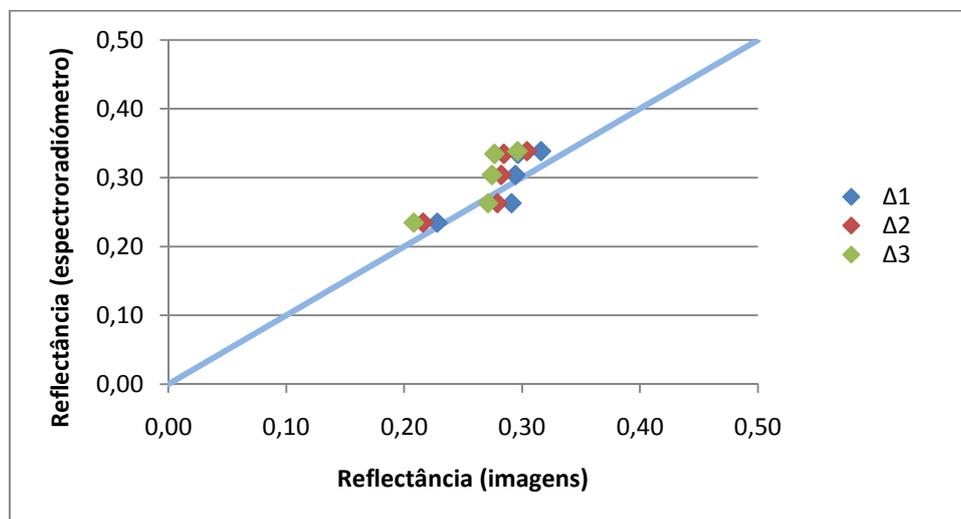


Figura 5.27: Reflectância obtida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva senescente, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

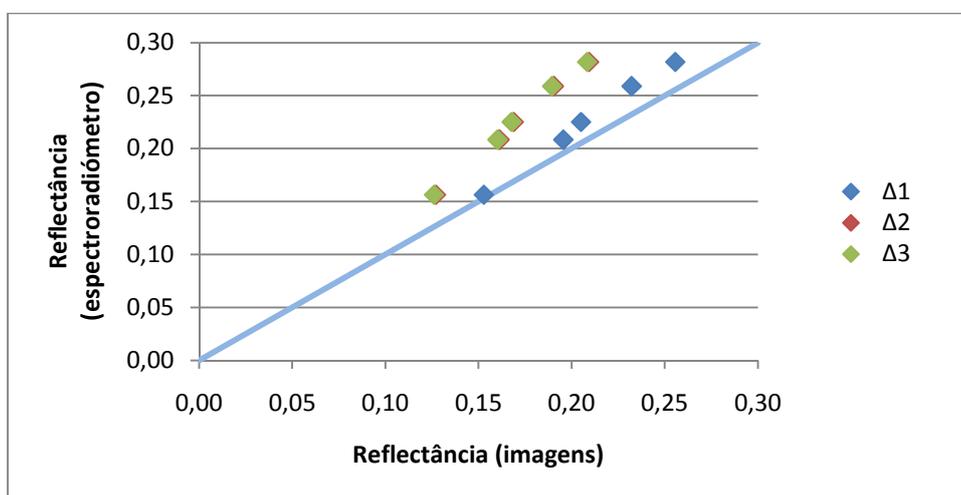


Figura 5.28: Reflectância obtida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva senescente, para a banda do vermelho e para todos os critérios.

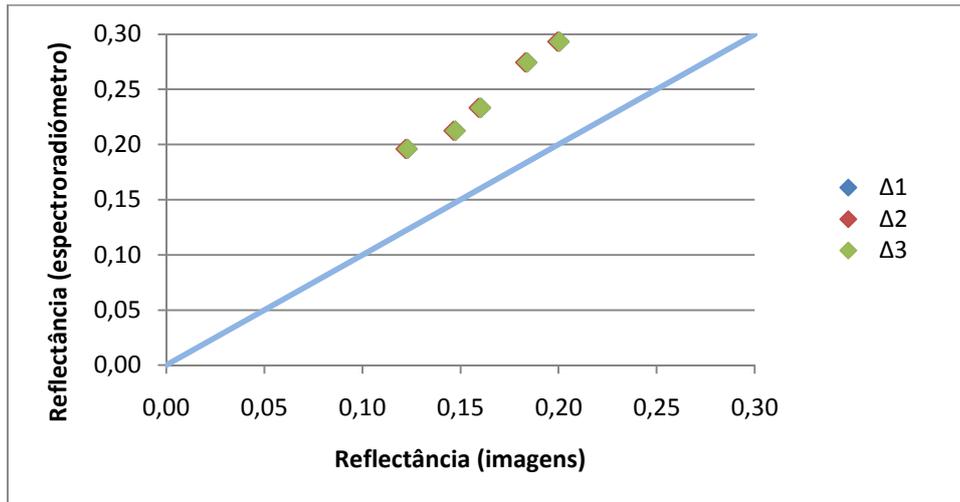


Figura 5.29: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva senescente, para a banda do verde e para todos os critérios.

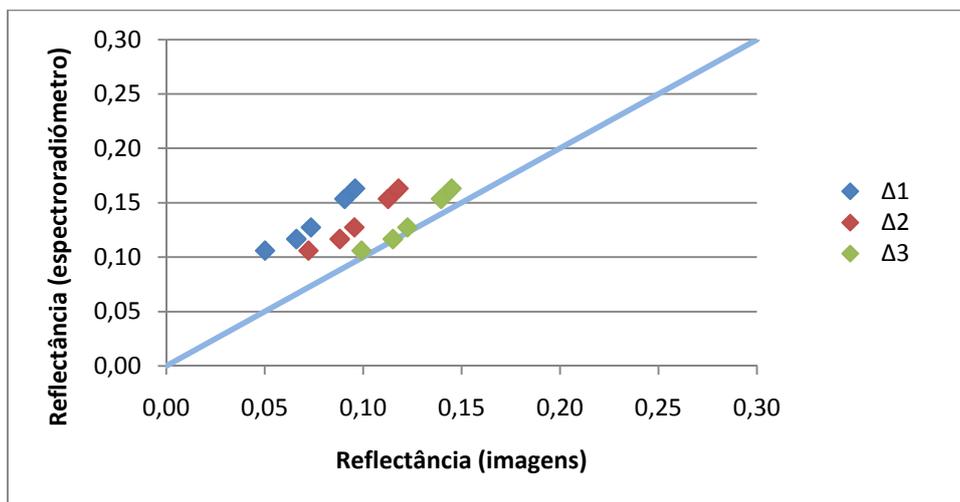


Figura 5.30: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de relva senescente, para a banda do azul e para todos os critérios.

Saliente-se que para a banda do verde os resultados obtidos das imagens multiespectrais são muito semelhantes para os diferentes critérios, tal como pode ser visto na Figura 5.29, onde se verifica que uma clara correspondência desses resultados.

No que diz respeito à remoção de algumas marcas de calibração, nota-se que para o azul os valores não diferem muito, ao passo que para a banda do verde já existe uma melhoria dos resultados, assim como para o vermelho, ainda que para esta banda a melhoria seja menos significativa.

5.4.2.7 Metal

Mais uma vez os valores de reflectância da banda do infravermelho próximo são muito idênticos aos valores medidos com o espectroradiômetro, o mesmo sucede para a banda do vermelho, onde também se verifica que, independentemente do critério usado, os valores são muito semelhantes entre si, tal como pode ser visto na Figura 5.32, onde se nota que, como os valores são semelhantes entre si, os pontos no gráfico encontram-se num aglomerado, todos muito juntos.

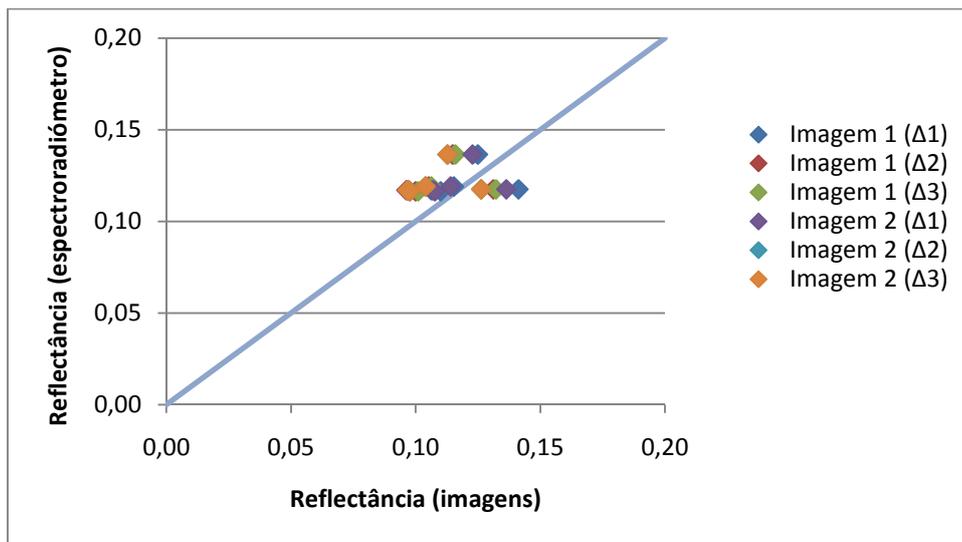


Figura 5.31: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de metal, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

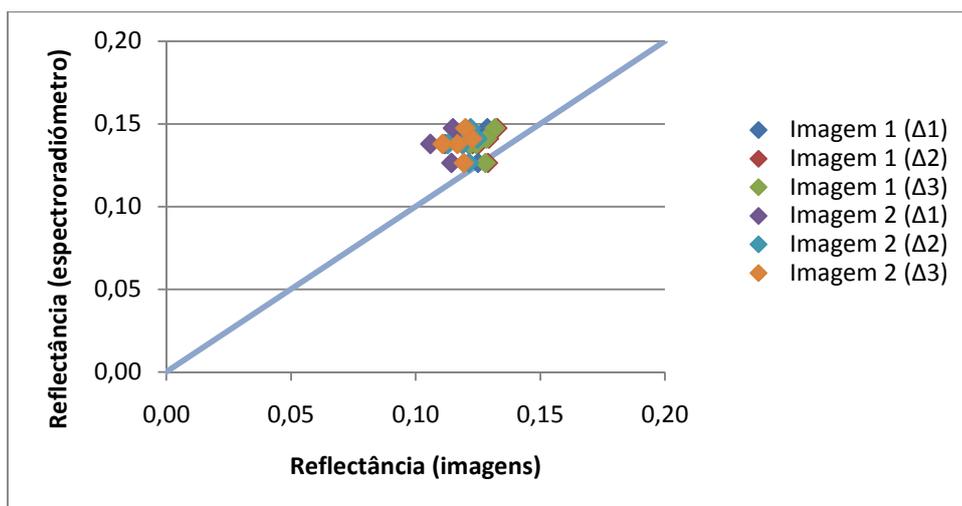


Figura 5.32: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de metal, para a banda do vermelho e para todos os critérios.

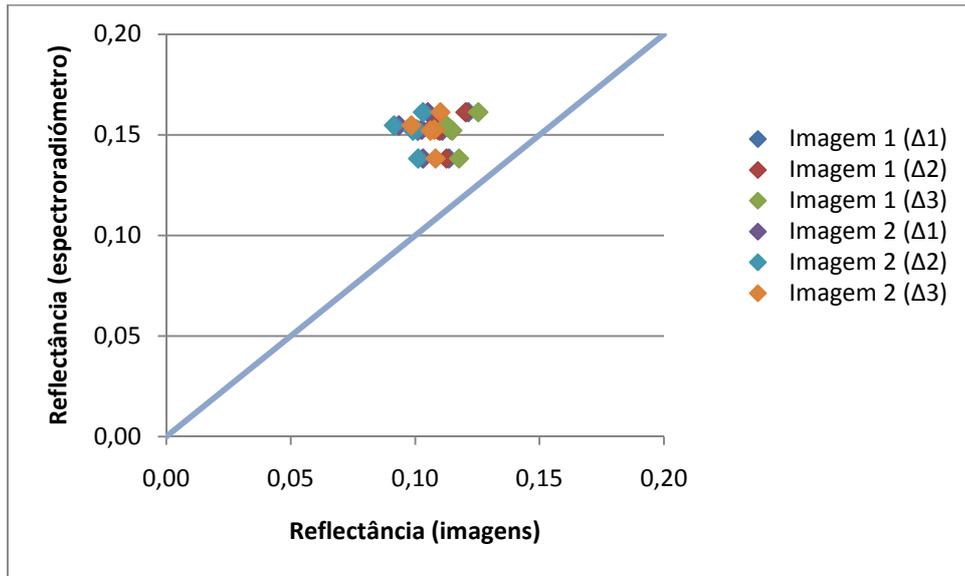


Figura 5.33: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de metal, para a banda do verde e para todos os critérios.

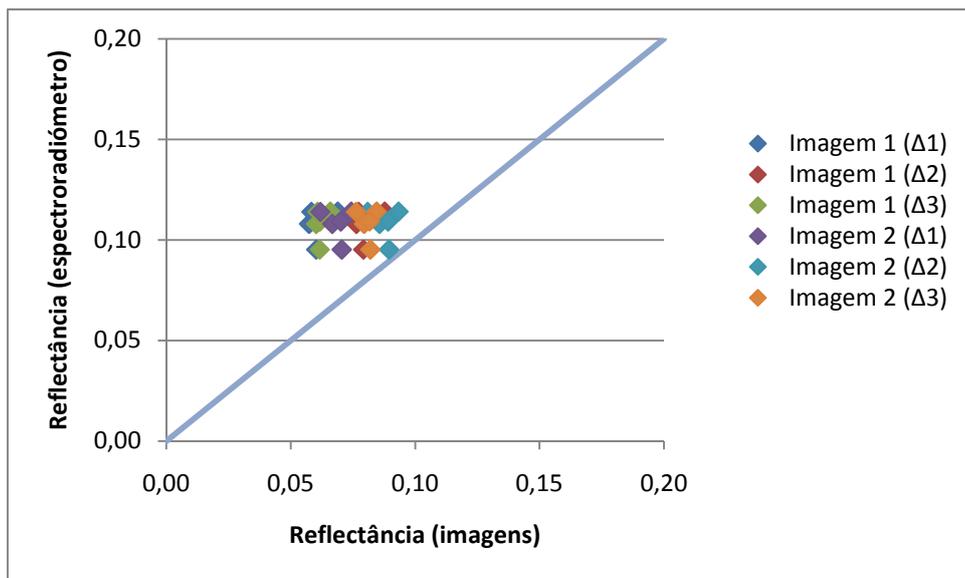


Figura 5.34: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de metal, para a banda do azul e para todos os critérios.

A Tabela 5,7 apresenta os resultados dos erros relativos, onde se pode ver que para as bandas do infravermelho próximo e do vermelho os valores do erro relativo são pequenos, ao passo que para a banda do azul já se obtêm erros relativos elevados, com os erros relativos da imagem 1 a serem superiores aos da imagem 2.

Infravermelho Próximo						
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Δ_1	Imagem 1	0,00 %	14,29 %	8,33 %	8,33 %	16,67 %
	Imagem 2	8,33 %	14,29 %	8,33 %	8,33 %	16,67 %
Δ_2	Imagem 1	8,33 %	21,43 %	16,67 %	16,67 %	8,33 %
	Imagem 2	16,67 %	21,43 %	16,67 %	16,67 %	8,33 %
Δ_3	Imagem 1	8,33 %	14,29 %	16,67 %	16,67 %	8,33 %
	Imagem 2	16,67 %	21,43 %	16,67 %	16,67 %	8,33 %
Vermelho						
Δ_1	Imagem 1	7,14 %	13,33 %	14,29 %	14,29 %	0,00 %
	Imagem 2	14,29 %	20,00 %	21,43 %	21,43 %	15,38 %
Δ_2	Imagem 1	7,14 %	13,33 %	7,14 %	14,29 %	0,00 %
	Imagem 2	14,29 %	20,00 %	14,29 %	21,43 %	7,69 %
Δ_3	Imagem 1	7,14 %	13,33 %	14,29 %	14,29 %	0,00 %
	Imagem 2	14,29 %	20,00 %	14,29 %	21,43 %	7,69 %
Verde						
Δ_1	Imagem 1	26,67 %	25,00 %	26,67 %	26,67 %	21,43 %
	Imagem 2	33,33 %	31,25 %	33,33 %	40,00 %	28,57 %
Δ_2	Imagem 1	26,67 %	25,00 %	26,67 %	26,67 %	21,43 %
	Imagem 2	33,33 %	37,50 %	33,33 %	40,00 %	28,57 %
Δ_3	Imagem 1	26,67 %	18,75 %	26,67 %	26,67 %	14,29 %
	Imagem 2	26,67 %	31,25 %	26,67 %	33,33 %	21,43 %
Azul						
Δ_1	Imagem 1	45,45 %	36,36 %	45,45 %	45,45 %	40,00 %
	Imagem 2	36,36 %	36,36 %	36,36 %	45,45 %	30,00 %
Δ_2	Imagem 1	27,27 %	18,18 %	27,27 %	27,27 %	20,00 %
	Imagem 2	18,18 %	18,18 %	18,18 %	27,27 %	10,00 %
Δ_3	Imagem 1	45,45 %	36,36 %	45,45 %	45,45 %	40,00 %
	Imagem 2	27,27 %	27,27 %	27,27 %	27,27 %	20,00 %

Tabela 5.7: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectrorradiómetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona de metal.

Para a banda do verde os valores obtidos das imagens multiespectrais não são muito semelhantes aos obtidos com o espectrorradiómetro. O mesmo sucedendo com a banda do azul, onde nesta o critério Δ_2 apresentou os melhores resultados (principalmente para o critério Δ_1 os valores são um tanto desfasados). A remoção de algumas marcas de calibração não alterou os resultados, aliás, para a banda do vermelho os valores pioraram, para o verde também há um ligeira pioria enquanto para o azul os valores ficaram praticamente iguais.

5.4.2.8 Terra

Para esta área de estudo e para todas as bandas, assim como para os diferentes critérios, foram obtidos valores de reflectância próximos dos medidos com o espectrorradiómetro. Este facto levou à conclusão que esta terá sido a área de estudo onde os resultados foram mais semelhantes.

Nas Figuras 5.35 a 5.38 estão representados os gráficos da reflectância medida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens multiespectrais.

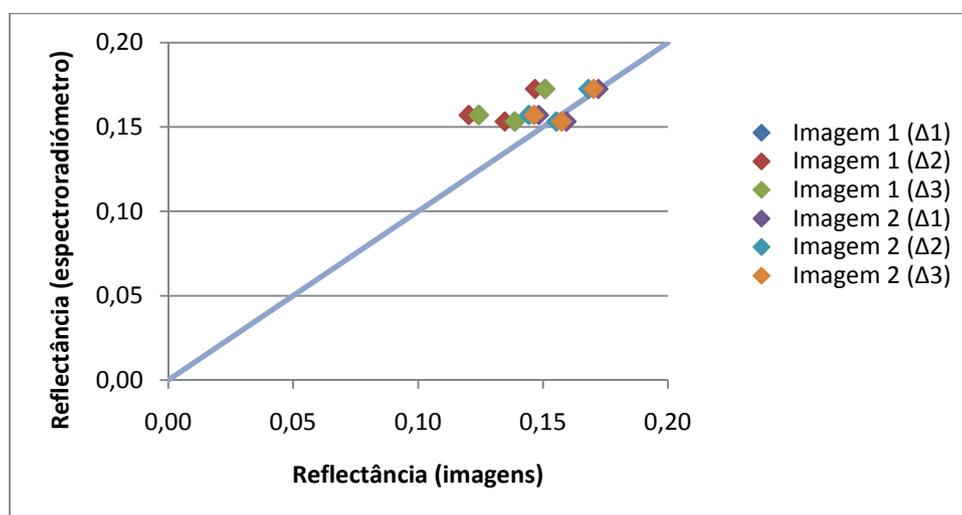


Figura 5.35: Reflectância obtida com o espectrorradiómetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de terra, para a banda do infravermelho próximo e para todos os critérios.

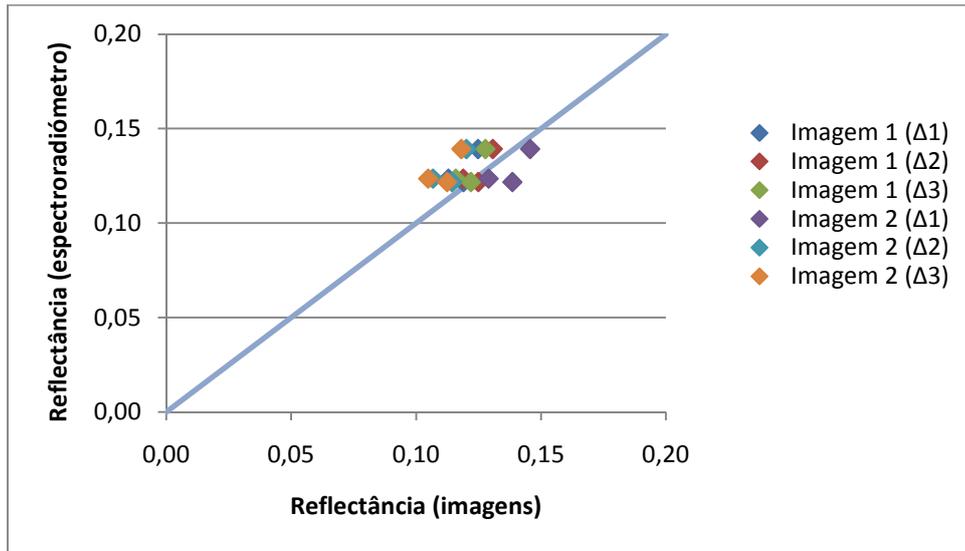


Figura 5.36: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de terra para a banda do vermelho e para todos os critérios.

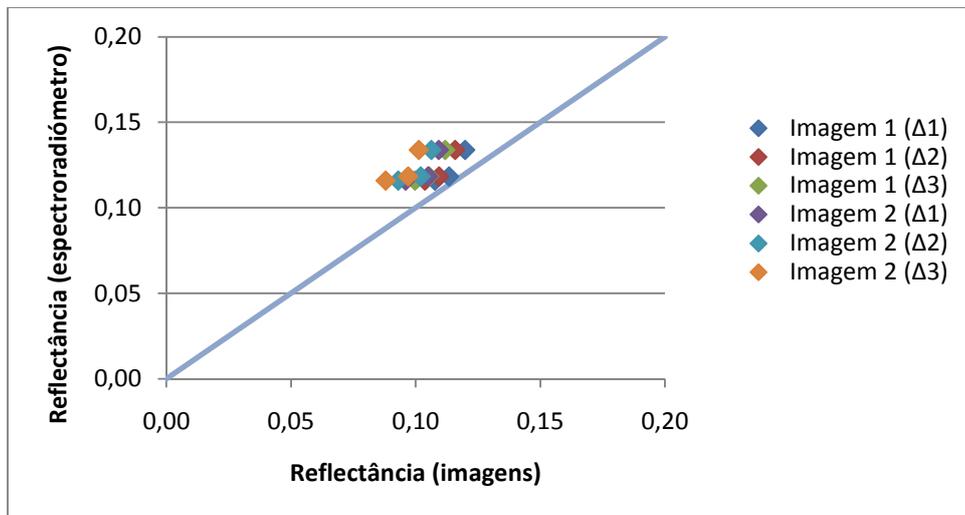


Figura 5.37: Reflectância obtida com o espectroradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de terra, para a banda do verde e para todos os critérios.

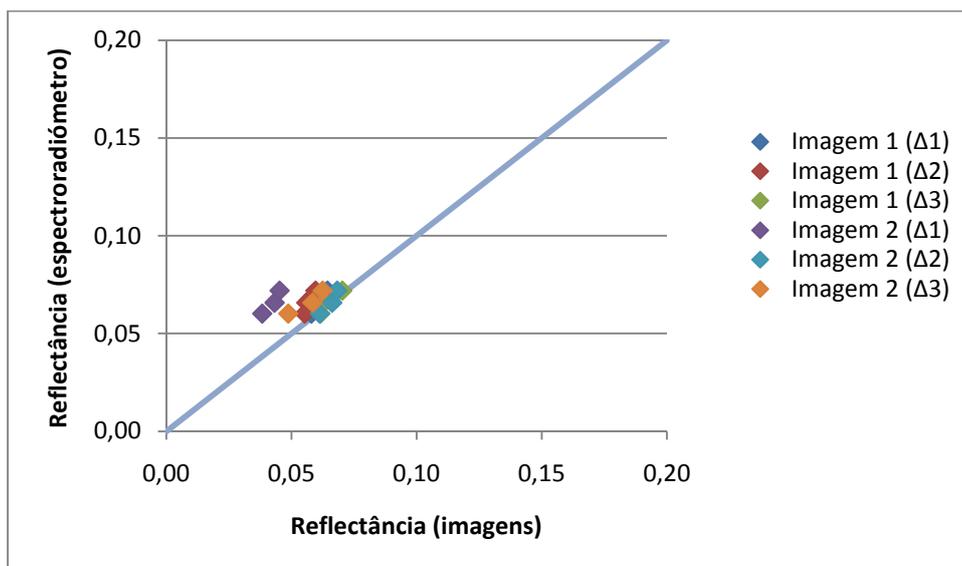


Figura 5.38: Reflectância obtida com o espectrorradiômetro em função da reflectância obtida das imagens da zona de terra, para a banda do azul e para todos os critérios.

Atendendo à escala dos gráficos, é possível verificar que os valores se encontram próximos da recta de declive igual a 1 que, lembre-se, seria o caso ideal onde os valores medidos com o espectrorradiômetro seriam iguais aos obtidos com as imagens multiespectrais.

Na Tabela 5.8 encontram-se os resultados do erro relativo para as diferentes bandas e diferentes critérios. Tal como referido anteriormente, esta área de estudo foi a que apresentou melhores resultados, como se pode verificar na tabela, onde se nota que os valores do erro relativo são pequenos para todas as bandas e todos os critérios. A única excepção será para a imagem 2 da banda do azul, usando o critério Δ_1 . Este caso é também visível na Figura 5.38 onde se nota que os pontos referentes ao critério Δ_1 e à imagem 2 são os que mais afastados estão da recta de declive igual a 1.

Da Tabela 5.8 há ainda a realçar os resultados obtidos, usando o critério Δ_2 , para a banda do azul, onde se verifica que os valores obtidos com as imagens multiespectrais são iguais aos obtidos com o espectrorradiômetro.

Infravermelho Próximo				
		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Δ_1	Imagem 1	6,67 %	11,76 %	25,00 %
	Imagem 2	6,67 %	0,00 %	6,25 %
Δ_2	Imagem 1	13,33 %	11,76 %	25,00 %
	Imagem 2	6,67 %	0,00 %	12,50 %
Δ_3	Imagem 1	6,67 %	11,76 %	25,00 %
	Imagem 2	6,67 %	0,00 %	6,25 %
Vermelho				
Δ_1	Imagem 1	0,00 %	14,29 %	8,33 %
	Imagem 2	16,67 %	7,14 %	8,33 %
Δ_2	Imagem 1	0,00 %	7,14 %	0,00 %
	Imagem 2	8,33 %	14,29 %	8,33 %
Δ_3	Imagem 1	0,00 %	7,14 %	0,00 %
	Imagem 2	8,33 %	14,29 %	16,67 %
Verde				
Δ_1	Imagem 1	8,33 %	7,69 %	8,33 %
	Imagem 2	8,33 %	15,38 %	16,67 %
Δ_2	Imagem 1	8,33 %	7,69 %	16,67 %
	Imagem 2	16,67 %	15,38 %	25,00 %
Δ_3	Imagem 1	8,33 %	15,38 %	16,67 %
	Imagem 2	16,67 %	23,08 %	25,00 %
Azul				
Δ_1	Imagem 1	14,29 %	14,29 %	0,00 %
	Imagem 2	42,86 %	28,57 %	33,33 %
Δ_2	Imagem 1	14,29 %	14,29 %	0,00 %
	Imagem 2	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Δ_3	Imagem 1	14,29 %	0,00 %	0,00 %
	Imagem 2	14,29 %	14,29 %	16,67 %

Tabela 5.8: Erro relativo entre os valores obtidos com o espectroradiómetro e os extraídos das imagens multiespectrais, para a zona de terra.

Resta referir que quando se retiram marcas de calibração, os resultados, no âmbito geral, apresentam-se muito idênticos, para todos os critérios e todas as bandas.

Em jeito de balanço, relativamente aos resultados obtidos com e sem a eliminação de algumas das marcas de calibração, não foi possível encontrar uma relação com as marcas de calibração que eram eliminadas. Tal como foi visto, em alguns casos os resultados eram ligeiramente melhores, noutras casos piores.

Relativamente aos diferentes critérios usados, no cômputo geral, será melhor utilizar o critério Δ_1 , apesar de ser o mais permissivo, é o que possui um maior número de marcas de calibração, logo uma maior abrangência de valores de reflectância. Em termos de resultados o critério Δ_1 foi o que também apresentou melhores resultados, no entanto os resultados dos outros critérios, na sua maioria, são semelhantes aos do critério Δ_1 .

Há ainda a referir que também não foi possível obter uma correspondência entre os valores obtidos de diferentes imagens da mesma zona, Relembrado, com excepção da zona de relva senescente, para cada zona foram analisadas duas imagens, que à primeira vista não se apresentassem saturadas, verificando-se que, na maioria dos casos, o uso de diferentes imagens conduziu a resultados idênticos, contudo em alguns casos tal não sucedeu. Houve mesmo casos em que os resultados com uma imagem originaram um erro relativo elevado, ao passo que com outra imagem da mesma zona o erro relativo foi muito reduzido.

É de salientar que os valores das reflectâncias obtidos com o espectroradiómetro não são valores infalíveis. Tal como foi referido, o uso do espectroradiómetro levantou alguns problemas, alguns de natureza desconhecida, como tal, torna-se impossível afirmar que estes valores são em rigor os correctos. A situação ideal seria, como é óbvio, ter valores iguais para as reflectâncias obtidas das imagens multiespectrais e das medidas com o espectroradiómetro.

Resta referir que todos os resultados obtidos para as diferentes áreas de estudo podem ser consultados nas Tabelas A5.1 a A5.96 em anexo.

5.4.3 NDVI

Para as duas zonas de vegetação estudadas (relva verde e relva senescente) é ainda possível fazer a análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*), que é um indicador numérico que utiliza as bandas do vermelho e do infravermelho e que é usado para analisar medições de Detecção Remota e avaliar se a zona de estudo contém ou não vegetação viçosa.

Em termos gerais, a vegetação viçosa absorve a maior parte da radiação visível que nela incide e reflecte uma boa parte da radiação do infravermelho próximo. Vegetação pouco viçosa reflecte mais radiação visível e menor radiação no infravermelho próximo. Já no que respeita a solos nus estes reflectem moderadamente tanto no vermelho como no infravermelho. Assim, quanto maior a diferença entre a reflectância do infravermelho próximo e a reflectância no vermelho, mais vegetação terá de haver [14].

O NDVI é formulado pela razão entre a diferença da reflectância do infravermelho e a reflectância do vermelho e a soma destes dois valores (5.2).

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (5.2)$$

Pela natureza da equação 5.2 e pelos dois parâmetros envolvidos, expeditamente se verifica que, teoricamente, os valores do NDVI variam entre -1 e 1. Na prática, considera-se que valores muito baixos, normalmente em torno de zero, representam solo nu ou vegetação senescente, ao passo que valores acima de 0.6 representam vegetação viçosa [7].

Assim, recorrendo à expressão 5.2, foram calculados os valores do NDVI para os resultados obtidos com o espectrorradiómetro e os obtidos das imagens multiespectrais, para as diferentes amostras e critérios. Para a zona de relva verde os resultados apresentam-se na Tabela 5.9 e para a zona de relva senescente na Tabela 5.10.

		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Δ_1	Imagem 1	0,60	0,65	0,63	0,62	0,62
	Imagem 2	0,63	0,70	0,64	0,62	0,61
Δ_2	Imagem 1	0,64	0,59	0,59	0,59	0,61
	Imagem 2	0,69	0,65	0,67	0,64	0,64
Δ_3	Imagem 1	0,59	0,64	0,63	0,59	0,60
	Imagem 2	0,66	0,69	0,67	0,66	0,64
Espectroradiómetro		0,69	0,70	0,70	0,63	0,69

Tabela 5.9: Valores do NDVI obtido das imagens multiespectrais e com o espectroradiómetro, para a zona de relva verde.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Δ_1	0,16	0,36	0,12	0,07	0,07
Δ_2	0,24	0,40	0,19	0,16	0,14
Δ_3	0,23	0,40	0,17	0,14	0,14
Espectroradiómetro	0,06	0,36	0,07	0,05	0,08

Tabela 5.10: Valores do NDVI obtido das imagens multiespectrais e com o espectroradiómetro, para a zona de relva senescente.

Desta tabela verifica-se que os valores do NDVI obtidos das imagens multiespectrais, para a zona de relva verde, não diferem muito dos valores obtidos através das medições com o espectroradiómetro, que se encontram todos contidos na mesma ordem de grandeza apenas com a amostra 4 a ter um valor ligeiramente diferente.

Relativamente à área de relva senescente, a Tabela 5.10 permite verificar que os valores da amostra 2 se encontram numa ordem de grandeza diferente das outras amostras. Repare-se que, para as medições com o espectroradiómetro, os valores de NDVI das amostras encontra-se entre 0,05 e 0,08, ao passo que para a amostra 2 obtiveram-se valores de 0,36. Também para os valores obtidos da câmara multiespectral se nota uma diferença de ordens de grandeza. Devido aos factores enumerados anteriormente, poder-se-ia primeiramente pensar que teria sido feita uma má medição com o espectroradiómetro mas, uma vez que os valores obtidos das imagens multiespectrais são idênticos aos obtidos com o espectroradiómetro, pode-se concluir que esta zona de amostra foi bem medida,

contudo não terá sido uma zona de relva completamente seca, mas sim relva ainda algo viçosa, o que já explicaria as diferenças de valores encontrados.

Também foi referido que quanto maior o valor do NDVI mais viçosa será a vegetação, o que é facilmente verificável pela comparação das Tabelas 5.9 e 5.10.

Exceptuando a amostra 2 da zona de relva senescente, os resultados obtidos com o espectrorradiómetro são muito baixos, sendo muito próximos de zero, o que, de acordo com o referido anteriormente, representaria uma zona de solo nu, onde os valores do NDVI são próximos de zero.

Visto uma das zonas de estudo ter sido uma zona de solo nu (terra) procedeu-se também ao cálculo do NDVI para a zona de terra (Tabela 5.11).

		Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Δ_1	Imagem 1	0,08	0,11	0,04
	Imagem 2	0,07	0,06	0,07
Δ_2	Imagem 1	0,04	0,07	0,00
	Imagem 2	0,19	0,17	0,15
Δ_3	Imagem 1	0,08	0,07	0,00
	Imagem 2	0,19	0,17	0,20
Espectro- radiómetro		0,11	0,10	0,14

Tabela 5.11: Valores do NDVI obtido das imagens multiespectrais e com o espectrorradiómetro, para a zona de terra.

Da anterior tabela facilmente se extrai que os valores do NDVI, tanto para os resultados obtidos com o espectrorradiómetro como para os obtidos das imagens multiespectrais, são todos próximos de zero, o que comprova o esperado.

5.4.4 Mediana *versus* Média

Como foi abordado anteriormente, foi tomada a mediana, dos valores obtidos com o espectrorradiómetro, ao invés de se ter tomado a média. Como foi discutido, o espectrorradiómetro por vezes apresentou-se instável, o que levou a que existissem valores que não eram aceitáveis, logo seria mais correcto considerar a mediana desses valores e não a média.

Após se terem procedido aos cálculos com os valores de mediana, procederam-se aos mesmos cálculos, mas desta vez usando os valores de média.

Após uma análise dos resultados obtidos verificou-se que, no geral, os valores não diferem muito entre si, e na maioria das vezes diferem apenas na casa das centésimas. Existem casos em que usando os valores da mediana se obtêm resultados mais próximos dos valores obtidos das imagens multiespectrais, por outro lado também, em alguns casos, se obtêm-se valores mais próximos se for utilizada a média.

No fundo, com os resultados obtidos não foi possível decidir qual dos parâmetros, média ou mediana, dão resultados mais aproximados aos resultantes das imagens multiespectrais, assim sendo, pelas razões já enunciadas, é melhor optar pelo uso da mediana.

6. Conclusões

6.1 Síntese e conclusões do trabalho

Como foi abordado inicialmente, o objectivo deste trabalho passava pela determinação de reflectâncias com recurso a uma câmara multiespectral.

O método mais expedito para determinar a reflectância de um objecto, ou de uma superfície, é o uso de um espectroradiómetro, todavia este tipo de aparelho está longe de ser infalível, apresentando diversos problemas. Sendo assim, torna-se útil procurar uma alternativa ao uso do espectroradiómetro para a determinação da reflectância, que neste trabalho foi feito com recurso a uma câmara multiespectral.

O procedimento do trabalho consistiu em determinar, com um espectroradiómetro, a reflectância das marcas de calibração de um alvo. De seguida foram obtidas imagens multiespectrais, que continham o alvo, de uma zona de estudo, obtiveram-se os valores digitais correspondentes às diferentes marcas de calibração e, tendo os valores das reflectâncias das marcas de calibração, determinou-se uma relação linear entre essa reflectância e o DN. Por fim foram extraídos os valores digitais das zonas de estudo, substituíram-se estes valores nas relações lineares e obteve-se a reflectância pretendida, que foi comparada com a obtida com o espectroradiómetro para essas mesmas zonas.

Numa primeira análise à que referir as dificuldades encontradas com o uso do espectroradiómetro, começando por referir a necessidade de, a cada medição, ser necessário efectuar a calibração do espectroradiómetro, o que torna este método demorado. Existindo também a possibilidade da calibração, que é feita recorrendo a uma placa de referência, não ser bem efectuada, o que sucedeu em alguns casos, levando a que todo este processo fosse mais demorado do que inicialmente se previa.

Também foi notória a grande sensibilidade do espectroradiómetro perante variações de iluminação, além da já esperada necessidade de boas condições climatéricas.

Outra desvantagem que foi sentida no uso do espectroradiómetro tem a ver com o facto de, ao se fazer a medição, não ser possível saber qual a área que está a

ser abrangida, ou seja, no caso de se estar a medir a reflectância de um objecto, não é possível determinar se apenas se está a abranger esse objecto ou outros em redor. Este factor foi notório na medição da reflectância de algumas áreas de estudo, principalmente aquando da medição da reflectância das marcas de calibração do alvo, visto estas terem pequenas dimensões, assim como para a placa de referência, apesar desta ter maiores dimensões que as anteriores.

A utilização da câmara multiespectral, permitiu contornar as dificuldades encontradas na medição de reflectâncias com o espectroradiómetro.

Além disso o uso da câmara multiespectral apresentou outras vantagens, tal como o facto de permitir saber qual a área que está a ser observada, ao passo que com o espectroradiómetro apenas é possível visualizar em tempo real os gráficos de reflectância em função do comprimento de onda.

A câmara possibilita ainda a sua instalação, visualizando uma determinada área que contenha o alvo, e a programação para a obtenção de imagens a uma cadência predefinida. Com o espectroradiómetro todas as medições têm de ser feitas manualmente o que, lembrando as dificuldades referidas anteriormente, torna todo o processo muito demorado.

Refira-se ainda a vantagem das imagens multiespectrais possibilitarem a medição da reflectância pixel a pixel, ao invés do espectroradiómetro que apenas permite medidas pontuais.

Relativamente ao objectivo fulcral deste trabalho, a determinação de reflectâncias com recurso à câmara multiespectral, estes resultados foram comparados os valores das reflectâncias medidas com o espectroradiómetro.

Na secção anterior, mais propriamente nas subsecções 5.4.2.1 a 5.4.2.8, foram discutidos os resultados da comparação dos valores da reflectância obtidos com a câmara multiespectral e com o espectroradiómetro.

No entanto, com o intuito de se ter uma melhor percepção da precisão média obtida, foi criada a Tabela 6.1 onde se encontra uma apresentação mais resumida dos resultados.

Uma vez que, na grande maioria dos casos, os resultados obtidos com o uso de diferentes imagens de uma determinada zona levou a resultados semelhantes e como as zonas de amostra eram razoavelmente idênticas, para a obtenção dos resultados da Tabela 6.1, procedeu-se ao cálculo da média dos valores de todas as amostras para as diferentes imagens usadas de cada zona, calculando-se o erro relativo. Destes resultados foi feita a média de todos os valores dos

diferentes materiais e das diferentes bandas, calculando-se finalmente o erro relativo final médio.

	Infravermelho	Vermelho	Verde	Azul	
Cimento	1,96 %	19,34 %	24,40 %	12,50 %	
Superfície pintada	42,27 %	9,57 %	2,89 %	3,66 %	
Granito	12,00 %	17,38 %	17,37 %	11,50 %	
Pedra	3,20 %	14,84 %	20,00 %	19,10 %	
Relva	3,28 %	13,16 %	17,24 %	40,00 %	
Relva senescente	1,03 %	3,95 %	16,25 %	21,64 %	
Metal	4,03 %	14,29 %	29,33 %	39,81 %	
Terra	7,29 %	1,32 %	10,81 %	22,50 %	
Médias	9,38%	11,73%	17,29%	21,34%	14,94%

Tabela 6.1: Valores médios do erro relativo da comparação dos valores de reflectância obtidos das imagens multiespectrais e com o espectrorradiómetro para o critério Δ_1 .

A Tabela 6.1 representa o resultado final do erro relativo médio para o critério Δ_1 , que foi o que apresentou menor valor, ou seja, uma maior precisão média (14.94%). Refira-se que os critérios Δ_2 e Δ_3 apresentaram erros relativos médios de 15.37% e 18.13%, respectivamente. Daqui se pode concluir que um critério mais rigoroso não é sinónimo de melhores resultados, uma vez que são usadas menos marcas de calibração, ou seja, no caso deste trabalho conclui-se que quanto mais marcas de calibração forem usadas mais fiáveis serão os resultados. No entanto, realce-se o facto de os resultados finais para os diferentes critérios não serem muito diferentes entre si.

Da análise da Tabela 6.1 é possível verificar que para a banda do infravermelho, exceptuando a zona da superfície pintada, os resultados são satisfatórios, em que para muitos dos casos os valores do erro relativo são reduzidos, levando a que o erro relativo médio desta banda tenha sido menor do que para as outras bandas, ao passo que a banda do azul foi a que apresentou um maior erro. Refira-se que estes factos já tinham sido abordados na análise dos resultados das diferentes áreas de estudo.

Não é demais frisar que o uso do espectrorradiómetro serviu como termo de comparação com os resultados obtidos das imagens multiespectrais, no entanto, como já foi mencionado o uso espectrorradiómetro apresenta diversos problemas,

alguns de natureza desconhecida. Assim torna-se impossível afirmar quais os valores que estarão mais aproximados dos verdadeiros, se os obtidos do espectrorradiómetro se os obtidos das imagens multiespectrais.

De um modo geral pode-se concluir que esta abordagem de obtenção de reflectâncias com recurso a uma câmara multiespectral resultou, tendo-se obtido valores de precisão média razoáveis. Contudo, como é natural, este método apresenta algumas limitações e, como se viu, tem um limite de precisão, ou seja, será um bom método caso não se pretenda realizar um trabalho de grande precisão, caso contrário terá de se recorrer a outra abordagem.

6.2 Trabalhos Futuros

Findo este trabalho há que referir possíveis abordagens que poderão ser realizadas posteriormente.

Como foi visto, os resultados do trabalho realizado podem ser considerados aceitáveis, isto claro, tendo em conta a precisão pretendida para o trabalho a desenvolver, no entanto uma possível futura abordagem poderia incidir num estudo mais aprofundado, mas utilizando um espectrorradiómetro mais fiável, de modo a se tentar contornar alguns dos problemas que o espectrorradiómetro utilizado apresentou.

Também poderá ser feito um novo estudo mas, em vez dos materiais que foram utilizados neste trabalho, tentar utilizar materiais mais estáveis, mais propriamente, materiais cuja reflectância, do ponto de vista teórico, seja bem conhecida. Este método poderá possibilitar uma melhor análise dos resultados, com vista a um melhor entendimento das marcas de calibração que são mais estáveis para cada uma das bandas da câmara multiespectral.

Finalmente, uma outra linha de trabalho poderia consistir no desenvolvimento de um sistema de detecção automática do alvo e a sua posterior calibração automática. Ou seja, basicamente seria fazer o mesmo procedimento utilizado no final deste trabalho, mas de modo automático, o que iria ser muito útil em termos de tempo dispendido.

7. Referências

- [1] Lillesand, Thomas M., Kiefer, Ralph W., Chipman, Jonathan W., *Remote Sensing and Image Interpretation*, Sixth Edition, John Wiley & Sons, 2008
- [2] Fonseca, Ana Duarte, Fernandes, João Cordeiro, *Detecção Remota*, Lidel, 2004
- [3] Gonzalez, Rafael C., Woods, Richard E., Eddins, Steven L., *Digital Image Processing using Matlab*, Second Edition, Prentice Hall, 2002
- [4] Stewart, James, *Calculus: Early Transcendentals*, Sixth Edition, Thomas Brooks/Cole, 2008
- [5] Feynman. Richard P., *The Feynman Lectures on Physics Volume 2*, The Perseus Books Group, 1963
- [6] Bureau International des Poids et Mesures – www.bipm.org/en/si
- [7] Sabins, Floyd F., *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, Third Edition, W. H. Freeman and Company, 2000
- [8] Elachi, Charles, Zyl, Jakob van, *Introduction to the Physics and the Techniques of Remote Sensing*, Second Edition, John Wiley & Sons, 2006
- [9] Ryan, Robert E., Pagnutti, Mary, *Enhanced Absolute and Relative Radiometric Calibration for Digital Aerial Cameras*,
- [10] Danny Pascale, *RGB coordinates of the Macbeth Colorcheck*, The BabelColor Company, 2006
- [11] Espectroradiómetro: www.asdi.com
- [12] Câmara multiespectral AD-080CL: www.jai.com
- [13] Placa de referência: www.labsphere.com
- [14] Jensen, John R., *Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Prentice Hall, 2000

8. Anexos

A1. Gráficos da resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda

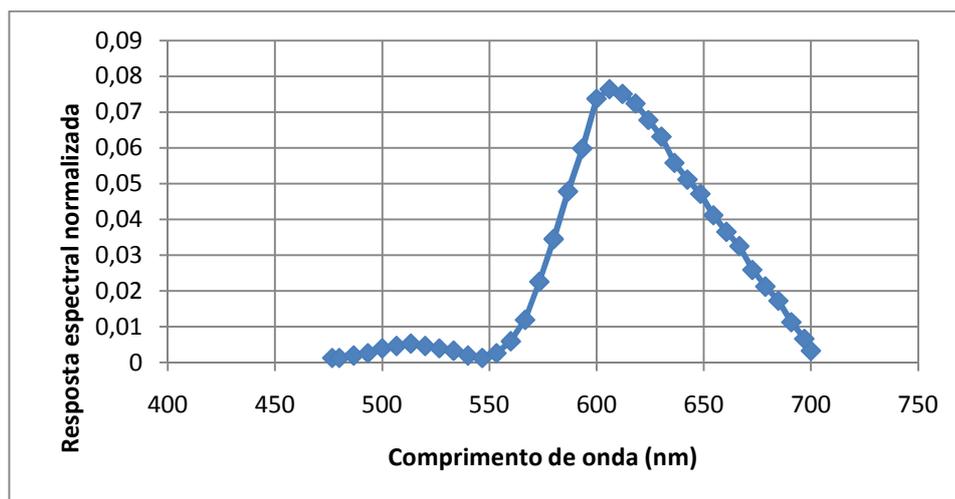


Figura A1.1: Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para a banda do vermelho.

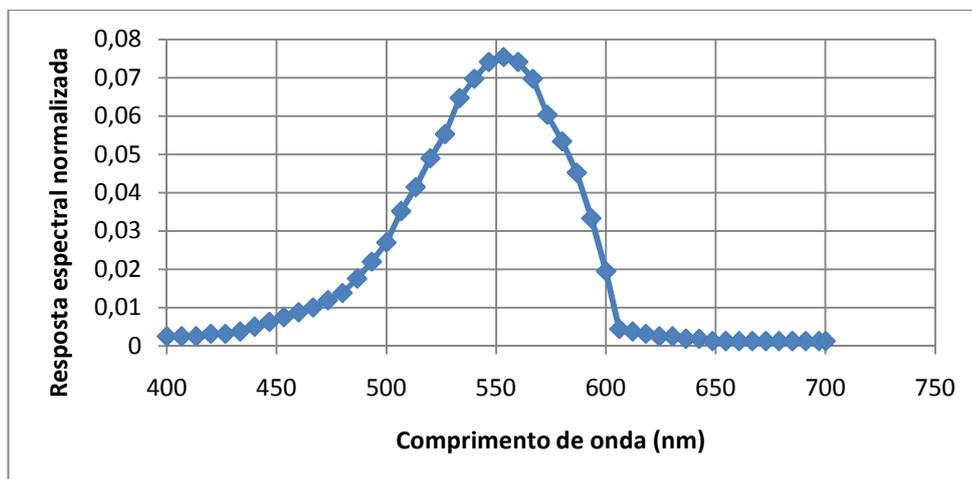


Figura A1.2: Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para a banda do verde.

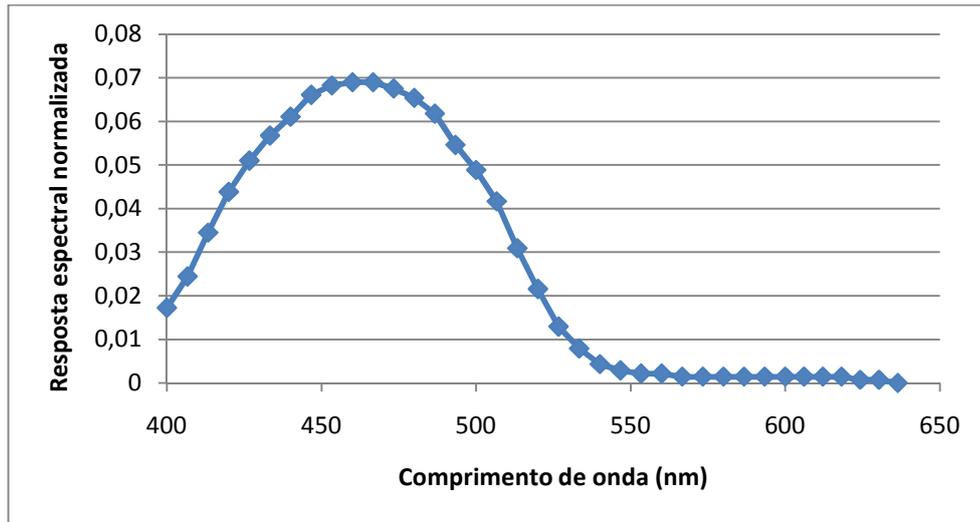


Figura A1.3: Resposta espectral normalizada em função do comprimento de onda para a banda do azul.

A2. Reflectâncias equivalentes para os diferentes marcas de calibração do alvo

Quadrado	Reflectância (Dia 1)	Reflectância (Dia 2)	Reflectância (Dia 3)	Reflectância (Dia 4)
1	0,40	0,38	0,39	0,32
2	0,87	0,81	0,79	0,80
3	0,71	0,58	0,56	0,55
4	0,19	0,20	0,19	0,20
5	0,76	0,75	0,64	0,70
6	0,47	0,35	0,37	0,45
7	0,73	0,84	0,71	0,78
8	0,53	0,55	0,50	0,51
9	0,45	0,56	0,59	0,56
10	0,74	0,76	0,71	0,67
11	0,51	0,55	0,55	0,54
12	0,60	0,70	0,71	0,70
13	0,39	0,45	0,45	0,45
14	0,39	0,41	0,40	0,41
15	0,72	0,75	0,75	0,74
16	0,79	0,82	0,81	0,76
17	0,85	0,84	0,87	0,81
18	0,35	0,30	0,35	0,35
19	0,99	0,87	0,89	
20	0,54	0,48	0,50	0,52
21	0,33	0,28	0,32	0,35
22	0,18	0,14	0,16	0,17
23	0,11	0,11	0,11	0,10
24	0,13	0,03	0,04	0,06

Tabela A2.1: Reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do infravermelho próximo.

Quadrado	Reflectância (Dia 1)	Reflectância (Dia 2)	Reflectância (Dia 3)	Reflectância (Dia 4)
1	0,18	0,24	0,22	0,20
2	0,55	0,69	0,60	0,64
3	0,21	0,23	0,20	0,22
4	0,12	0,18	0,15	0,16
5	0,28	0,36	0,31	0,35
6	0,29	0,33	0,31	0,37
7	0,56	0,78	0,65	0,72
8	0,14	0,17	0,15	0,17
9	0,39	0,62	0,57	0,60
10	0,14	0,17	0,15	0,18
11	0,42	0,54	0,52	0,54
12	0,59	0,84	0,83	0,86
13	0,07	0,09	0,09	0,10
14	0,17	0,21	0,22	0,23
15	0,44	0,54	0,59	0,56
16	0,81	0,94	0,95	0,94
17	0,54	0,65	0,67	0,68
18	0,15	0,16	0,20	0,21
19	1,00	1,00	1,00	
20	0,74	0,82	0,78	0,82
21	0,52	0,54	0,56	0,59
22	0,26	0,28	0,28	0,31
23	0,14	0,14	0,18	0,18
24	0,10	0,06	0,07	0,09

Tabela A2.2: Reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do vermelho.

Quadrado	Reflectância (Dia 1)	Reflectância (Dia 2)	Reflectância (Dia 3)	Reflectância (Dia 4)
1	0,13	0,21	0,20	0,17
2	0,36	0,55	0,49	0,51
3	0,27	0,39	0,33	0,38
4	0,15	0,27	0,23	0,24
5	0,29	0,45	0,39	0,44
6	0,56	0,75	0,72	0,83
7	0,33	0,49	0,40	0,44
8	0,20	0,26	0,24	0,26
9	0,16	0,26	0,24	0,26
10	0,10	0,13	0,12	0,15
11	0,63	0,81	0,80	0,81
12	0,48	0,69	0,70	0,71
13	0,11	0,16	0,16	0,17
14	0,35	0,50	0,52	0,50
15	0,16	0,19	0,23	0,22
16	0,79	0,84	0,85	0,85
17	0,25	0,29	0,31	0,33
18	0,35	0,42	0,49	0,50
19	1,00	1,00	1,00	
20	0,94	0,98	0,96	0,98
21	0,69	0,73	0,75	0,79
22	0,34	0,37	0,38	0,41
23	0,16	0,16	0,24	0,24
24	0,12	0,08	0,09	0,12

Tabela A2.3: Reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do verde.

Quadrado	Reflectância (Dia 1)	Reflectância (Dia 2)	Reflectância (Dia 3)	Reflectância (Dia 4)
1	0,09	0,14	0,13	0,11
2	0,27	0,40	0,35	0,36
3	0,36	0,47	0,40	0,44
4	0,08	0,13	0,11	0,11
5	0,39	0,58	0,50	0,55
6	0,47	0,61	0,58	0,67
7	0,12	0,16	0,12	0,14
8	0,36	0,50	0,45	0,48
9	0,13	0,20	0,19	0,20
10	0,14	0,18	0,16	0,18
11	0,20	0,28	0,27	0,28
12	0,12	0,16	0,17	0,18
13	0,24	0,35	0,35	0,34
14	0,16	0,22	0,24	0,23
15	0,10	0,11	0,14	0,14
16	0,21	0,24	0,25	0,26
17	0,33	0,40	0,43	0,43
18	0,45	0,56	0,64	0,63
19	1,00	0,97	0,97	
20	0,81	0,91	0,87	0,90
21	0,56	0,59	0,61	0,64
22	0,27	0,30	0,31	0,33
23	0,14	0,14	0,20	0,20
24	0,10	0,07	0,08	0,10

Tabela A2.4: Reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do azul.

A3. Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias equivalentes, para os 4 dias e para os diferentes marcas de calibração do alvo

Quadrado	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
1	0,32	0,40	0,37	0,38
2	0,79	0,87	0,82	0,81
3	0,55	0,71	0,60	0,57
4	0,19	0,20	0,20	0,20
5	0,64	0,76	0,71	0,72
6	0,35	0,47	0,41	0,41
7	0,71	0,84	0,76	0,75
8	0,50	0,55	0,53	0,52
9	0,45	0,59	0,54	0,56
10	0,67	0,76	0,72	0,72
11	0,51	0,55	0,54	0,54
12	0,60	0,71	0,68	0,70
13	0,39	0,45	0,43	0,45
14	0,39	0,41	0,40	0,41
15	0,72	0,75	0,74	0,74
16	0,76	0,82	0,80	0,80
17	0,81	0,87	0,84	0,84
18	0,30	0,35	0,34	0,35
19	0,87	0,89	0,99	0,92
20	0,48	0,54	0,51	0,51
21	0,28	0,35	0,32	0,32
22	0,14	0,18	0,16	0,17
23	0,10	0,11	0,11	0,11
24	0,03	0,13	0,07	0,05

Tabela A3.1: Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do infravermelho próximo.

Quadrado	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
1	0,18	0,24	0,21	0,21
2	0,55	0,69	0,62	0,62
3	0,20	0,23	0,21	0,21
4	0,12	0,18	0,15	0,16
5	0,28	0,36	0,32	0,33
6	0,29	0,37	0,33	0,32
7	0,56	0,78	0,68	0,69
8	0,14	0,17	0,16	0,16
9	0,39	0,62	0,54	0,58
10	0,14	0,18	0,16	0,16
11	0,42	0,54	0,50	0,53
12	0,59	0,86	0,78	0,83
13	0,07	0,10	0,09	0,09
14	0,17	0,23	0,21	0,22
15	0,44	0,59	0,53	0,55
16	0,81	0,95	0,91	0,94
17	0,54	0,68	0,63	0,66
18	0,15	0,21	0,18	0,18
19	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,74	0,82	0,79	0,80
21	0,52	0,59	0,55	0,55
22	0,26	0,31	0,28	0,28
23	0,14	0,18	0,16	0,16
24	0,06	0,10	0,08	0,08

Tabela A3.2: Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do vermelho.

Quadrado	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
1	0,13	0,21	0,18	0,19
2	0,36	0,55	0,48	0,50
3	0,27	0,39	0,34	0,36
4	0,15	0,27	0,22	0,24
5	0,29	0,45	0,39	0,42
6	0,56	0,83	0,72	0,74
7	0,33	0,49	0,41	0,42
8	0,20	0,26	0,24	0,25
9	0,16	0,26	0,23	0,25
10	0,10	0,15	0,12	0,12
11	0,63	0,81	0,76	0,80
12	0,48	0,71	0,65	0,70
13	0,11	0,17	0,15	0,16
14	0,35	0,52	0,47	0,50
15	0,16	0,23	0,20	0,20
16	0,79	0,85	0,83	0,85
17	0,25	0,33	0,30	0,30
18	0,35	0,50	0,44	0,46
19	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,94	0,98	0,97	0,97
21	0,69	0,79	0,74	0,74
22	0,34	0,41	0,37	0,37
23	0,16	0,24	0,20	0,20
24	0,08	0,12	0,10	0,10

Tabela A3.3: Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do verde.

Quadrado	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
1	0,09	0,14	0,12	0,12
2	0,27	0,40	0,34	0,35
3	0,36	0,47	0,41	0,42
4	0,08	0,13	0,11	0,11
5	0,39	0,58	0,50	0,52
6	0,47	0,67	0,58	0,59
7	0,12	0,16	0,13	0,13
8	0,36	0,50	0,45	0,46
9	0,13	0,20	0,18	0,19
10	0,14	0,18	0,17	0,17
11	0,20	0,28	0,26	0,28
12	0,12	0,18	0,16	0,17
13	0,24	0,35	0,32	0,35
14	0,16	0,24	0,21	0,23
15	0,10	0,14	0,12	0,13
16	0,21	0,26	0,24	0,24
17	0,33	0,43	0,40	0,41
18	0,45	0,64	0,57	0,60
19	0,97	0,97	1,00	0,98
20	0,81	0,91	0,87	0,89
21	0,56	0,64	0,60	0,60
22	0,27	0,33	0,30	0,30
23	0,14	0,20	0,17	0,17
24	0,07	0,10	0,08	0,09

Tabela A3.4: Mínimos, máximos, médias e medianas das reflectâncias das marcas de calibração do alvo, para os 4 dias, na banda do azul.

A4. Marcas de calibração usados na calibração

Infravermelho próximo			Vermelho			Verde			Azul		
$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$
1	1	4	1	1	3	1	8	10	1	1	1
2	4	11	3	3	8	8	10	19	4	4	7
4	8	14	4	4	10	10	13	20	7	7	10
8	11	15	5	8	13	13	15	24	9	9	15
10	13	18	6	10	19	15	16		10	10	19
11	14	22	8	13	22	16	19		11	12	24
13	15	23	10	14	23	17	20		12	14	
14	16		13	18	24	19	22		14	15	
15	17		14	19		20	24		15	16	
16	18		18	22		22			16	19	
17	20		19	23		23			17	22	
18	21		20	24		24			19	23	
20	22		21						20	24	
21	23		22						21		
22			23						22		
23			24						23		
24									24		

Tabela A4.1: Marcas de calibração usados, consoante os diferentes critérios, para cada banda.

A5. Tabelas das reflectâncias

A5.1 Cimento

A5.1.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,26	0,29	0,29
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,23	0,24	0,26	0,26
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,25	0,24	0,30

Tabela A5.1: Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,23	0,32	0,30	0,32
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,24	0,33	0,31	0,35
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,25	0,24	0,30

Tabela A5.2: Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,34	0,33	0,34
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,24	0,33	0,31	0,34
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,25	0,24	0,30

Tabela A5.3: Reflectâncias do cimento para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.1.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,29	0,29	0,26
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,24	0,30	0,30	0,28
Reflectância (espectrodariómetro)	0,30	0,34	0,31	0,42

Tabela A5.4: Reflectâncias do cimento para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,33	0,32	0,35
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,21	0,30	0,28	0,30
Reflectância (espectrodariómetro)	0,30	0,34	0,31	0,42

Tabela A5.5: Reflectâncias do cimento para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,32	0,32	0,35
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,26	0,38	0,35	0,38
Reflectância (espectrodariómetro)	0,30	0,34	0,31	0,42

Tabela A5.6: Reflectâncias do cimento para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.1.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,31	0,35	0,36	0,32
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,26	0,31	0,31	0,29
Reflectância (espectrodariómetro)	0,37	0,41	0,38	0,50

Tabela A5.7: Reflectâncias do cimento para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,30	0,39	0,39	0,42
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,26	0,37	0,34	0,36
Reflectância (espectrodariómetro)	0,37	0,41	0,38	0,50

Tabela A5.8: Reflectâncias do cimento para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,29	0,38	0,38	0,41
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,25	0,36	0,33	0,36
Reflectância (espectrodariómetro)	0,37	0,41	0,38	0,50

Tabela A5.9: Reflectâncias do cimento para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.1.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,23	0,27	0,29	0,25
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,21	0,26	0,27	0,25
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,29	0,27	0,34

Tabela A5.10: Reflectâncias do cimento para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,18	0,23	0,22	0,24
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,13	0,18	0,17	0,18
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,29	0,27	0,34

Tabela A5.11: Reflectâncias do cimento para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,21	0,26	0,25	0,27
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,16	0,21	0,20	0,21
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,29	0,27	0,34

Tabela A5.12: Reflectâncias do cimento para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A5.2 Superfície pintada

A5.2.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,48	0,49	0,56
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,52	0,51	0,57
Reflectância (espectrodariómetro)	0,36	0,35	0,39

Tabela A5.13: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,48	0,49	0,55
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,52	0,51	0,57
Reflectância (espectrodariómetro)	0,36	0,35	0,39

Tabela A5.14: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,50	0,51	0,58
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,49	0,48	0,54
Reflectância (espectrodariómetro)	0,36	0,35	0,39

Tabela A5.15: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.2.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,61	0,62	0,65
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,52	0,56	0,59
Reflectância (espectrodariómetro)	0,52	0,54	0,56

Tabela A5.16: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,61	0,62	0,66
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,53	0,57	0,60
Reflectância (espectrodariómetro)	0,52	0,54	0,56

Tabela A5.17: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,61	0,62	0,66
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,52	0,57	0,59
Reflectância (espectrodariómetro)	0,52	0,54	0,56

Tabela A5.18: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.2.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,60	0,60	0,65
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,64	0,69	0,73
Reflectância (espectrodariómetro)	0,60	0,64	0,66

Tabela A5.19: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,60	0,60	0,64
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,64	0,69	0,73
Reflectância (espectrodariómetro)	0,60	0,64	0,66

Tabela A5.20: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,57	0,58	0,62
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,62	0,66	0,70
Reflectância (espectrodariómetro)	0,60	0,64	0,66

Tabela A5.21: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.2.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,35	0,36	0,40
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,37	0,43	0,46
Reflectância (espectrodariómetro)	0,39	0,41	0,43

Tabela A5.22: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,38	0,40	0,44
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,40	0,46	0,49
Reflectância (espectrodariómetro)	0,39	0,41	0,43

Tabela A5.23: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,23	0,24	0,26
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,24	0,27	0,28
Reflectância (espectrodariómetro)	0,39	0,41	0,43

Tabela A5.24: Reflectâncias da superfície pintada para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A5.3 Granito

A5.3.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,26	0,30	0,27	0,25
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,27	0,30	0,29	0,26
Reflectância (espectrodariómetro)	0,30	0,36	0,32	0,27

Tabela A5.25: Reflectâncias do granito para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,28	0,31	0,29	0,26
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,25	0,29	0,27	0,24
Reflectância (espectrodariómetro)	0,30	0,36	0,32	0,27

Tabela A5.26: Reflectâncias do granito para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,26	0,30	0,27	0,25
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,26	0,30	0,29	0,25
Reflectância (espectrodariómetro)	0,30	0,36	0,32	0,27

Tabela A5.27: Reflectâncias do granito para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.3.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,28	0,32	0,28	0,29
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,27	0,30	0,29	0,30
Reflectância (espectrodariómetro)	0,34	0,43	0,35	0,29

Tabela A5.28: Reflectâncias do granito para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,21	0,23	0,21	0,21
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,27	0,30	0,29	0,30
Reflectância (espectrodariómetro)	0,34	0,43	0,35	0,29

Tabela A5.29: Reflectâncias do granito para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,28	0,32	0,28	0,29
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,27	0,30	0,29	0,30
Reflectância (espectrodariómetro)	0,34	0,43	0,35	0,29

Tabela A5.30: Reflectâncias do granito para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.3.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,33	0,37	0,34	0,35
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,31	0,35	0,35	0,36
Reflectância (espectrodariómetro)	0,39	0,51	0,42	0,35

Tabela A5.31: Reflectâncias do granito para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,32	0,37	0,34	0,34
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,31	0,35	0,35	0,36
Reflectância (espectrodariómetro)	0,39	0,51	0,42	0,35

Tabela A5.32: Reflectâncias do granito para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,33	0,37	0,34	0,35
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,31	0,35	0,35	0,36
Reflectância (espectrodariómetro)	0,39	0,51	0,42	0,35

Tabela A5.33: Reflectâncias do granito para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.3.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,29	0,28	0,29
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,20	0,22	0,23	0,24
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,34	0,29	0,24

Tabela A5.34: Reflectâncias do granito para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,19	0,21	0,21	0,22
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,23	0,25	0,26	0,27
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,34	0,29	0,24

Tabela A5.35: Reflectâncias do granito para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,22	0,24	0,23	0,24
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,15	0,16	0,16	0,17
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,34	0,29	0,24

Tabela A5.36: Reflectâncias do granito para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A5.4 Pedra

A5.4.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,38	0,40	0,43	0,41	0,39
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,43	0,44	0,47	0,42	0,42
Reflectância (espectrodariómetro)	0,40	0,39	0,43	0,43	0,38

Tabela A5.37: Reflectâncias da pedra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,38	0,40	0,42	0,40	0,38
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,43	0,43	0,46	0,42	0,42
Reflectância (espectrodariómetro)	0,40	0,39	0,43	0,43	0,38

Tabela A5.38: Reflectâncias da pedra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,40	0,42	0,45	0,43	0,40
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,44	0,45	0,48	0,43	0,43
Reflectância (espectrodariómetro)	0,40	0,39	0,43	0,43	0,38

Tabela A5.39: Reflectâncias da pedra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.4.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,48	0,46	0,49	0,46	0,44
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,41	0,40	0,43	0,40	0,39
Reflectância (espectrodariómetro)	0,51	0,50	0,56	0,50	0,49

Tabela A5.40: Reflectâncias da pedra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,37	0,35	0,37	0,35	0,34
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,41	0,41	0,44	0,40	0,40
Reflectância (espectrodariómetro)	0,51	0,50	0,56	0,50	0,49

Tabela A5.41: Reflectâncias da pedra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,37	0,35	0,37	0,35	0,34
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,41	0,40	0,43	0,40	0,40
Reflectância (espectrodariómetro)	0,51	0,50	0,55	0,50	0,49

Tabela A5.42: Reflectâncias da pedra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.4.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,45	0,43	0,45	0,42	0,41
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,50	0,50	0,52	0,48	0,48
Reflectância (espectrodariómetro)	0,58	0,57	0,64	0,56	0,55

Tabela A5.43: Reflectâncias da pedra para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,45	0,42	0,44	0,41	0,40
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,49	0,49	0,52	0,47	0,48
Reflectância (espectrodariómetro)	0,58	0,57	0,64	0,56	0,55

Tabela A5.44: Reflectâncias da pedra para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,44	0,41	0,43	0,40	0,39
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,48	0,48	0,51	0,46	0,46
Reflectância (espectrodariómetro)	0,58	0,57	0,64	0,56	0,55

Tabela A5.45: Reflectâncias da pedra para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.4.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,50	0,45	0,48	0,43	0,42
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,41	0,40	0,42	0,36	0,37
Reflectância (espectrodariómetro)	0,35	0,35	0,41	0,34	0,33

Tabela A5.46: Reflectâncias da pedra para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,23	0,21	0,22	0,20	0,20
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,35	0,35	0,36	0,32	0,33
Reflectância (espectrodariómetro)	0,35	0,35	0,41	0,34	0,33

Tabela A5.47: Reflectâncias da pedra para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,25	0,23	0,24	0,23	0,22
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,21	0,21	0,22	0,20	0,20
Reflectância (espectrodariómetro)	0,35	0,35	0,41	0,34	0,33

Tabela A5.48: Reflectâncias da pedra para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A5.5 Relva verde

A5.5.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,36	0,42	0,40	0,47	0,34
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,35	0,40	0,37	0,43	0,29
Reflectância (espectrodariómetro)	0,43	0,39	0,39	0,44	0,33

Tabela A5.49: Reflectâncias da relva verde para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,41	0,35	0,39	0,46	0,33
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,43	0,38	0,41	0,46	0,32
Reflectância (espectrodariómetro)	0,43	0,39	0,39	0,44	0,33

Tabela A5.50: Reflectâncias da relva verde para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,35	0,41	0,39	0,46	0,32
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,39	0,44	0,41	0,48	0,32
Reflectância (espectrodariómetro)	0,43	0,39	0,39	0,44	0,33

Tabela A5.51: Reflectâncias da relva verde para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.5.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,09	0,09	0,09	0,11	0,08
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,08	0,07	0,08	0,10	0,07
Reflectância (espectrodariómetro)	0,08	0,07	0,07	0,10	0,06

Tabela A5.52: Reflectâncias da relva verde para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,09	0,09	0,10	0,12	0,08
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,08	0,08	0,08	0,10	0,07
Reflectância (espectrodariómetro)	0,08	0,07	0,07	0,10	0,06

Tabela A5.53: Reflectâncias da relva verde para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,09	0,09	0,09	0,12	0,08
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,08	0,08	0,08	0,10	0,07
Reflectância (espectrodariómetro)	0,08	0,07	0,07	0,10	0,06

Tabela A5.54: Reflectâncias da relva verde para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.5.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,10	0,10	0,11	0,13	0,08
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,09	0,08	0,09	0,11	0,07
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,11	0,11	0,15	0,09

Tabela A5.55: Reflectâncias da relva verde para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,09	0,09	0,10	0,13	0,08
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,09	0,08	0,08	0,11	0,06
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,11	0,11	0,15	0,09

Tabela A5.56: Reflectâncias da relva verde para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,10	0,10	0,11	0,13	0,08
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,09	0,08	0,09	0,11	0,07
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,11	0,11	0,15	0,09

Tabela A5.57: Reflectâncias da relva verde para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.5.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,03	0,03	0,03	0,05	0,02
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01
Reflectância (espectrodariómetro)	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03

Tabela A5.58: Reflectâncias da relva verde para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03
Reflectância (espectrodariómetro)	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03

Tabela A5.59: Reflectâncias da relva verde para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,06	0,06	0,06	0,08	0,05
Reflectância (espectrodariómetro)	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03

Tabela A5.60: Reflectâncias da relva verde para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A5.6 Relva senescente

A5.6.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,29	0,32	0,29	0,23	0,30
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,34	0,30	0,23	0,33

Tabela A5.61: Reflectâncias da relva senescente para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,28	0,30	0,28	0,22	0,28
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,34	0,30	0,23	0,33

Tabela A5.62: Reflectâncias da relva senescente para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,27	0,30	0,27	0,21	0,28
Reflectância (espectrodariómetro)	0,26	0,34	0,30	0,23	0,33

Tabela A5.63: Reflectâncias da relva senescente para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.6.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,21	0,15	0,23	0,20	0,26
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,16	0,26	0,21	0,28

Tabela A5.64: Reflectâncias da relva senescente para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,17	0,13	0,19	0,16	0,21
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,16	0,26	0,21	0,28

Tabela A5.65: Reflectâncias da relva senescente para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,17	0,13	0,19	0,16	0,21
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,16	0,26	0,21	0,28

Tabela A5.66: Reflectâncias da relva senescente para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.6.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,16	0,12	0,18	0,15	0,20
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,20	0,27	0,21	0,29

Tabela A5.67: Reflectâncias da relva senescente para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,16	0,12	0,18	0,15	0,20
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,20	0,27	0,21	0,29

Tabela A5.68: Reflectâncias da relva senescente para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,16	0,12	0,18	0,15	0,20
Reflectância (espectrodariómetro)	0,23	0,20	0,27	0,21	0,29

Tabela A5.69: Reflectâncias da relva senescente para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.6.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,07	0,05	0,09	0,07	0,10
Reflectância (espectrodariómetro)	0,13	0,11	0,15	0,12	0,16

Tabela A5.70: Reflectâncias da relva senescente para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,10	0,07	0,11	0,09	0,12
Reflectância (espectrodariómetro)	0,13	0,11	0,15	0,12	0,16

Tabela A5.71: Reflectâncias da relva senescente para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs)	0,12	0,10	0,14	0,12	0,14
Reflectância (espectrodariómetro)	0,13	0,11	0,15	0,12	0,16

Tabela A5.72: Reflectâncias da relva senescente para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A5.7 Metal

A5.7.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,12	0,12	0,11	0,11	0,14
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,11	0,12	0,11	0,11	0,14
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,14	0,12	0,12	0,12

Tabela A5.73: Reflectâncias do metal para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,11	0,10	0,10	0,13
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,14	0,12	0,12	0,12

Tabela A5.74: Reflectâncias do metal para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,12	0,10	0,10	0,13
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,14	0,12	0,12	0,12

Tabela A5.75: Reflectâncias do metal para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.7.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
Reflectância (espectrodariómetro)	0,14	0,15	0,14	0,14	0,13

Tabela A5.76: Reflectâncias do metal para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12
Reflectância (espectrodariómetro)	0,14	0,15	0,14	0,14	0,13

Tabela A5.77: Reflectâncias do metal para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12
Reflectância (espectrodariómetro)	0,14	0,15	0,14	0,14	0,13

Tabela A5.78: Reflectâncias do metal para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.7.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,10	0,11	0,10	0,09	0,10
Reflectância (espectrodariómetro)	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14

Tabela A5.79: Reflectâncias do metal para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
Reflectância (espectrodariómetro)	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14

Tabela A5.80: Reflectâncias do metal para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,13	0,11	0,11	0,12
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11
Reflectância (espectrodariómetro)	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14

Tabela A5.81: Reflectâncias do metal para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.7.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07
Reflectância (espectrodariómetro)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10

Tabela A5.82: Reflectâncias do metal para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09
Reflectância (espectrodariómetro)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10

Tabela A5.83: Reflectâncias do metal para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Reflectância (espectrodariómetro)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10

Tabela A5.84: Reflectâncias do metal para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A5.8 Terra

A5.8.1 Infravermelho Próximo

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,14	0,15	0,12
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,16	0,17	0,15
Reflectância (espectrodariómetro)	0,15	0,17	0,16

Tabela A5.85: Reflectâncias da terra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,13	0,15	0,12
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,16	0,17	0,14
Reflectância (espectrodariómetro)	0,15	0,17	0,16

Tabela A5.86: Reflectâncias da terra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,14	0,15	0,12
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,16	0,17	0,15
Reflectância (espectrodariómetro)	0,15	0,17	0,16

Tabela A5.87: Reflectâncias da terra para a banda do infravermelho próximo, usando o critério Δ_3 .

A5.8.2 Vermelho

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,12	0,12	0,11
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,14	0,15	0,13
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,14	0,12

Tabela A5.88: Reflectâncias da terra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,12	0,13	0,12
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,11	0,12	0,11
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,14	0,12

Tabela A5.89: Reflectâncias da terra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,12	0,13	0,12
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,11	0,12	0,10
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,14	0,12

Tabela A5.90: Reflectâncias da terra para a banda do vermelho, usando o critério Δ_3 .

A5.8.3 Verde

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,12	0,11
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,11	0,11	0,10
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,13	0,12

Tabela A5.91: Reflectâncias da terra para a banda do verde, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,12	0,10
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,10	0,11	0,09
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,13	0,12

Tabela A5.92: Reflectâncias da terra para a banda do verde, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,11	0,11	0,10
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,10	0,10	0,09
Reflectância (espectrodariómetro)	0,12	0,13	0,12

Tabela A5.93: Reflectâncias da terra para a banda do verde, usando o critério Δ_3 .

A5.8.4 Azul

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,06	0,06	0,06
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,04	0,05	0,04
Reflectância (espectrodariómetro)	0,07	0,07	0,06

Tabela A5.94: Reflectâncias da terra para a banda do azul, usando o critério Δ_1 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,06	0,06	0,06
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,07	0,07	0,06
Reflectância (espectrodariómetro)	0,07	0,07	0,06

Tabela A5.95: Reflectâncias da terra para a banda do azul, usando o critério Δ_2 .

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Reflectância (DNs) (Imagem 1)	0,06	0,07	0,06
Reflectância (DNs) (Imagem 2)	0,06	0,06	0,05
Reflectância (espectrodariómetro)	0,07	0,07	0,06

Tabela A5.96: Reflectâncias da terra para a banda do azul, usando o critério Δ_3 .

A6 Gráficos das Reflectâncias

A6.1 Cimento

A6.1.1 Infravermelho Próximo

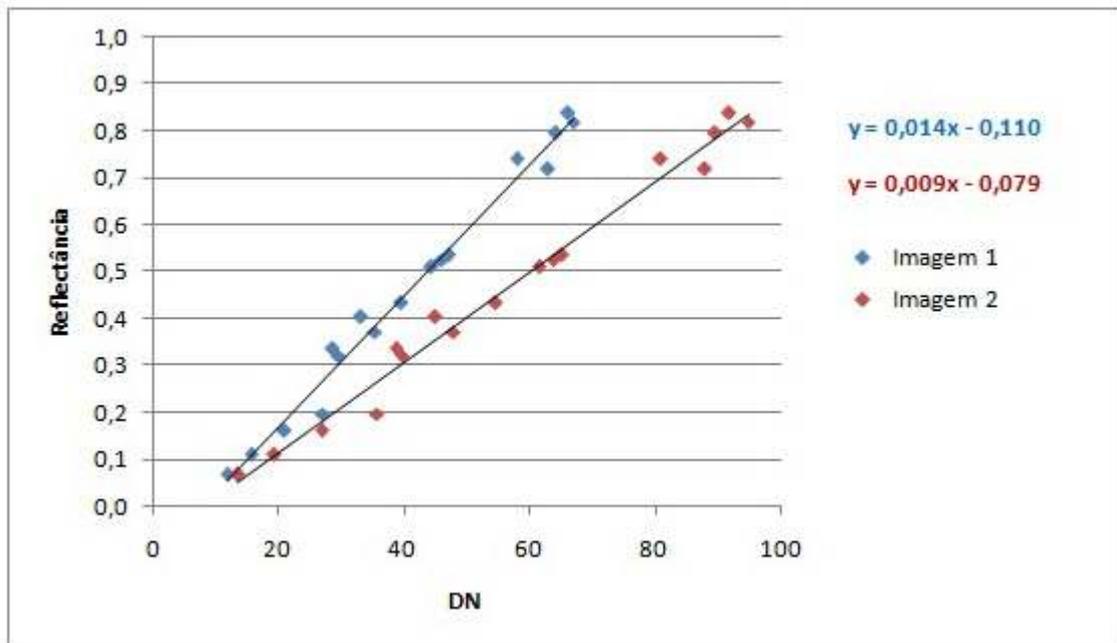


Figura A6.1: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_1 .

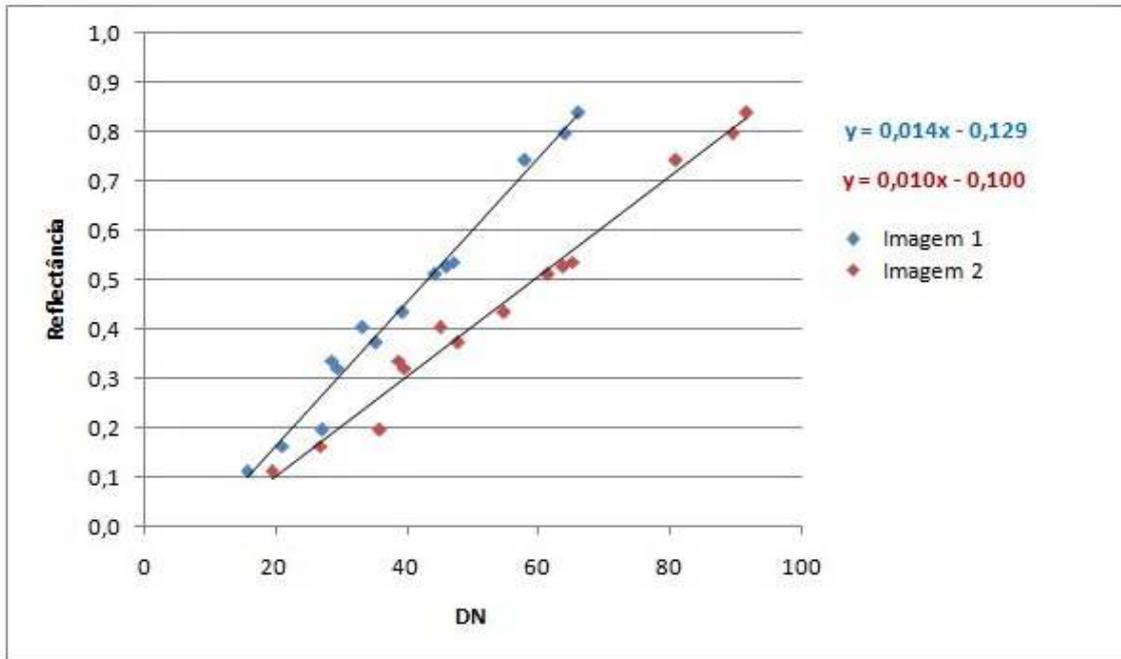


Figura A6.2: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_2 .

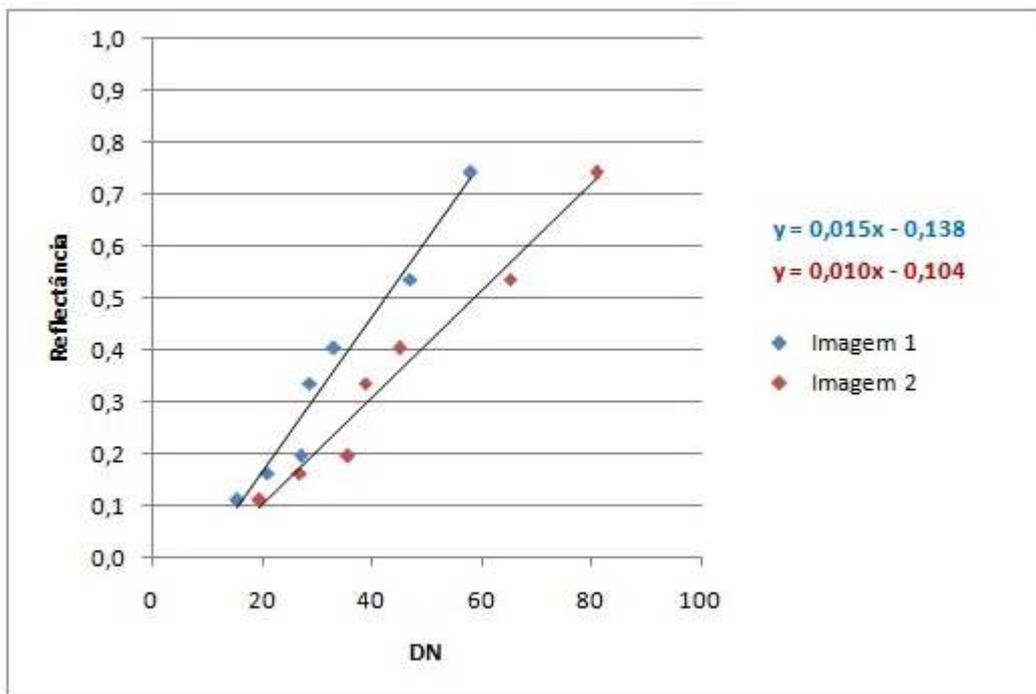


Figura A6.3: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_3 .

A6.1.2 Vermelho

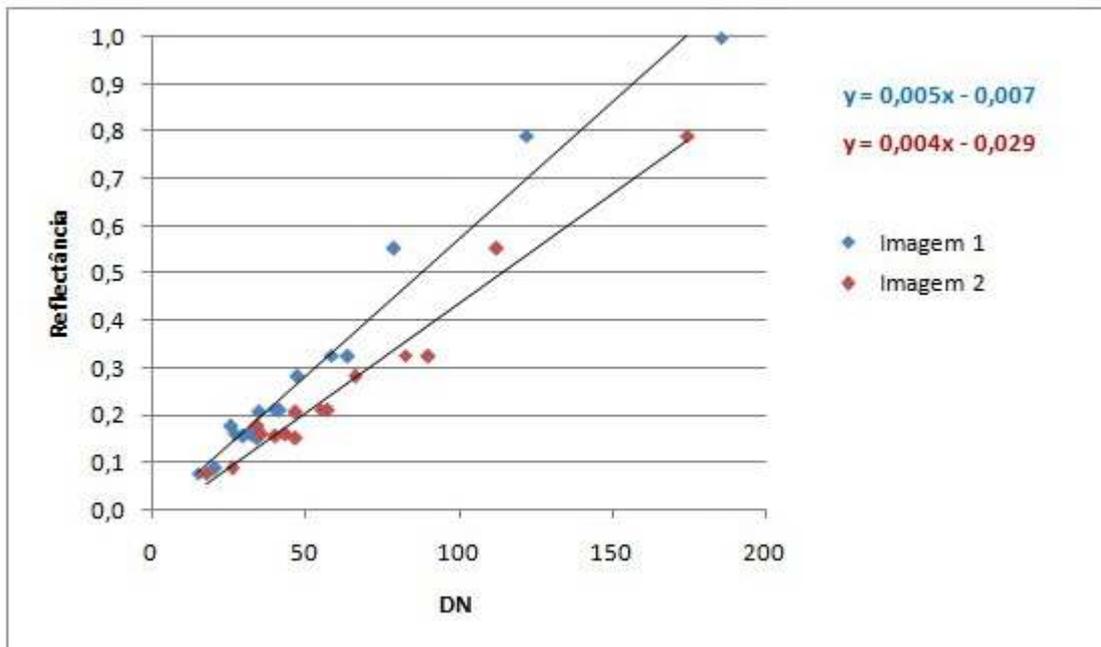


Figura A6.4: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_1 .

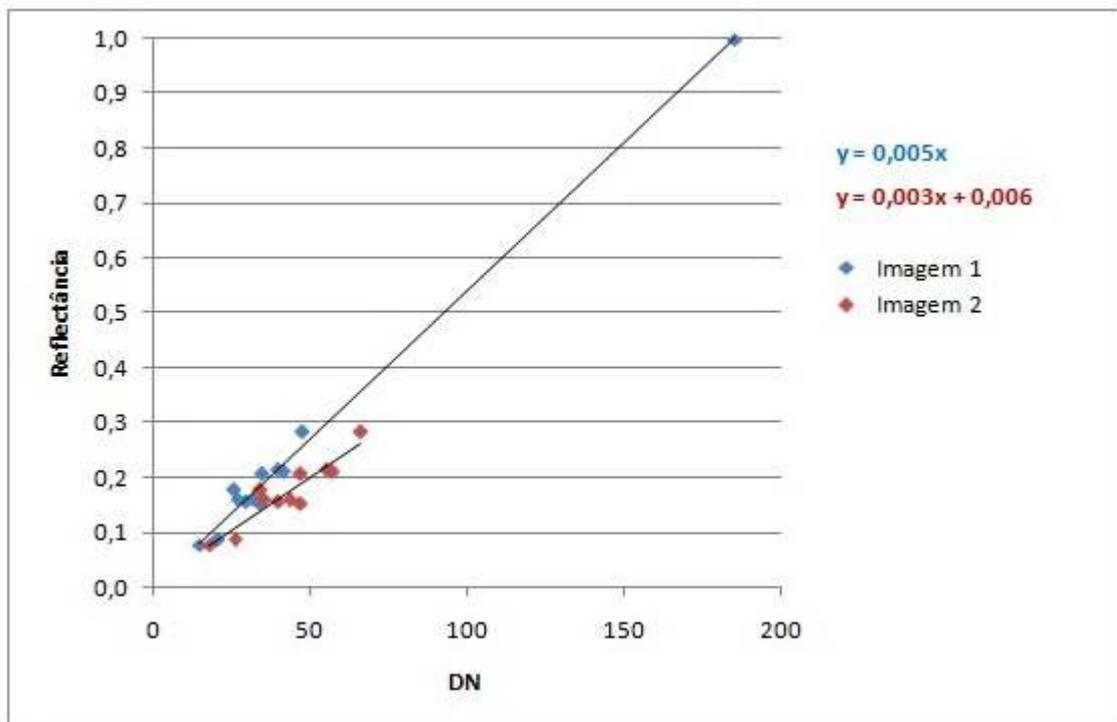


Figura A6.5: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_2 .

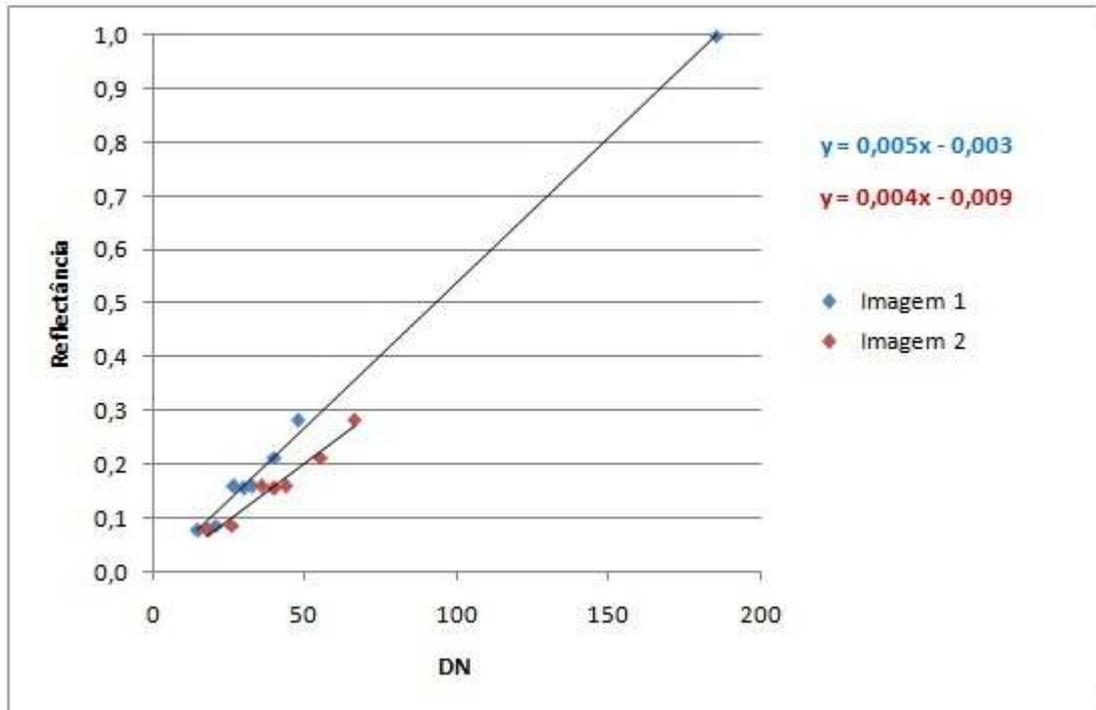


Figura A6.6: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_3 .

A6.1.3 Verde

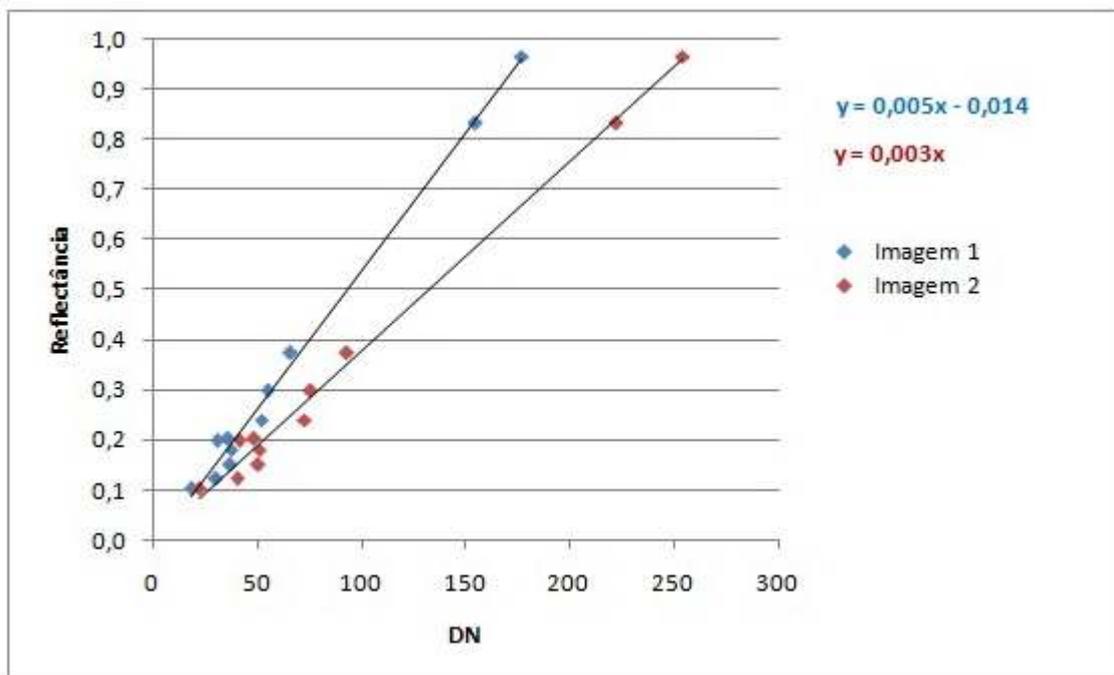


Figura A6.7: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_1 .

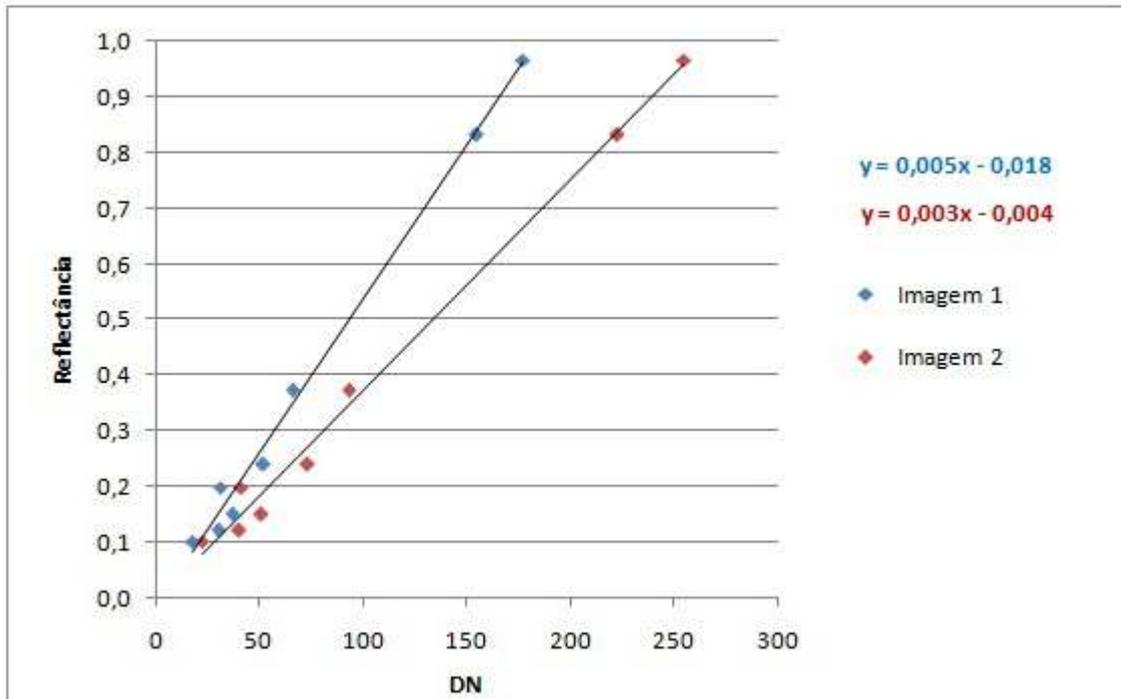


Figura A6.8: Gráfico da refletância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_2 .

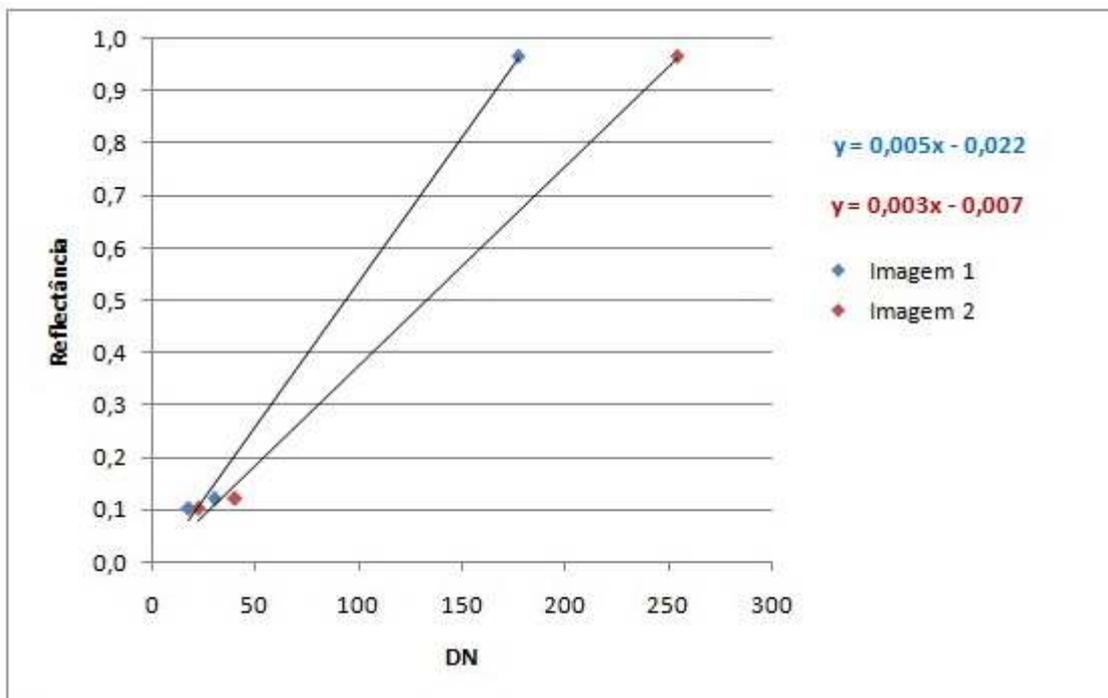


Figura A6.9: Gráfico da refletância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_3 .

A6.1.4 Azul

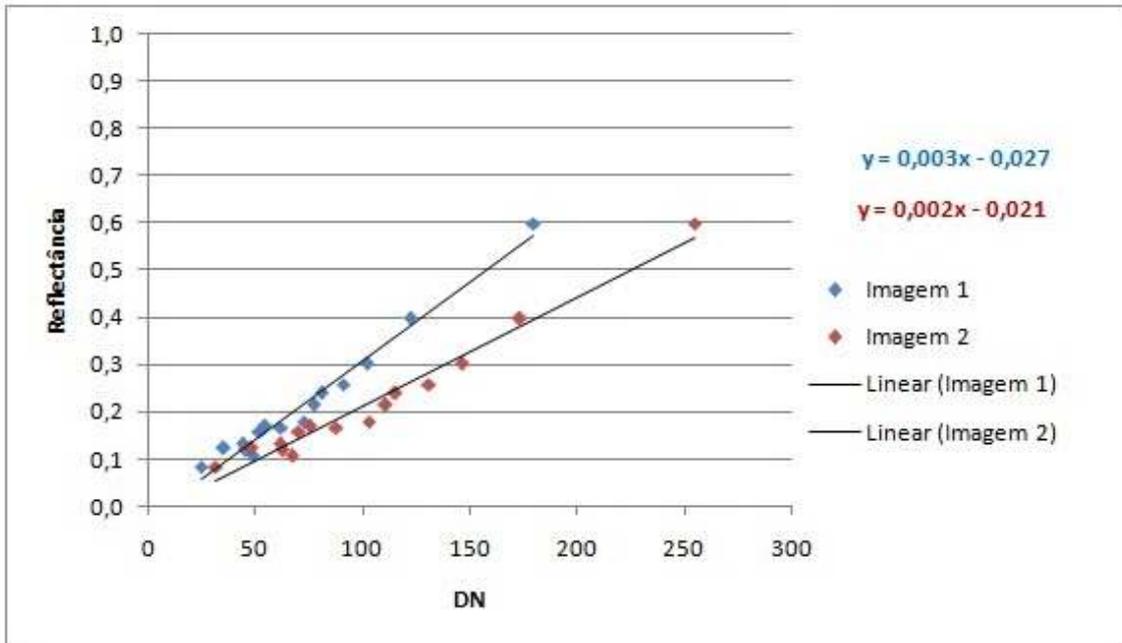


Figura A6.10: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_1 .

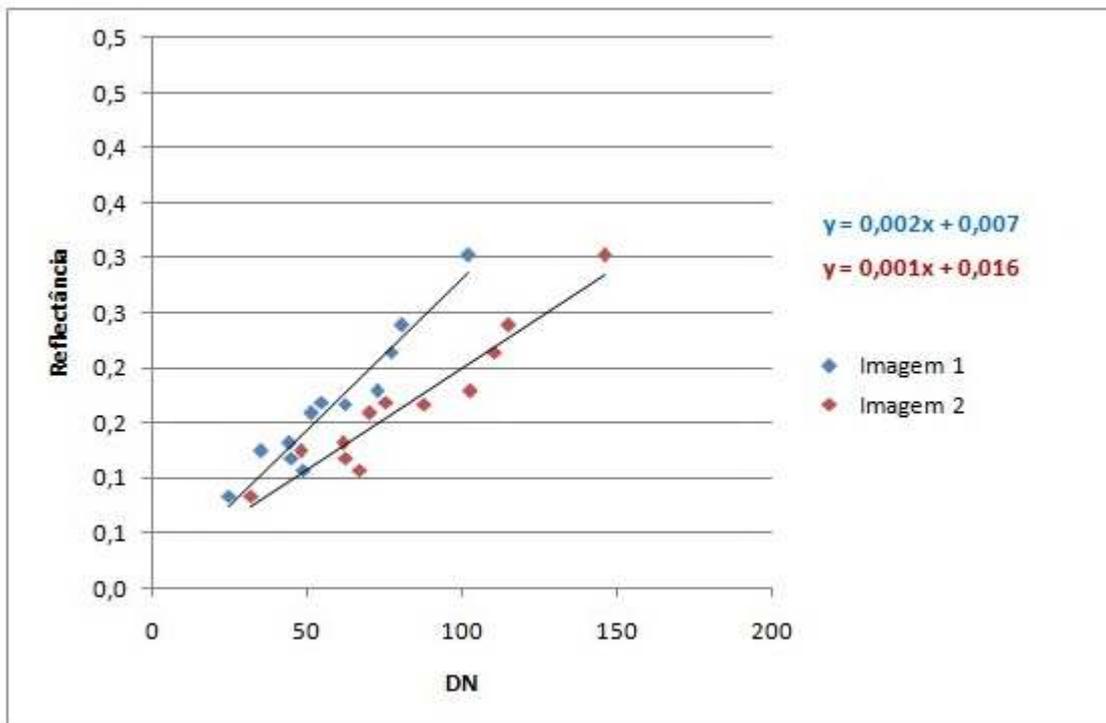


Figura A6.11: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_2 .

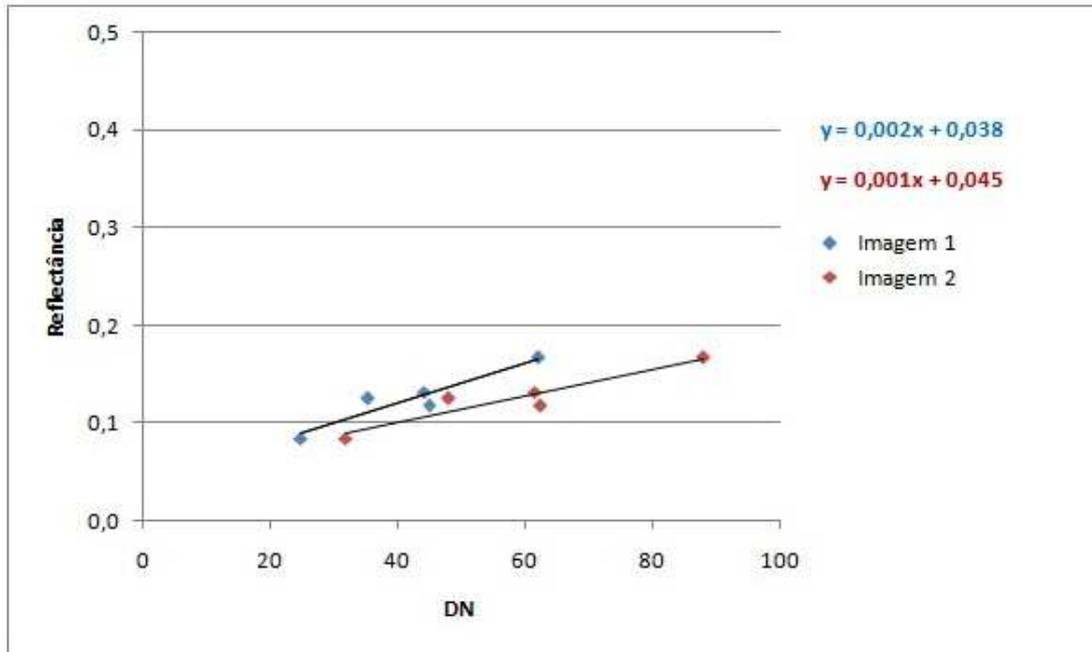


Figura A6.12: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo do cimento, utilizando o critério Δ_3 .

A6.2 Superfície pintada

A6.2.1 Infravermelho Próximo

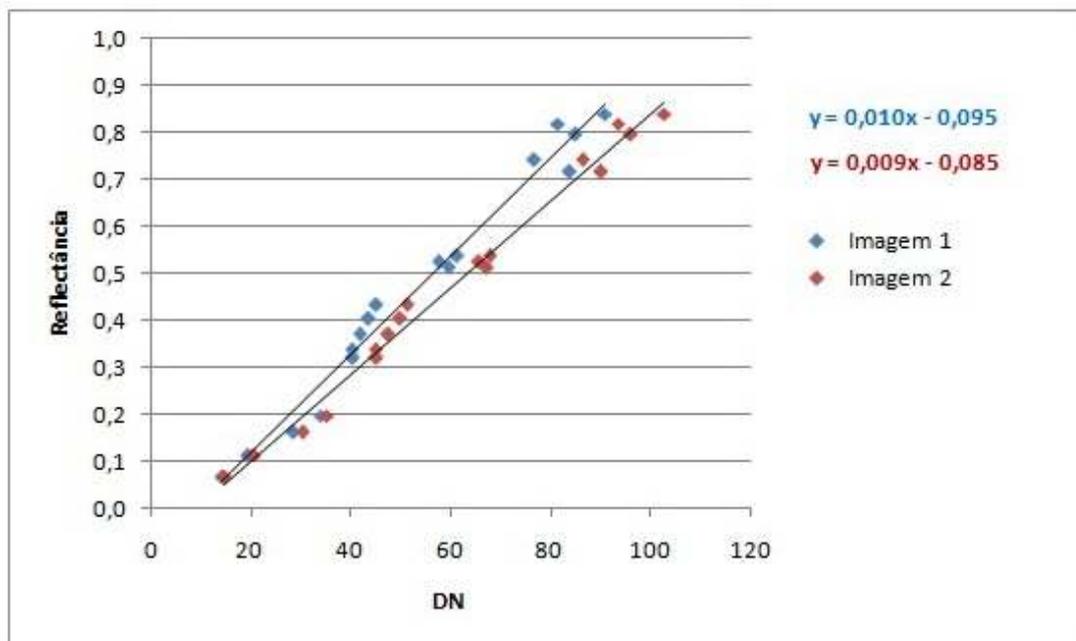


Figura A6.13: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1 .

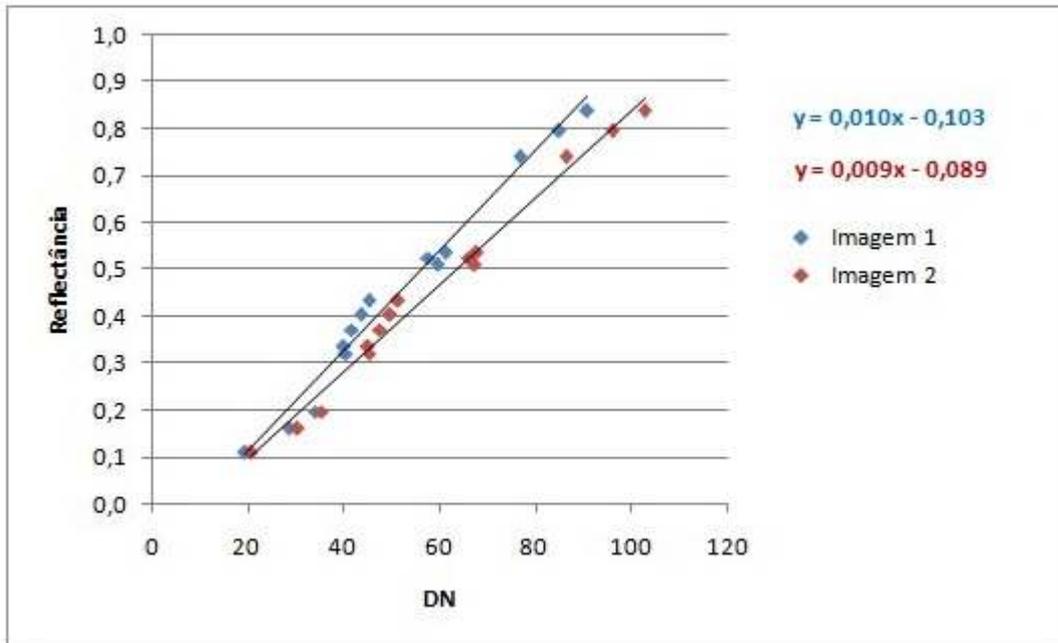


Figura A6.14: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2 .

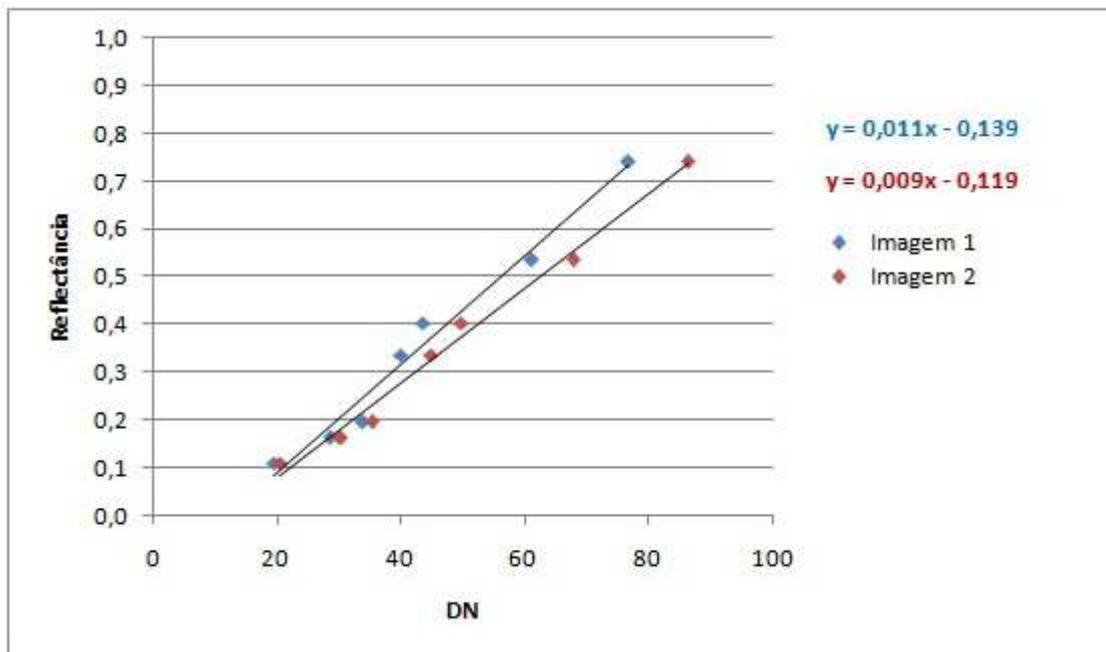


Figura A6.15: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3 .

A6.2.2 Vermelho

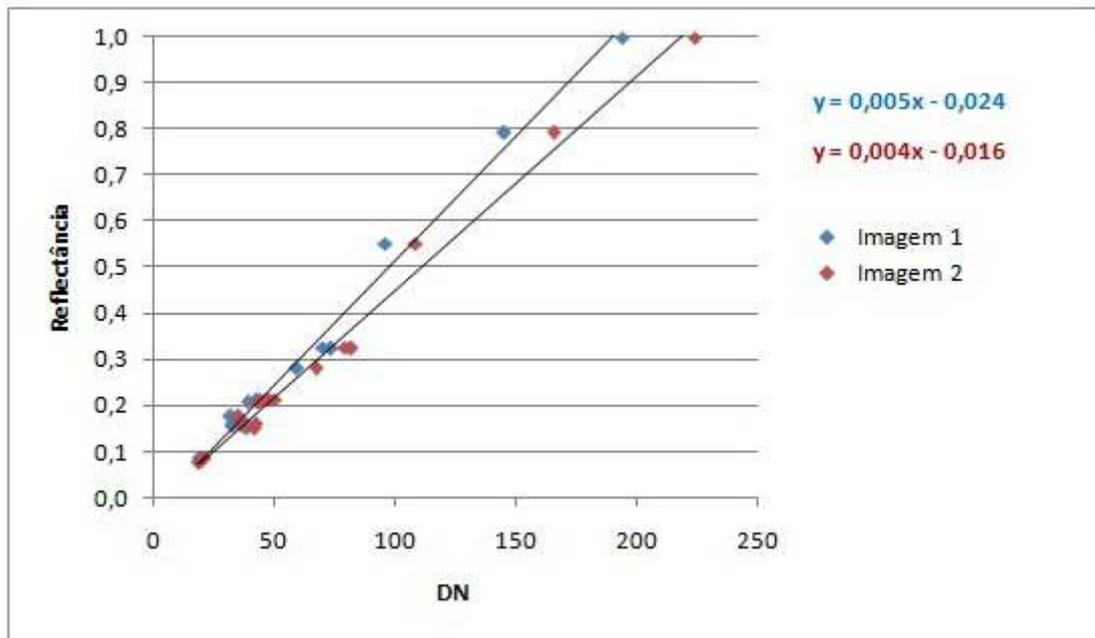


Figura A6.16: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1 .

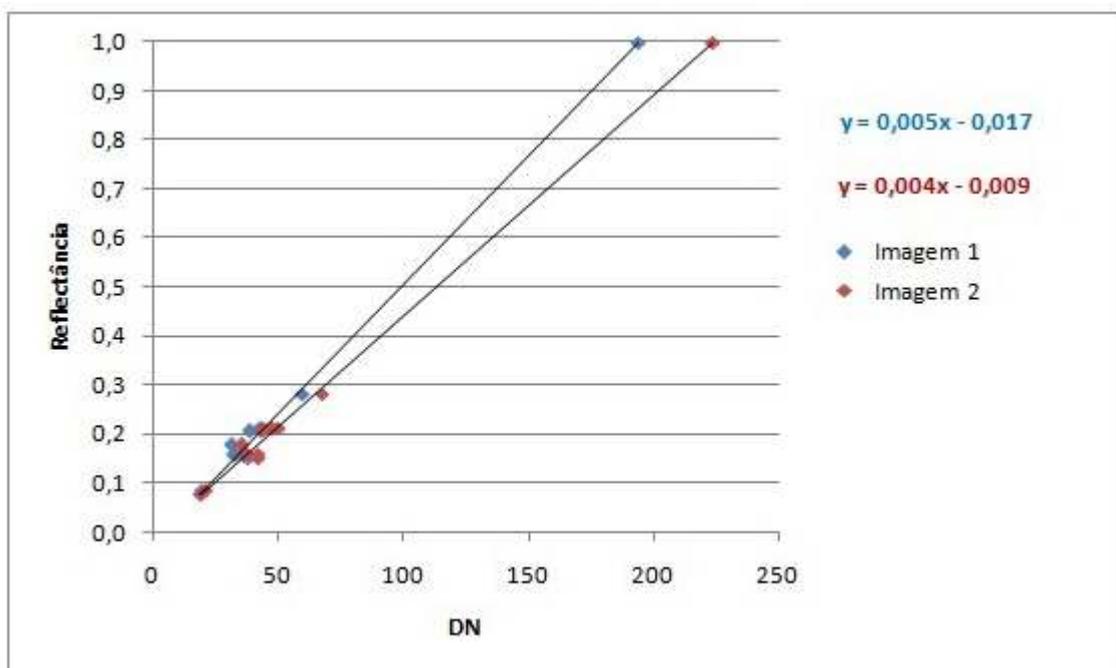


Figura A6.17: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2 .

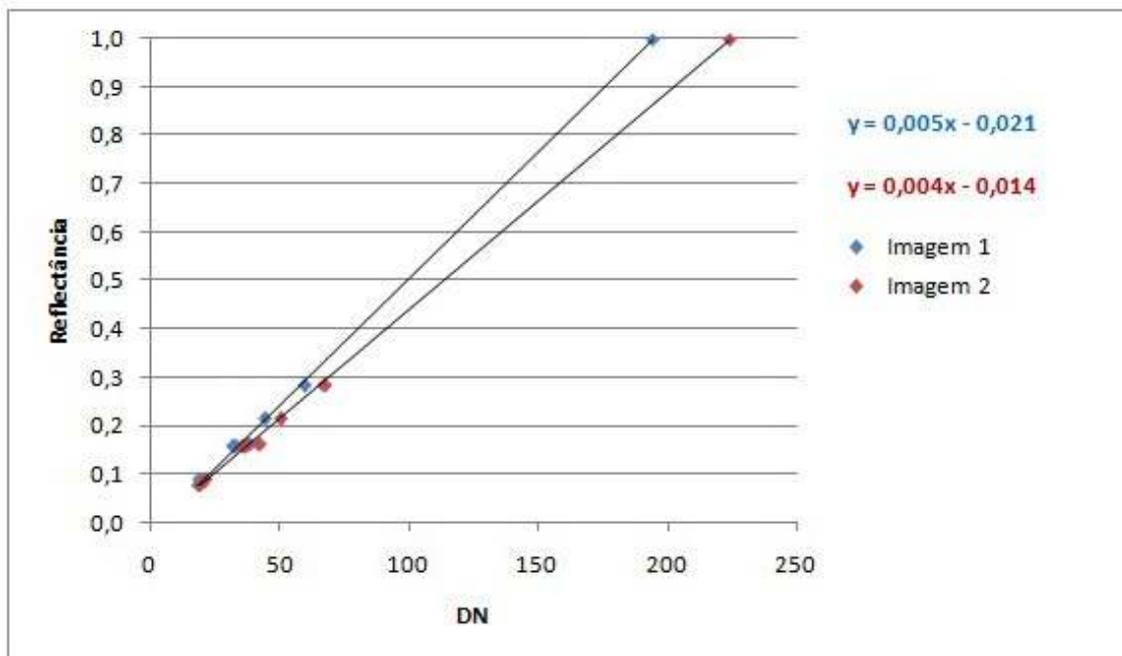


Figura A6.18: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3 .

A6.2.3 Verde

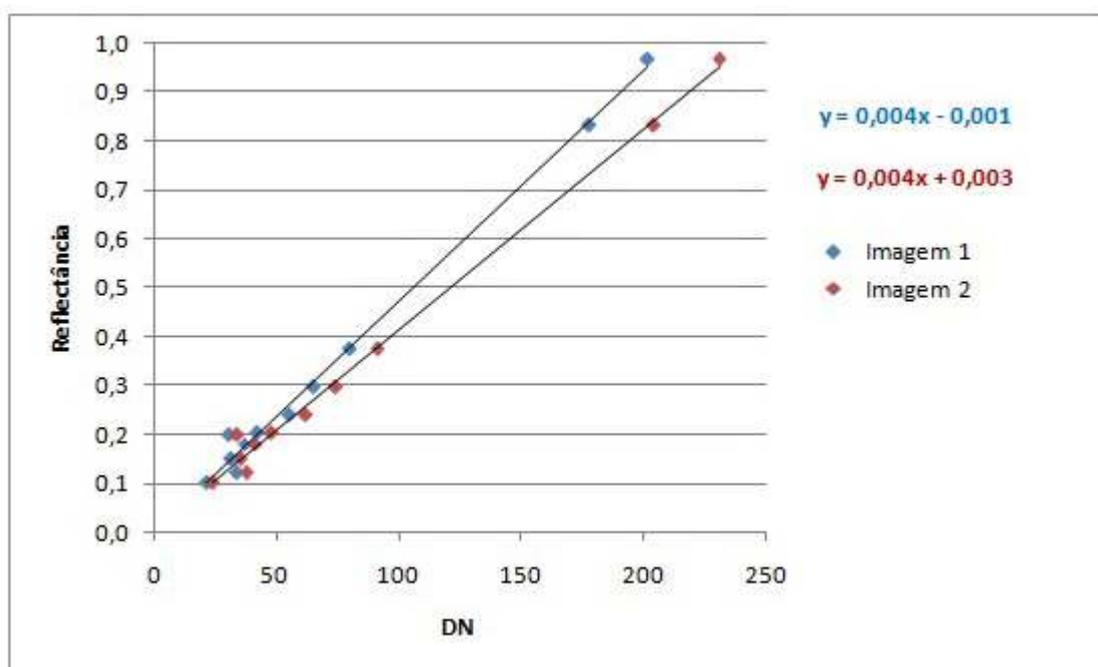


Figura A6.19: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1 .

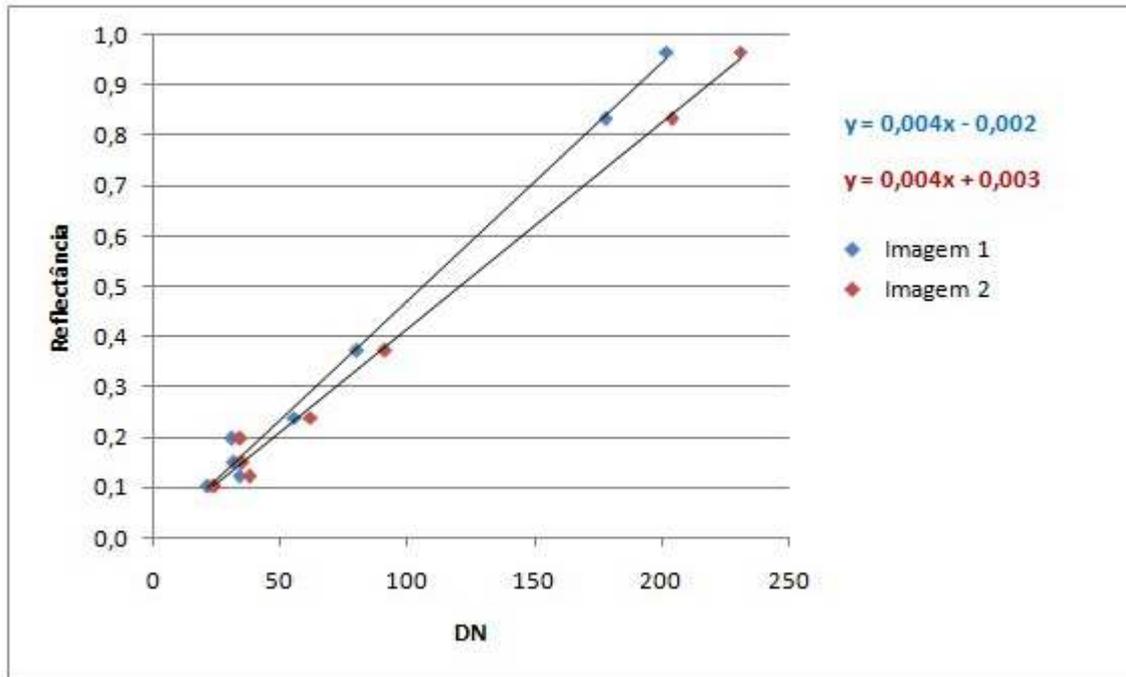


Figura A6.20: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2 .

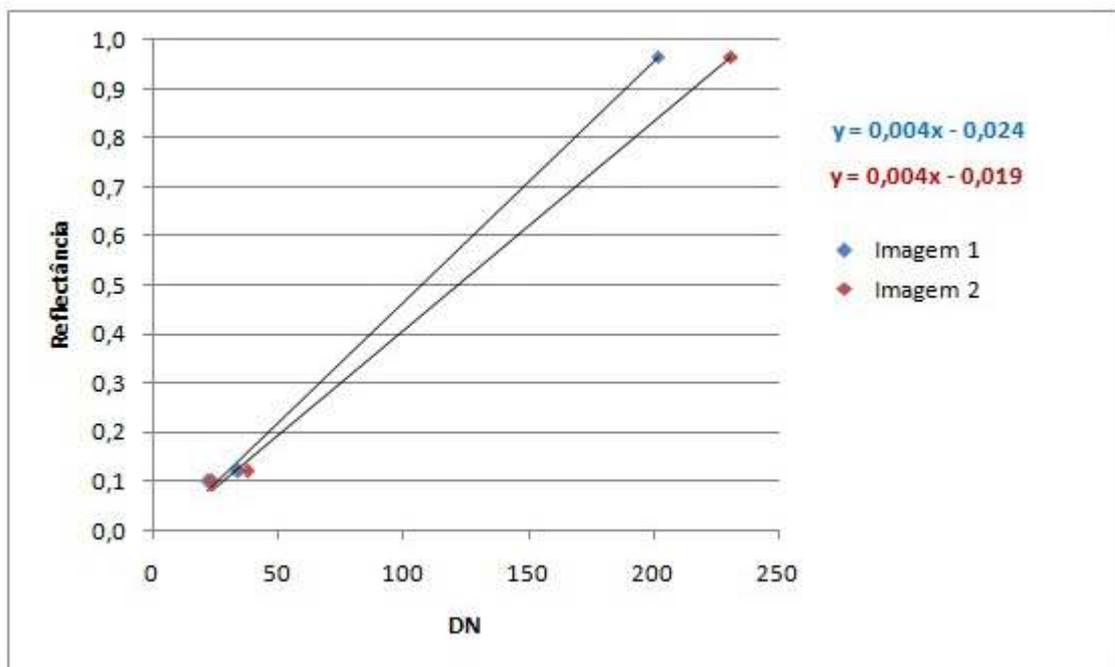


Figura A6.21: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3 .

A6.2.4 Azul

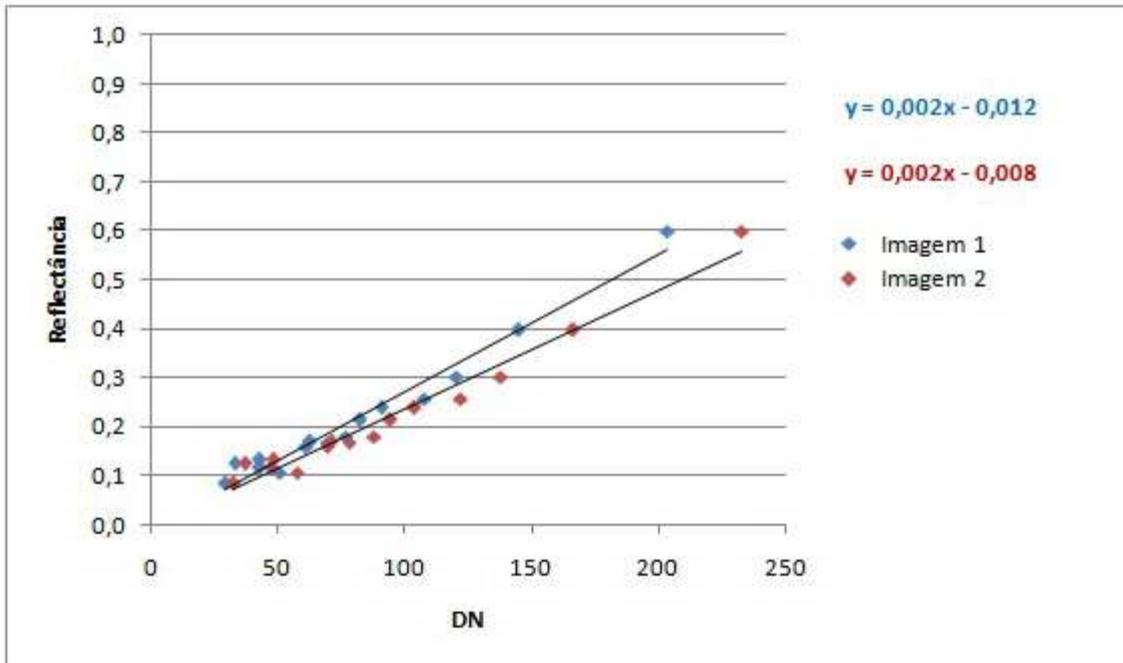


Figura A6.22: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_1 .

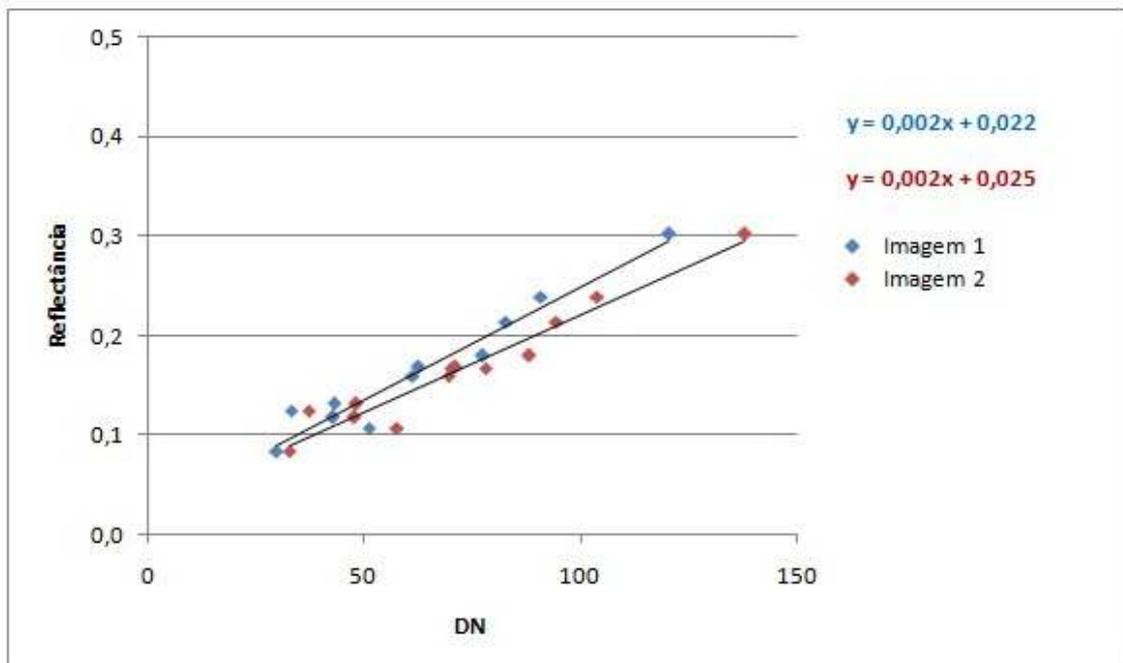


Figura A6.23: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_2 .

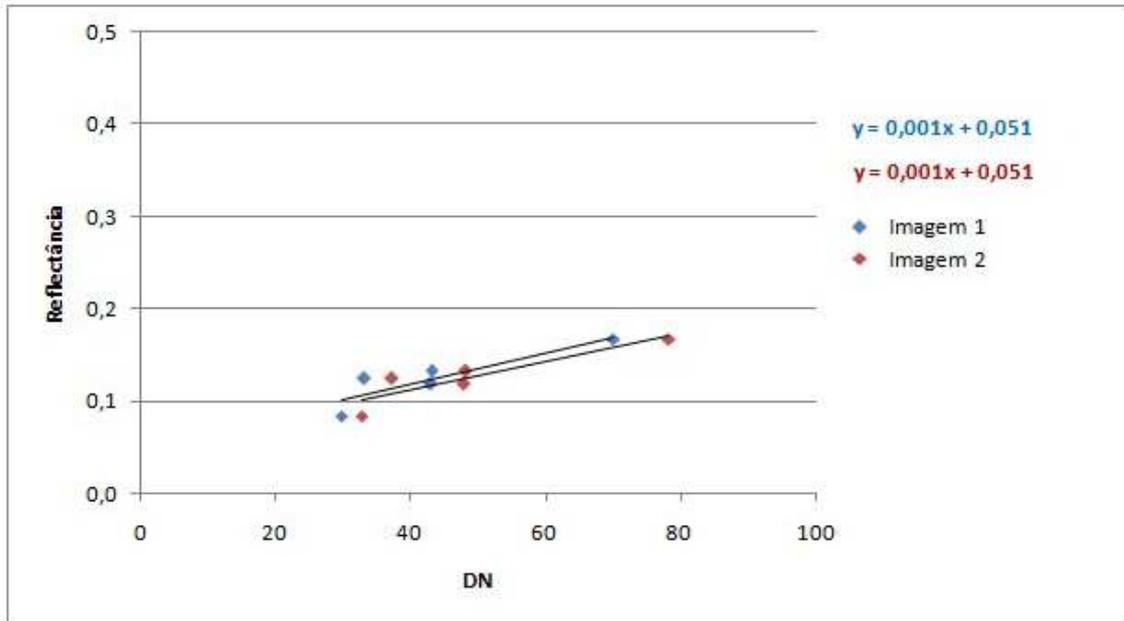


Figura A6.24: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo da superfície pintada, utilizando o critério Δ_3 .

A6.3 Granito

A6.3.1 Infravermelho Próximo

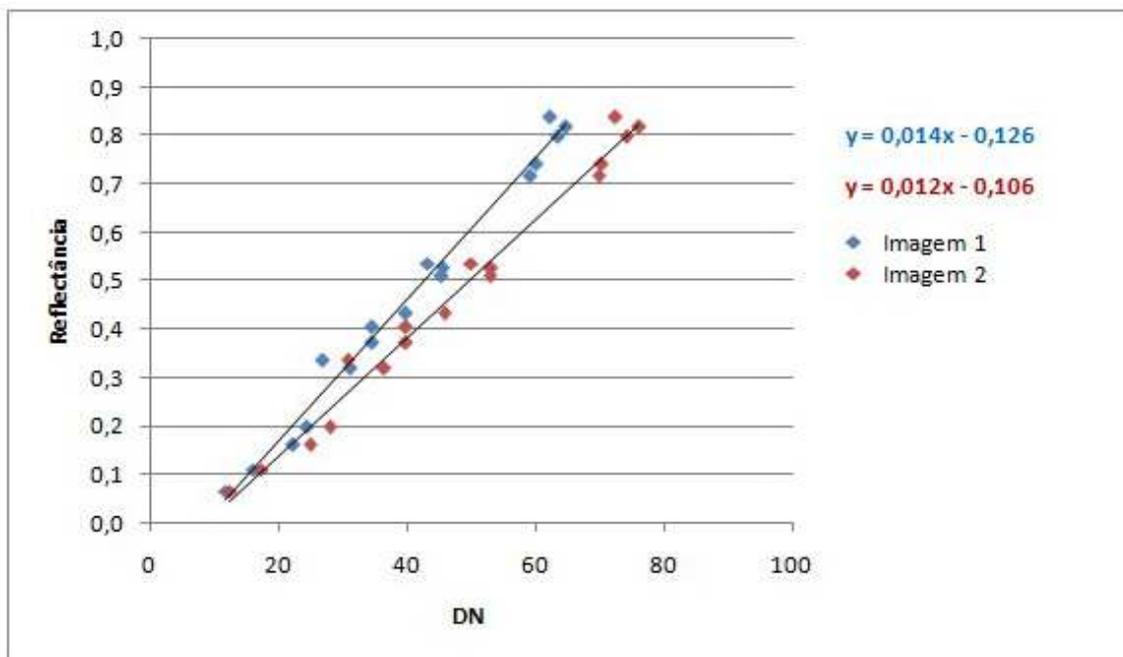


Figura A6.25: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_1 .

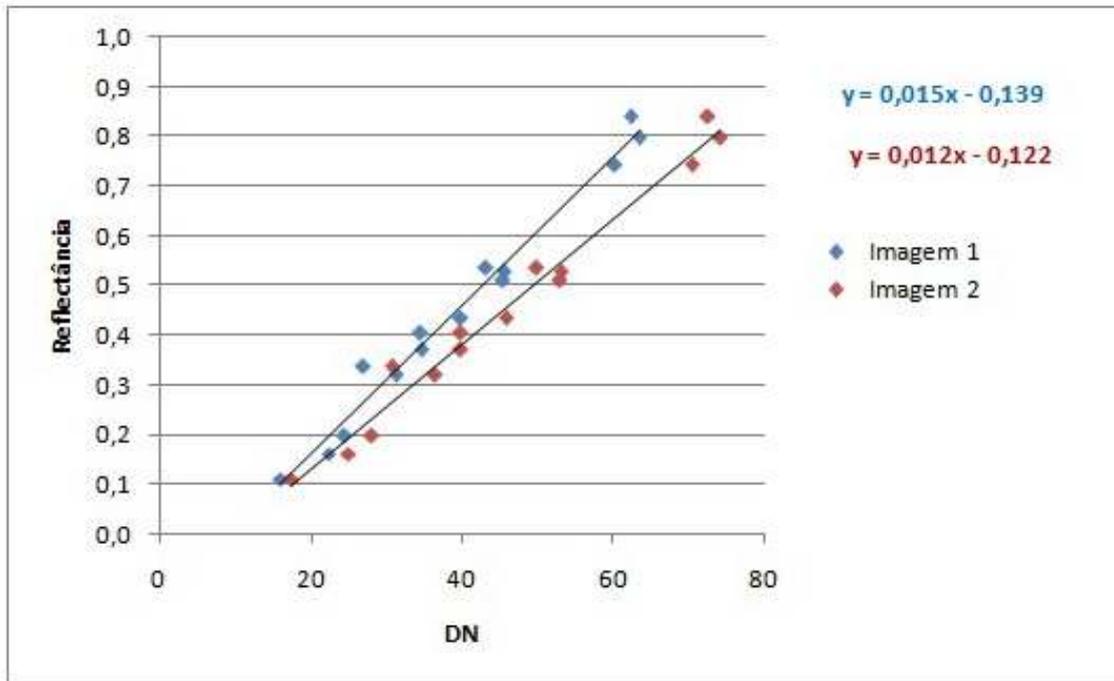


Figura A6.26: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_2 .

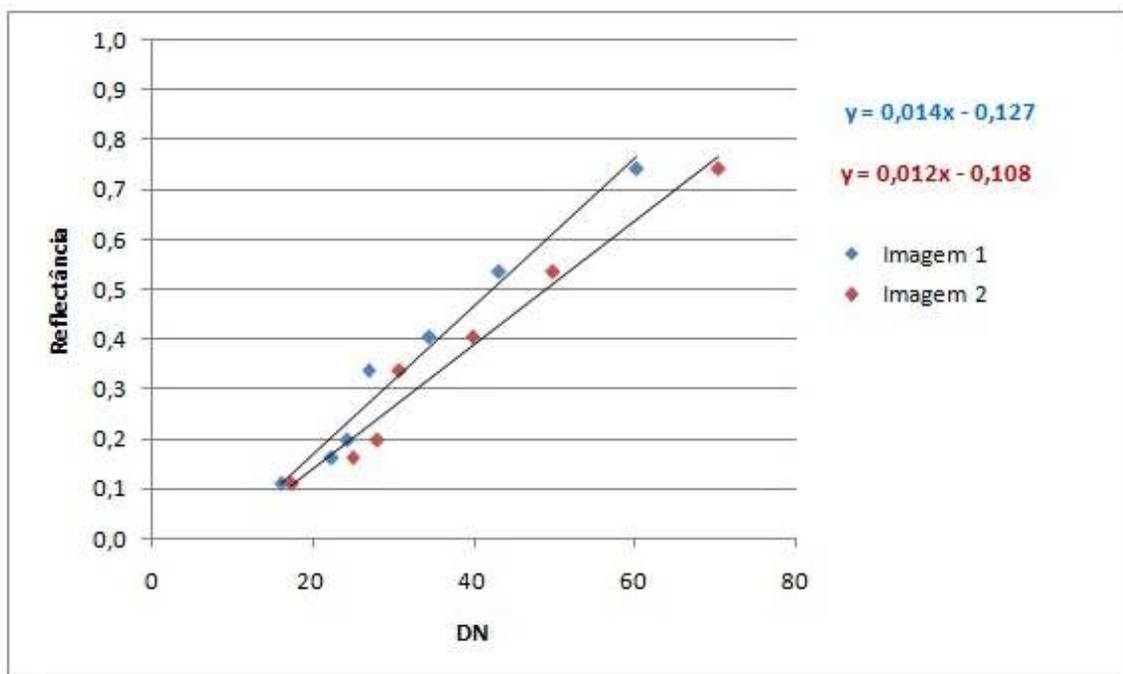


Figura A6.27: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_3 .

A6.3.2 Vermelho

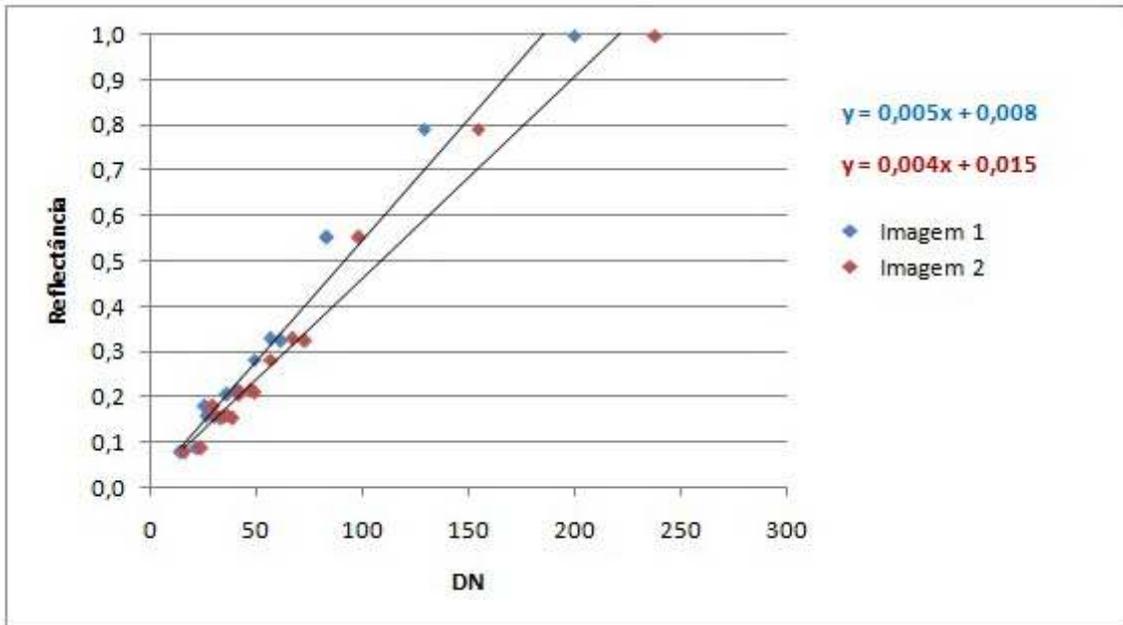


Figura A6.28: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_1 .

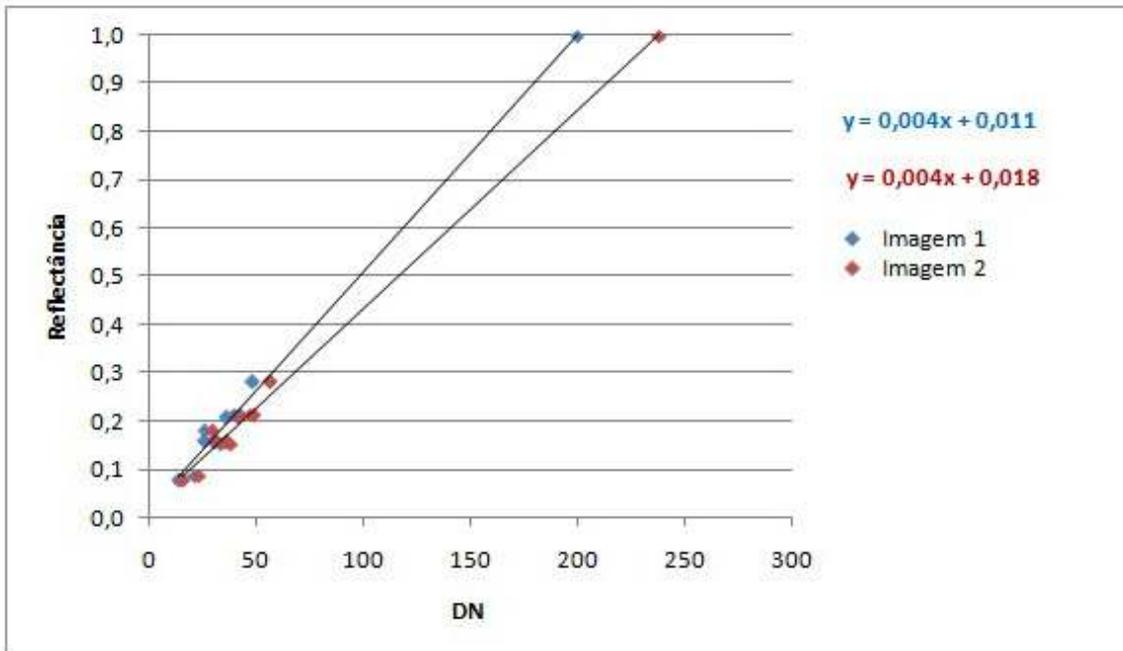


Figura A6.29: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_2 .

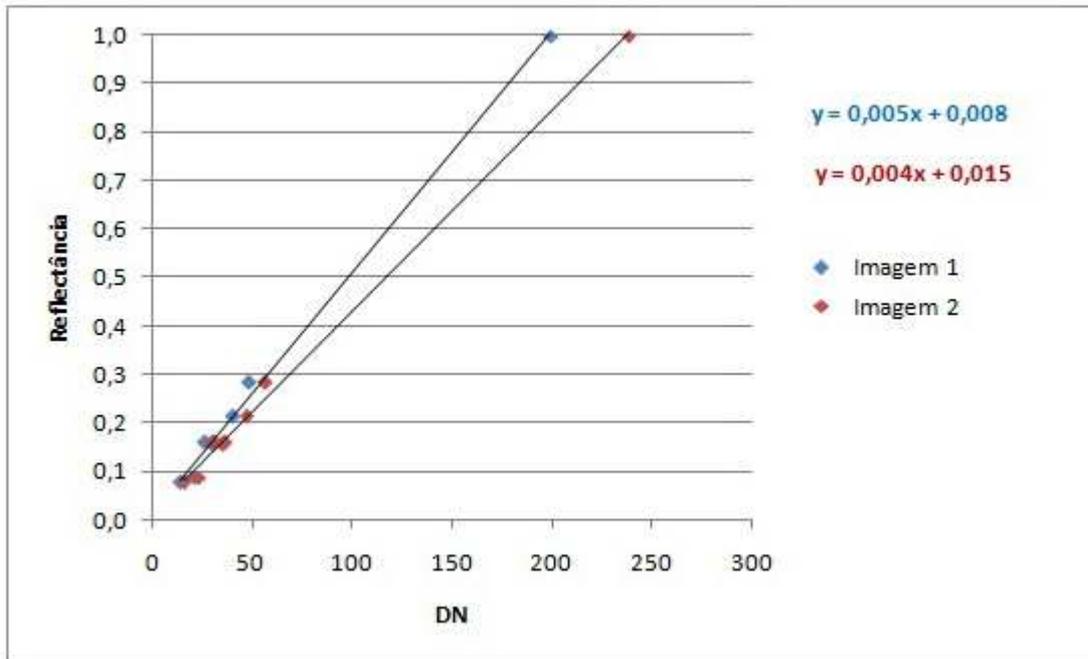


Figura A6.30: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_3 .

A6.3.3 Verde

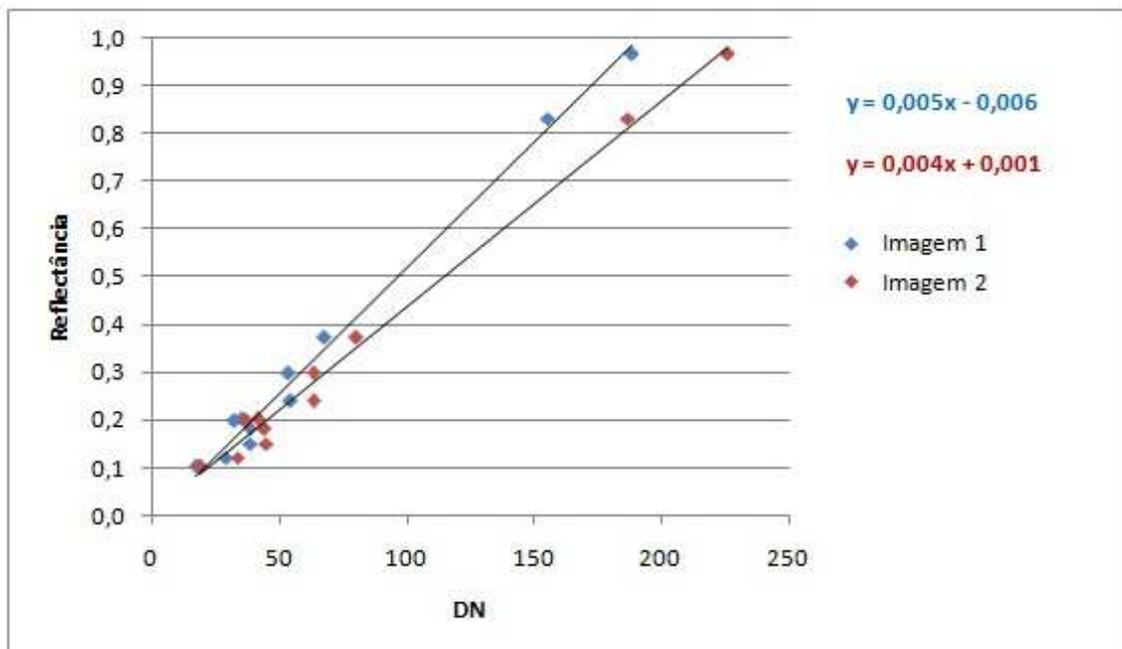


Figura A6.31: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_1 .

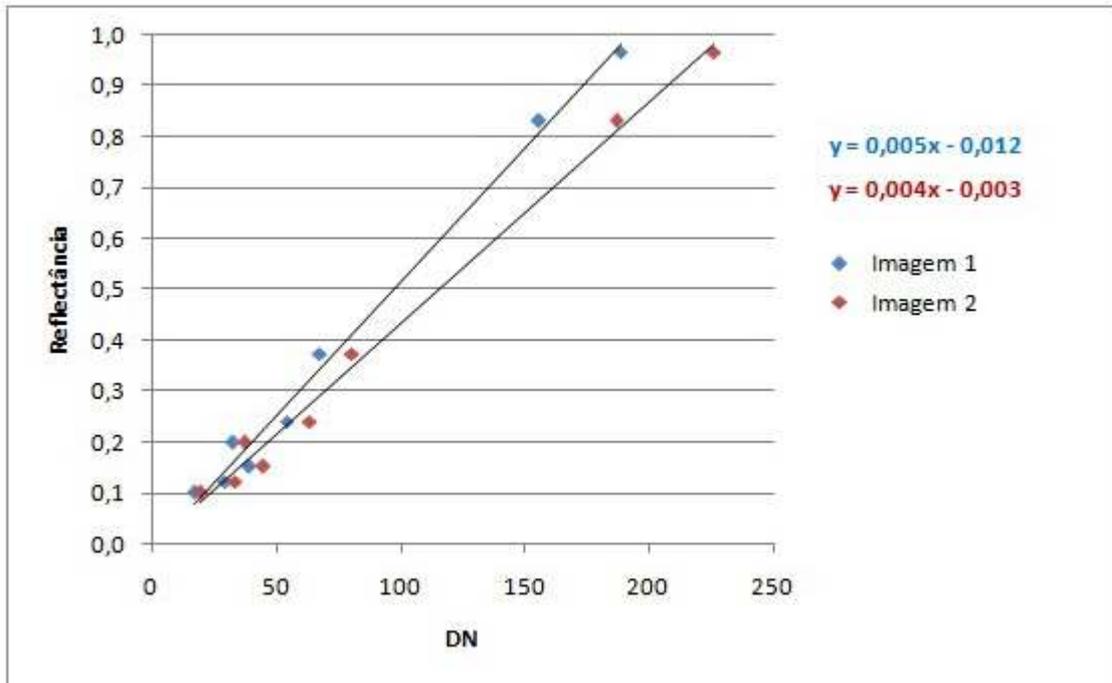


Figura A6.32: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_2 .

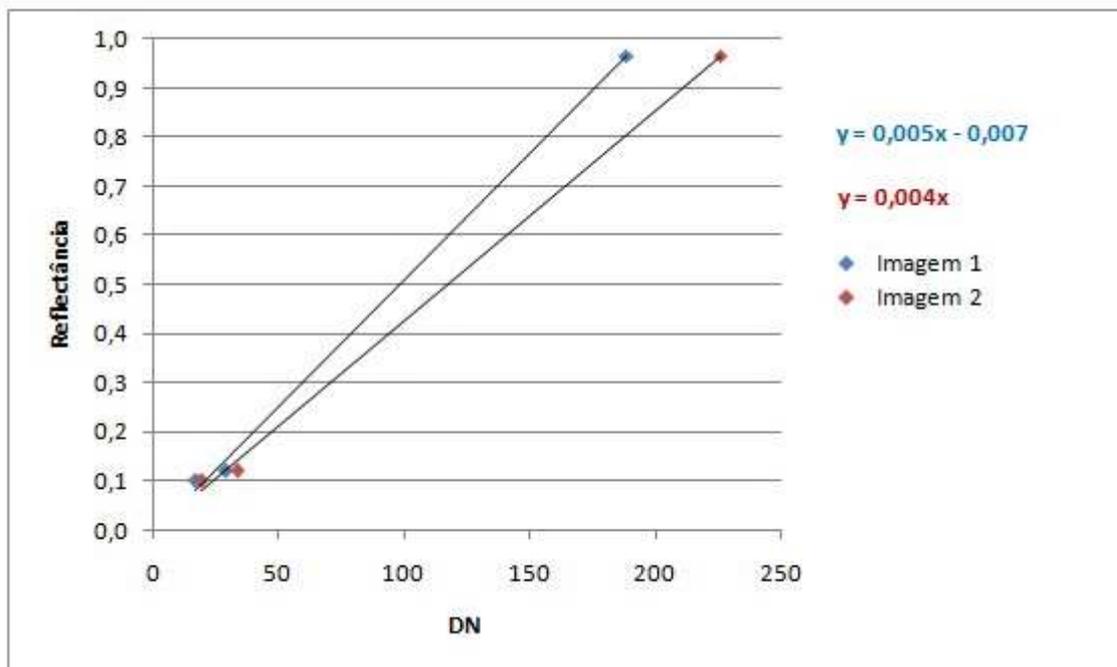


Figura A6.33: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_3 .

A6.3.4 Azul

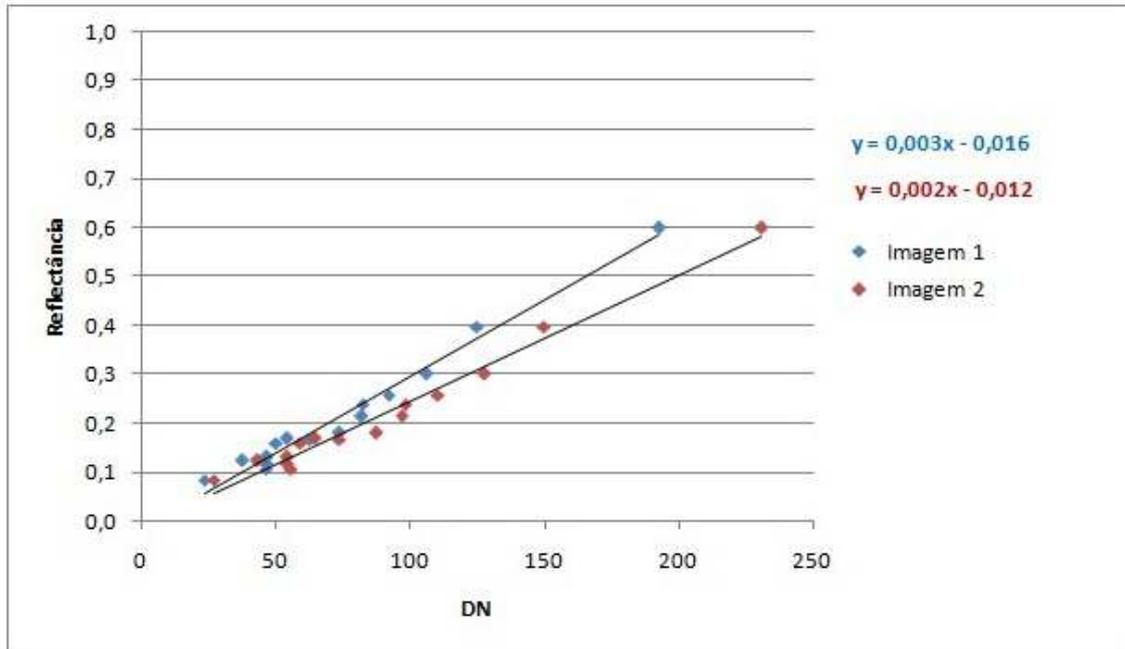


Figura A6.34: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_1 .

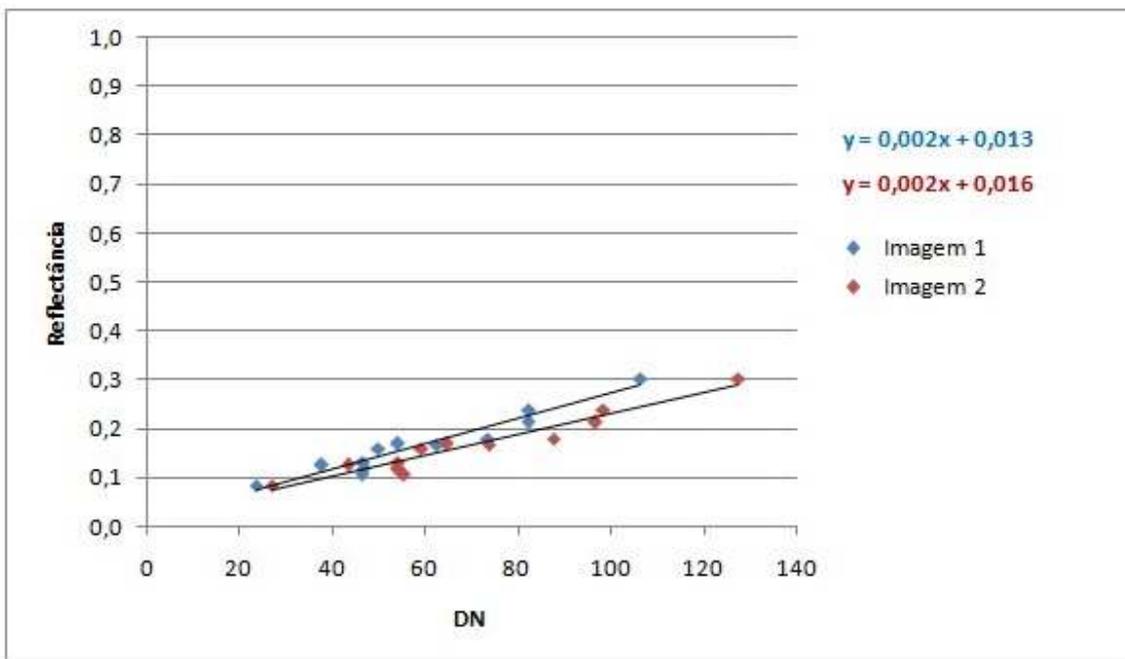


Figura A6.35: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_2 .

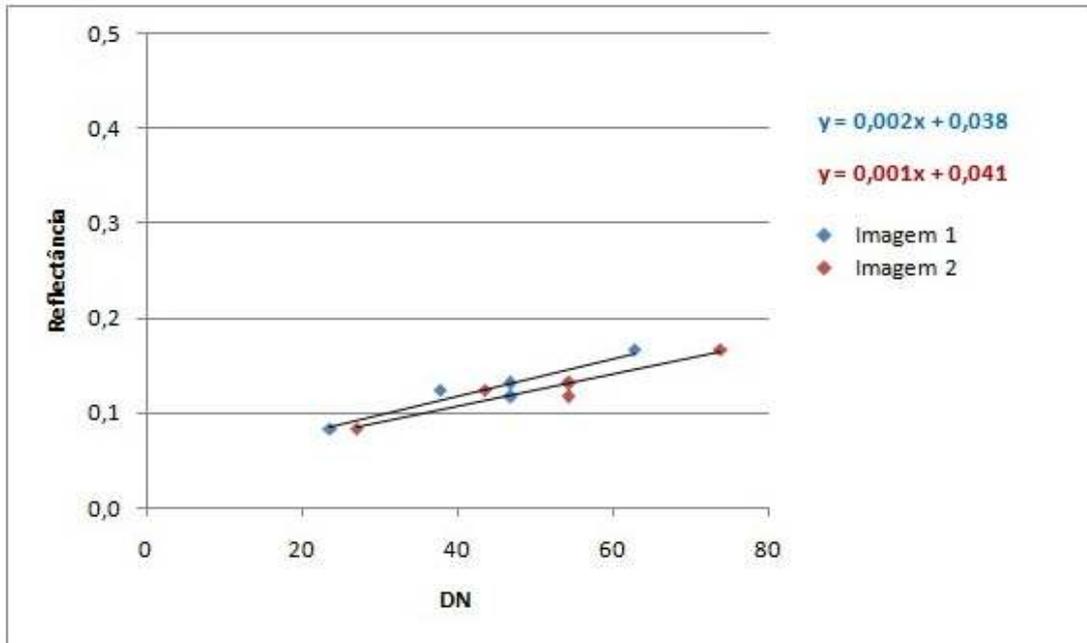


Figura A6.36: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo do granito, utilizando o critério Δ_3 .

A6.4 Pedra

A6.4.1 Infravermelho Próximo

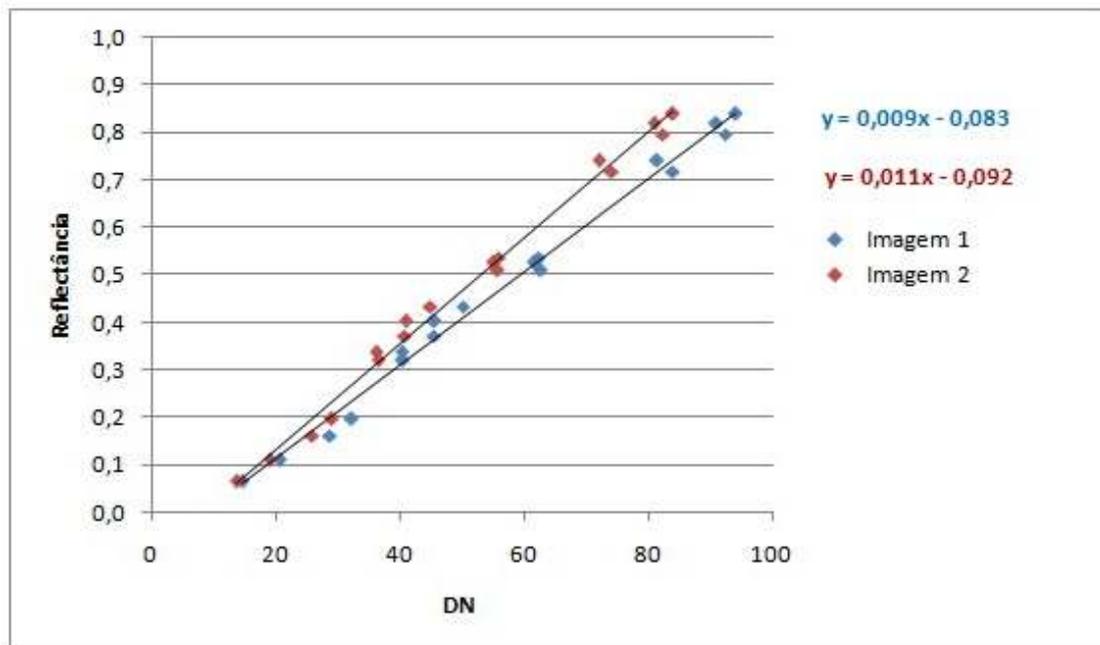


Figura A6.37: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_1 .

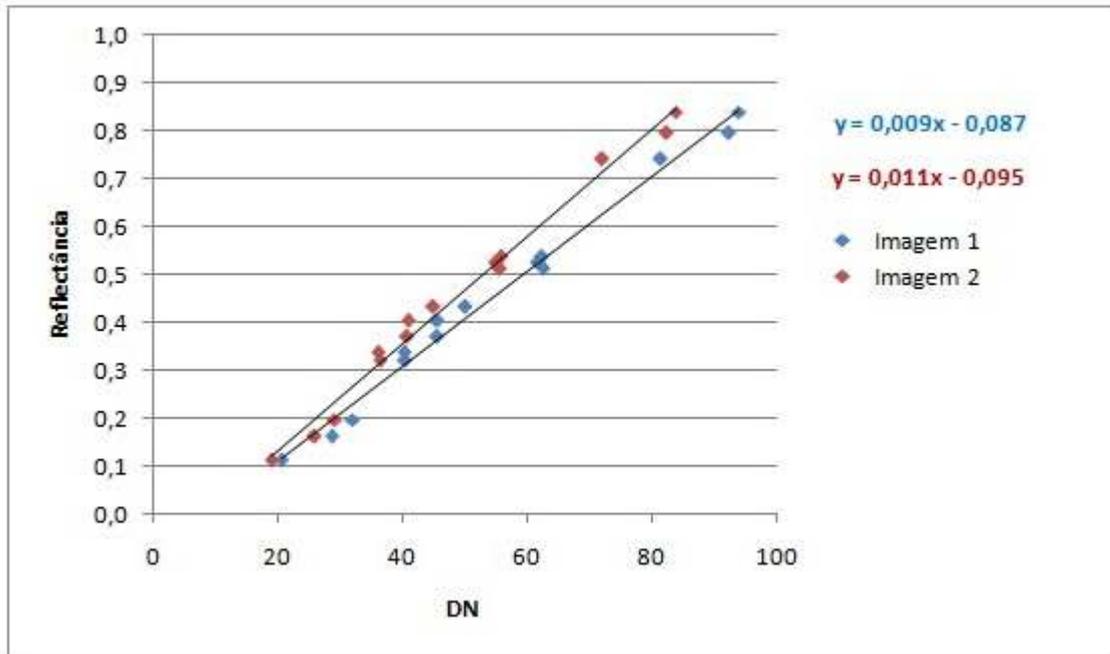


Figura A6.38: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_2 .

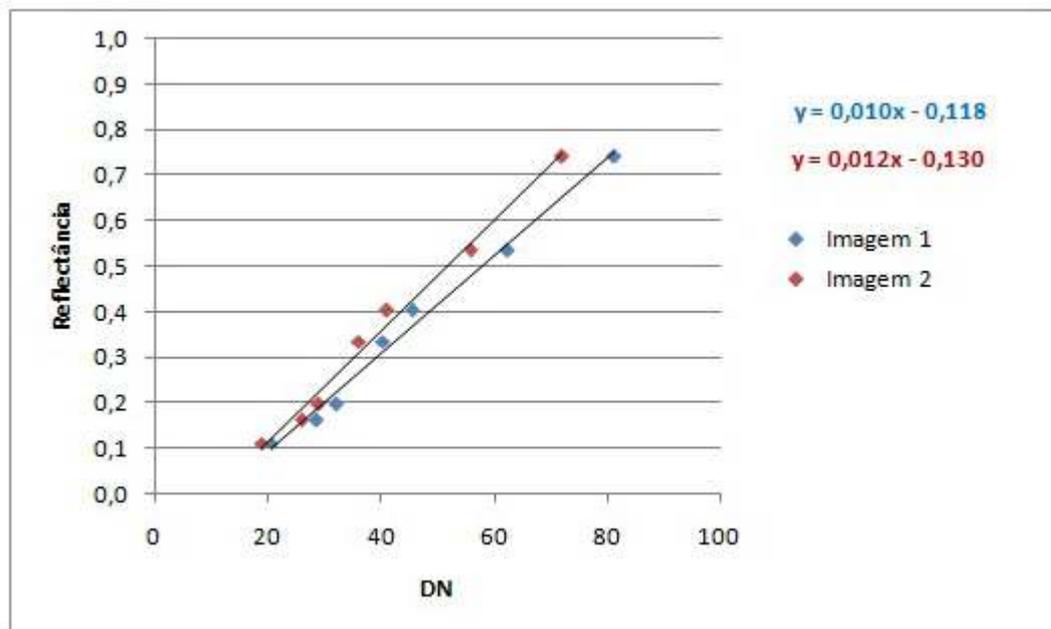


Figura A6.39: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_3 .

A6.4.2 Vermelho

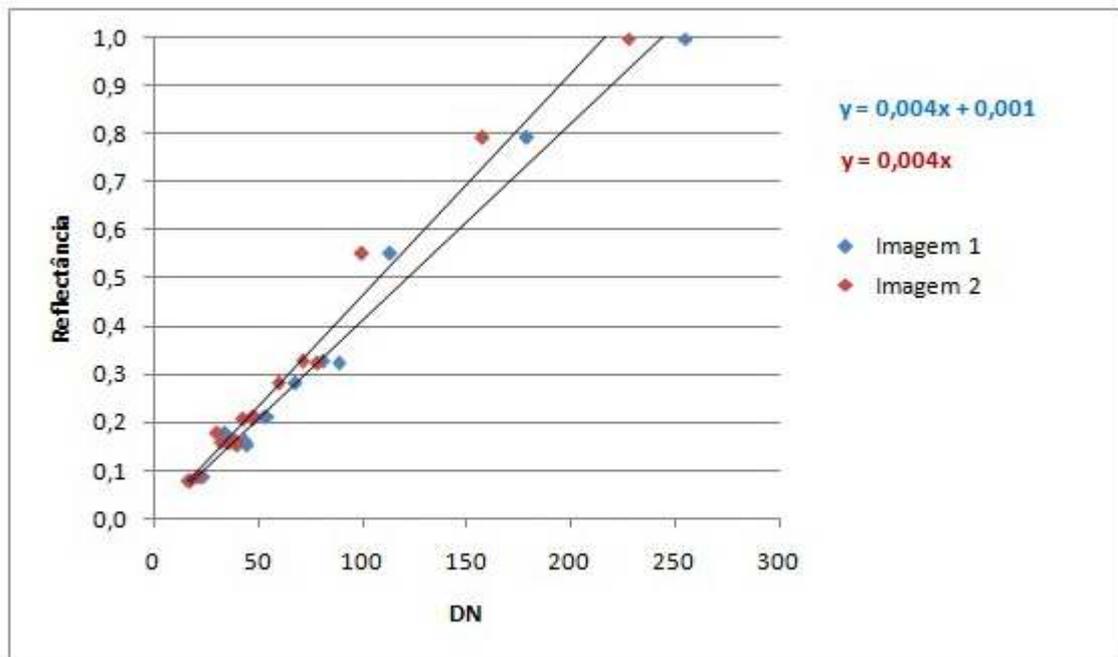


Figura A6.40: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_1 .

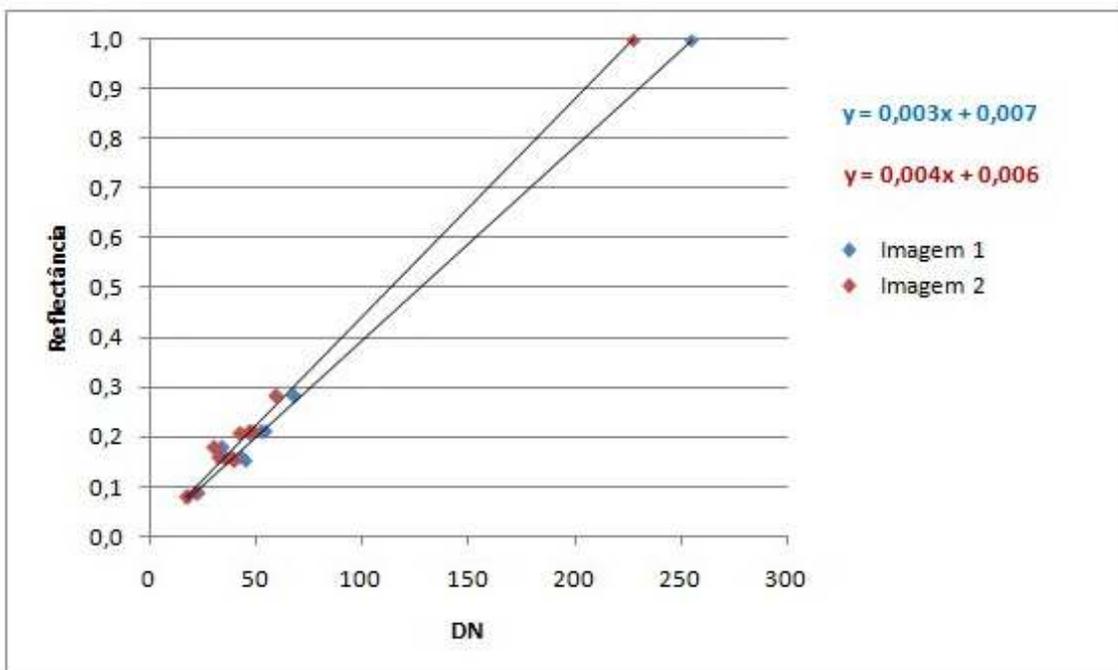


Figura A6.41: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_2 .

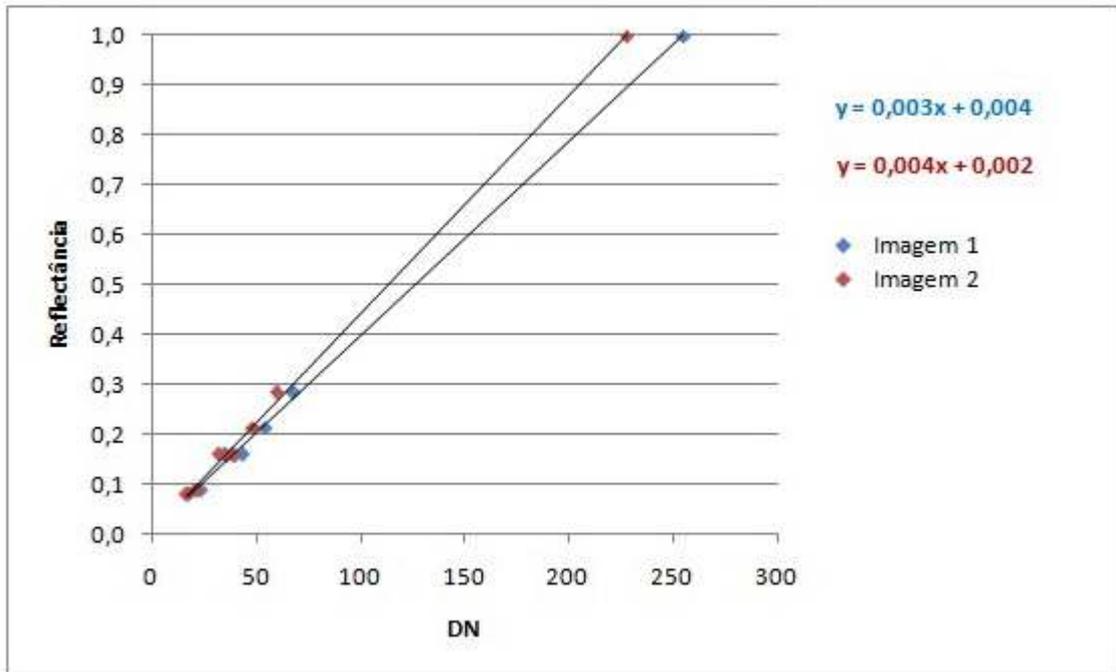


Figura A6.42: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_3 .

A6.4.3 Verde

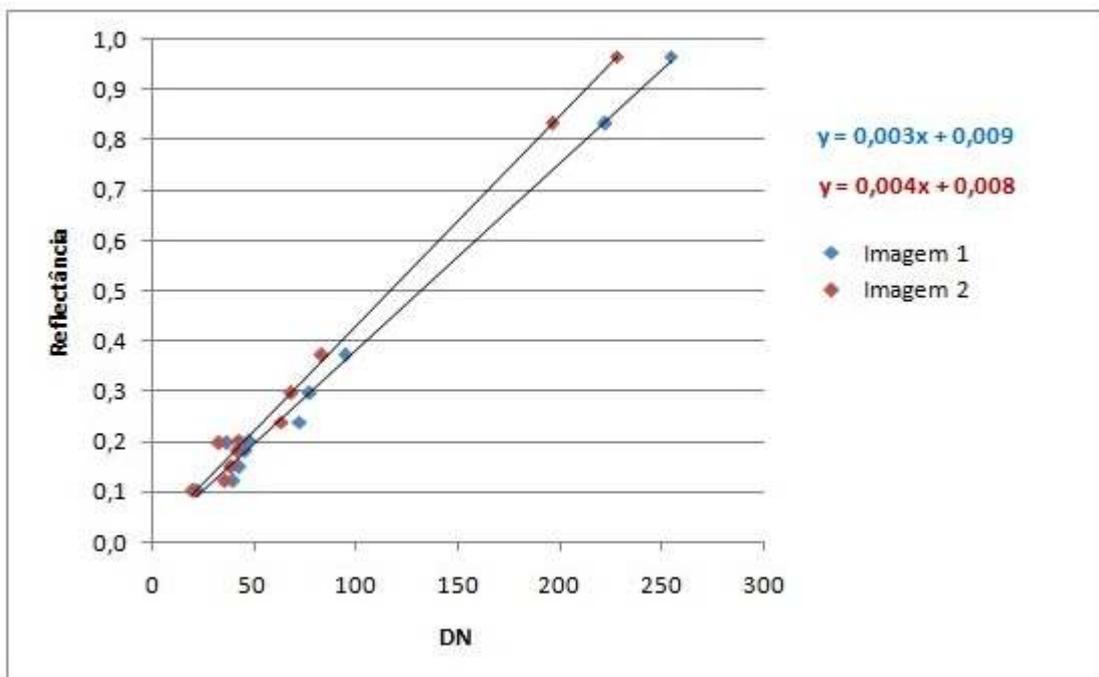


Figura A6.43: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_1 .

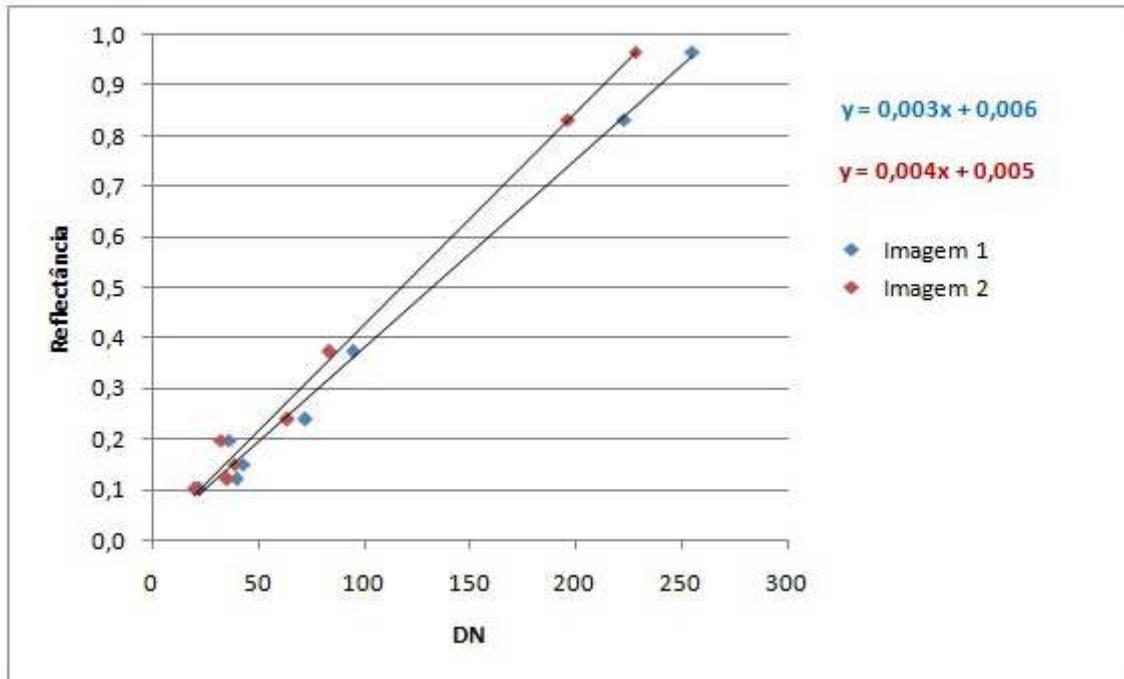


Figura A6.44: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_2 .

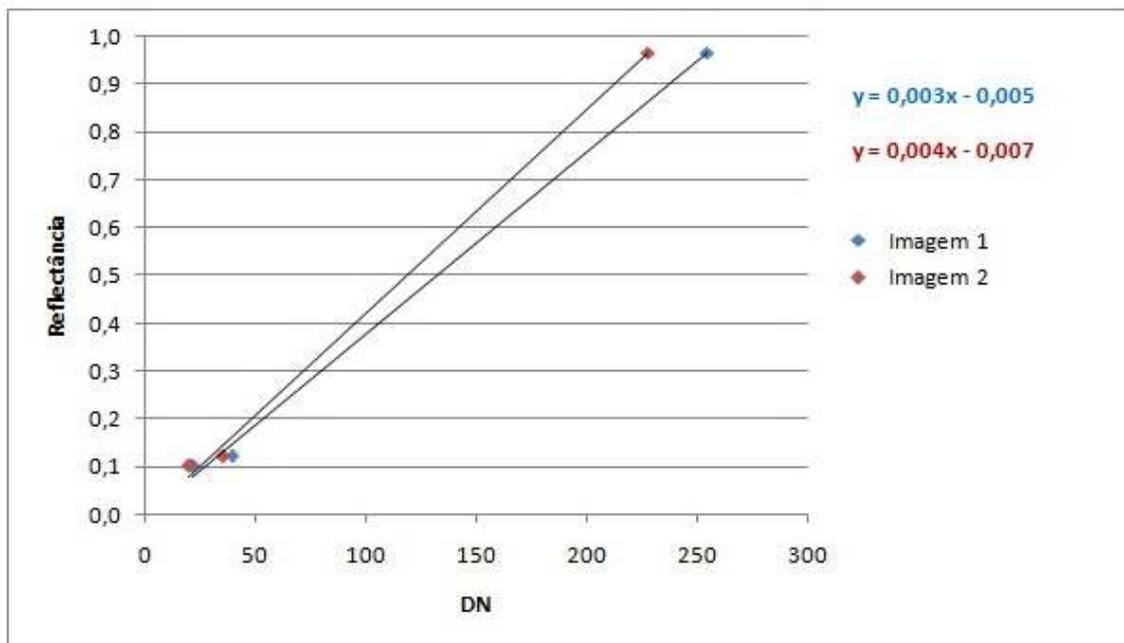


Figura A6.45: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_3 .

A6.4.4 Azul

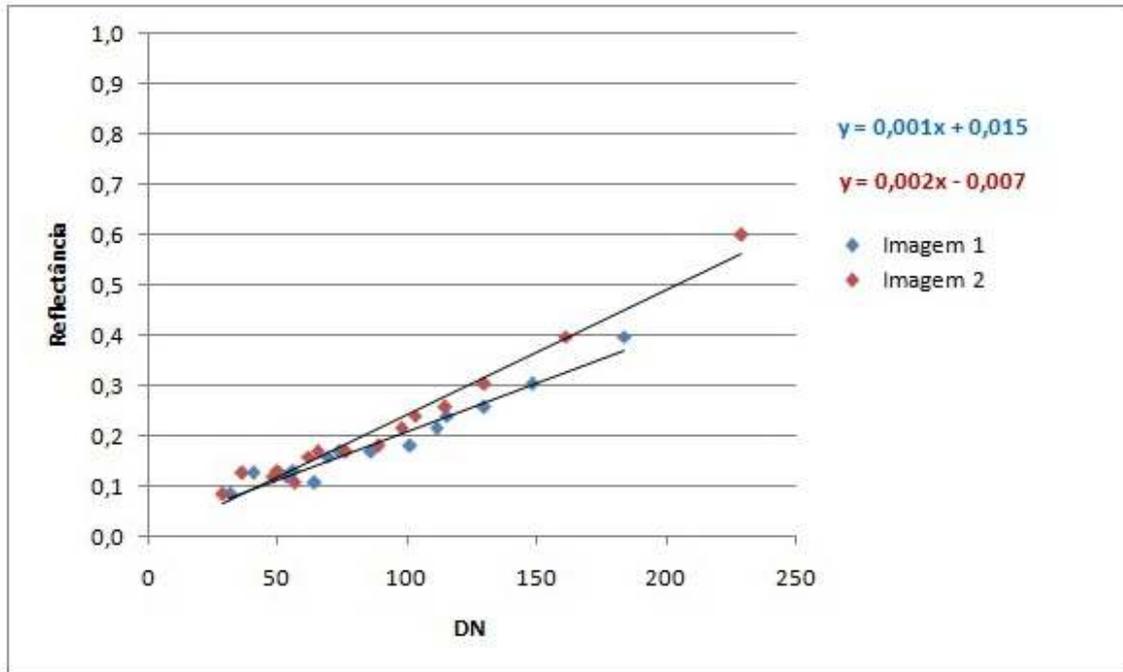


Figura A6.46: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_1 .

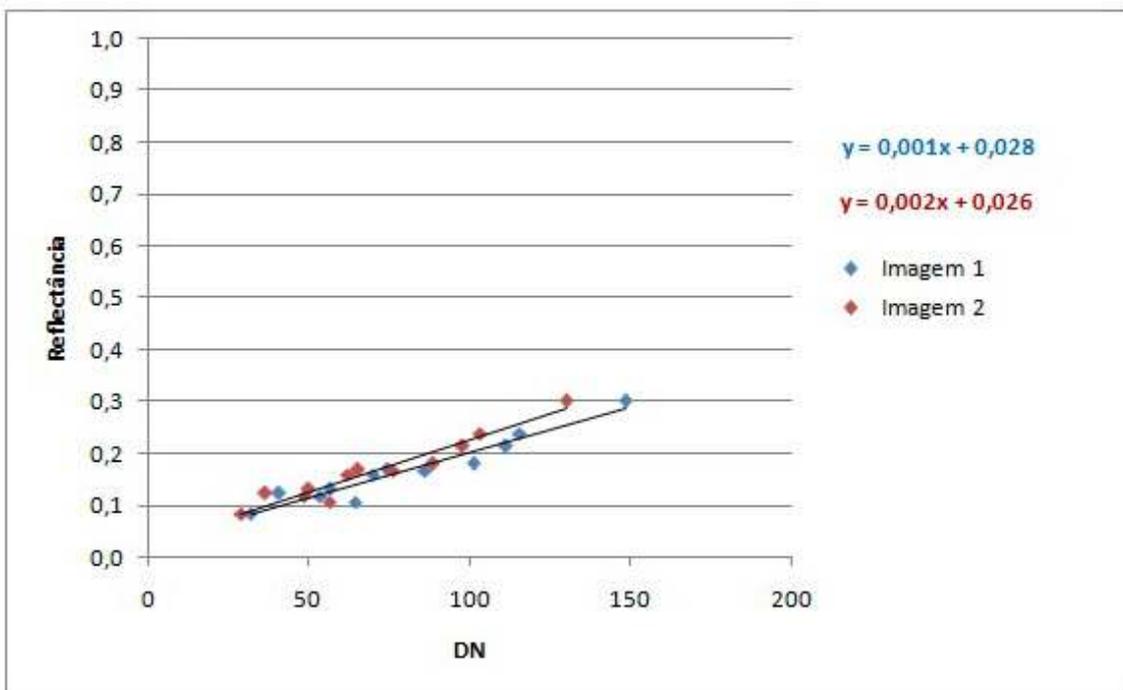


Figura A6.47: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_2 .

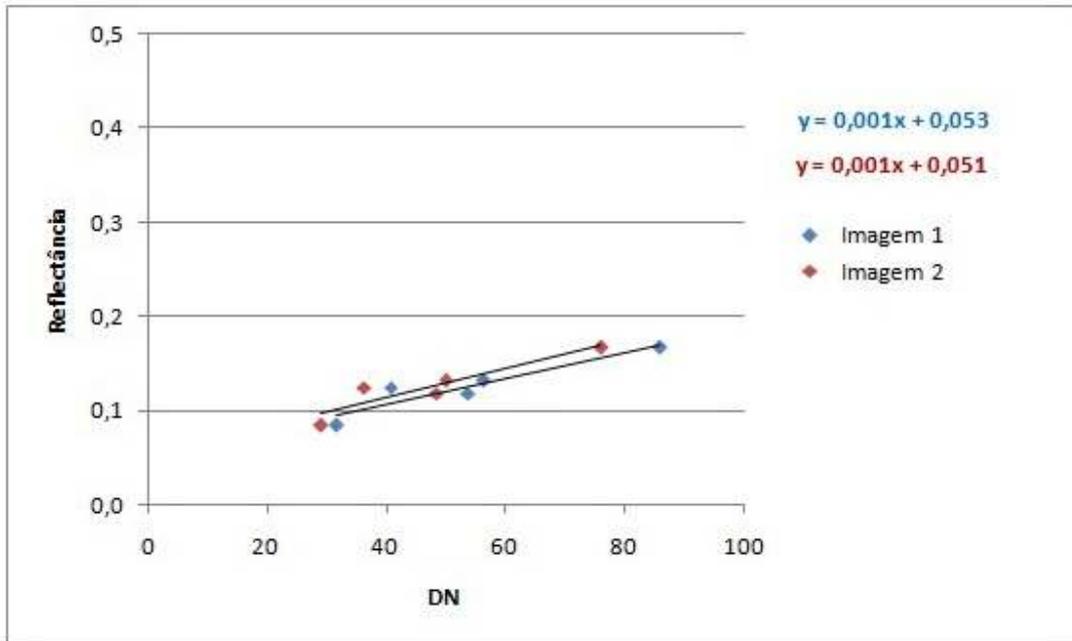


Figura A6.48: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de pedra, utilizando o critério Δ_3 .

A6.5 Relva verde

A6.5.1 Infravermelho Próximo

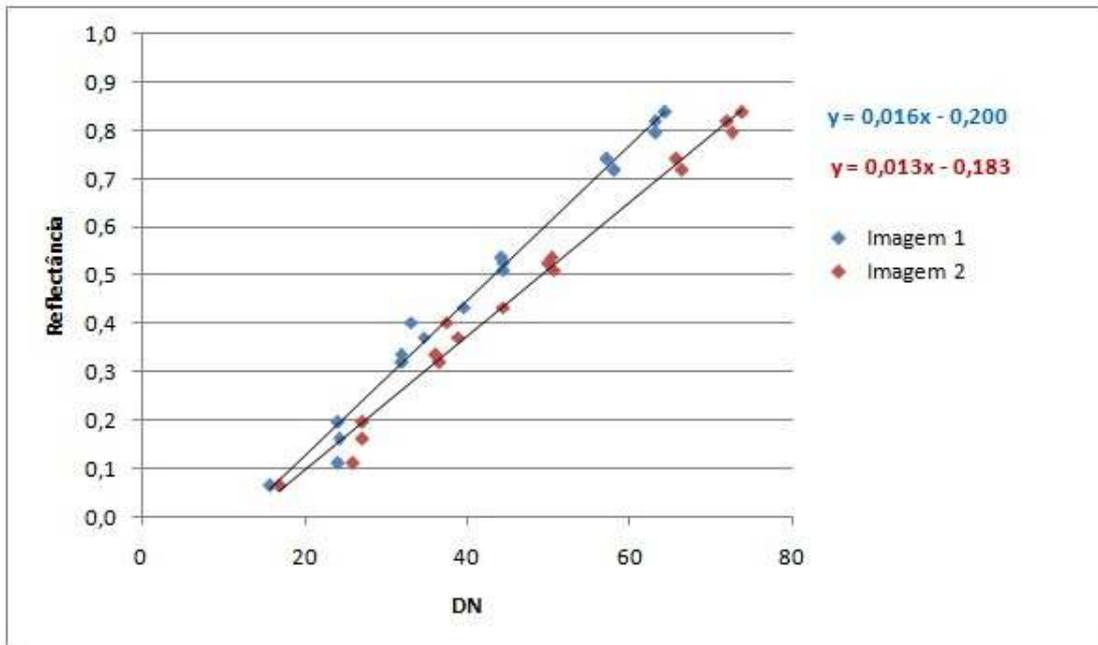


Figura A6.49: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_1 .

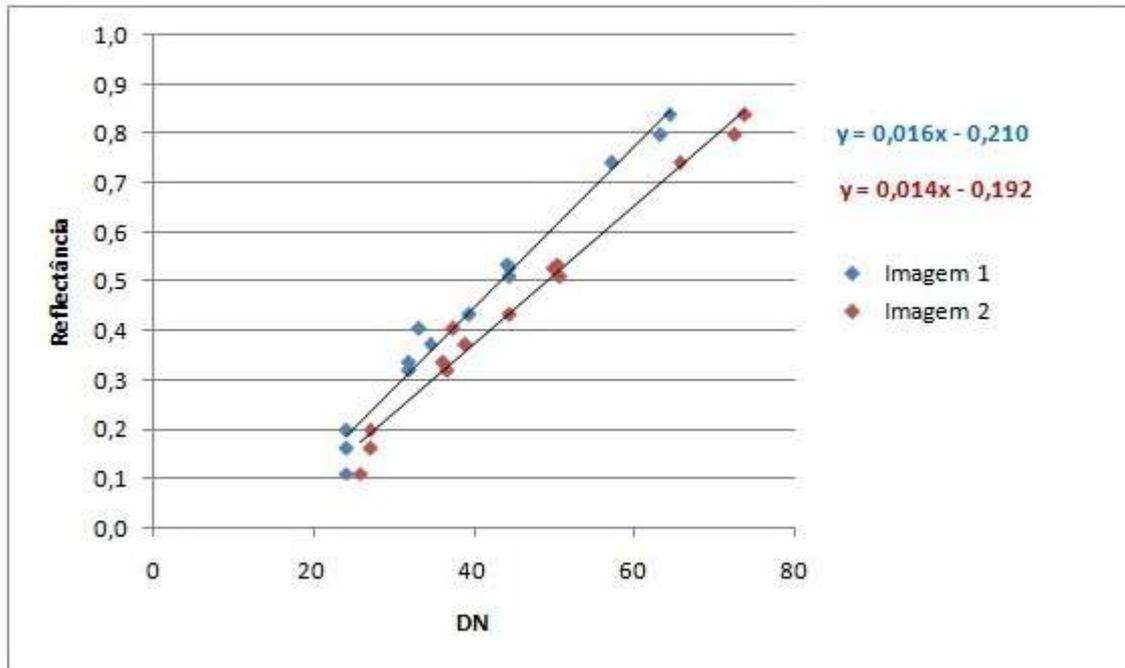


Figura A6.50: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_2 .

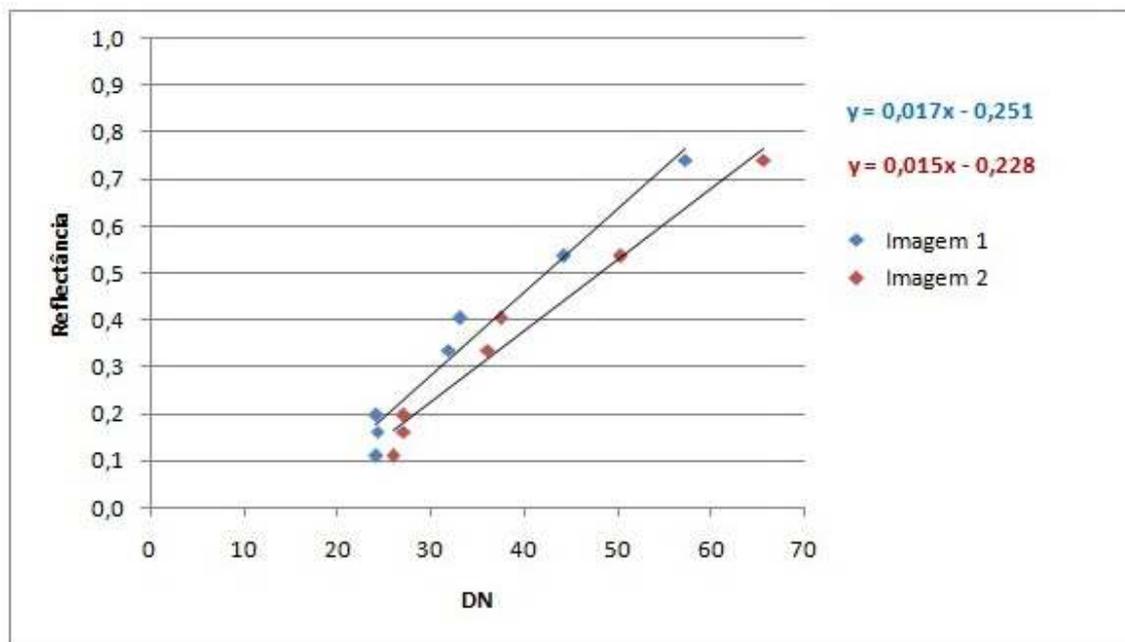


Figura A6.51: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_3 .

A6.5.2 Vermelho

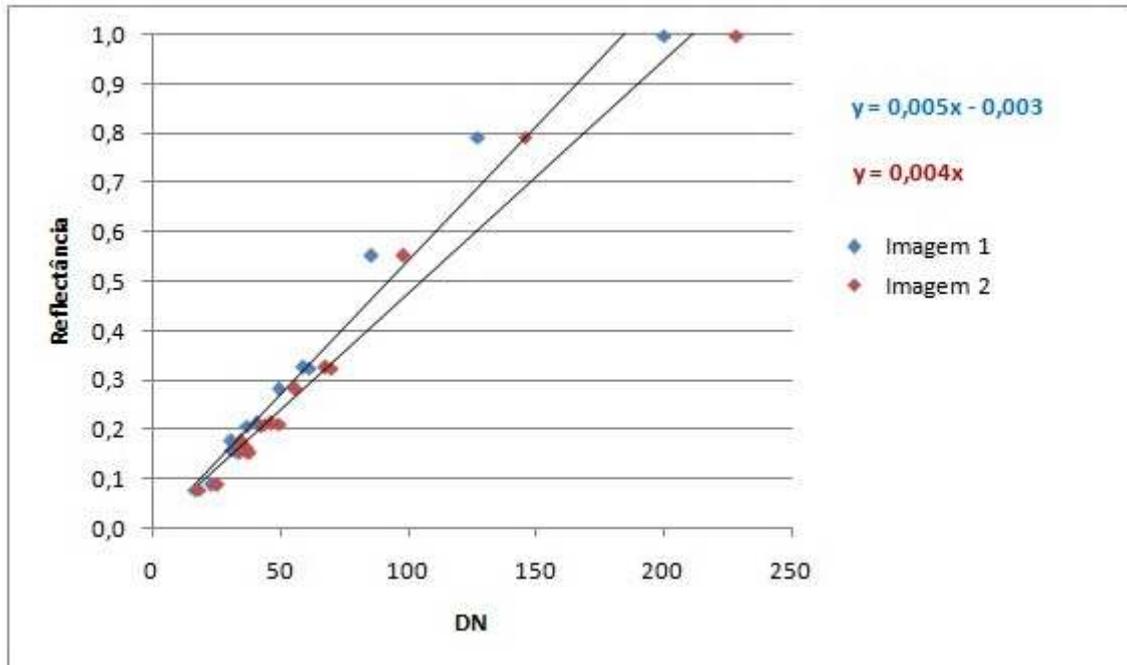


Figura A6.52: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_1 .

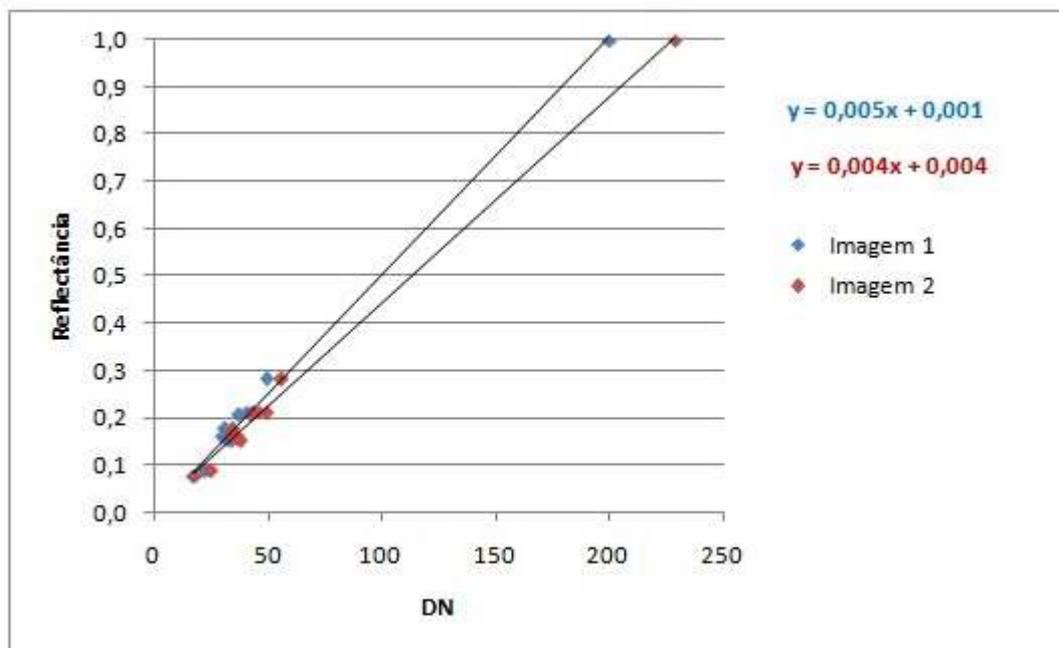


Figura A6.53: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_2 .

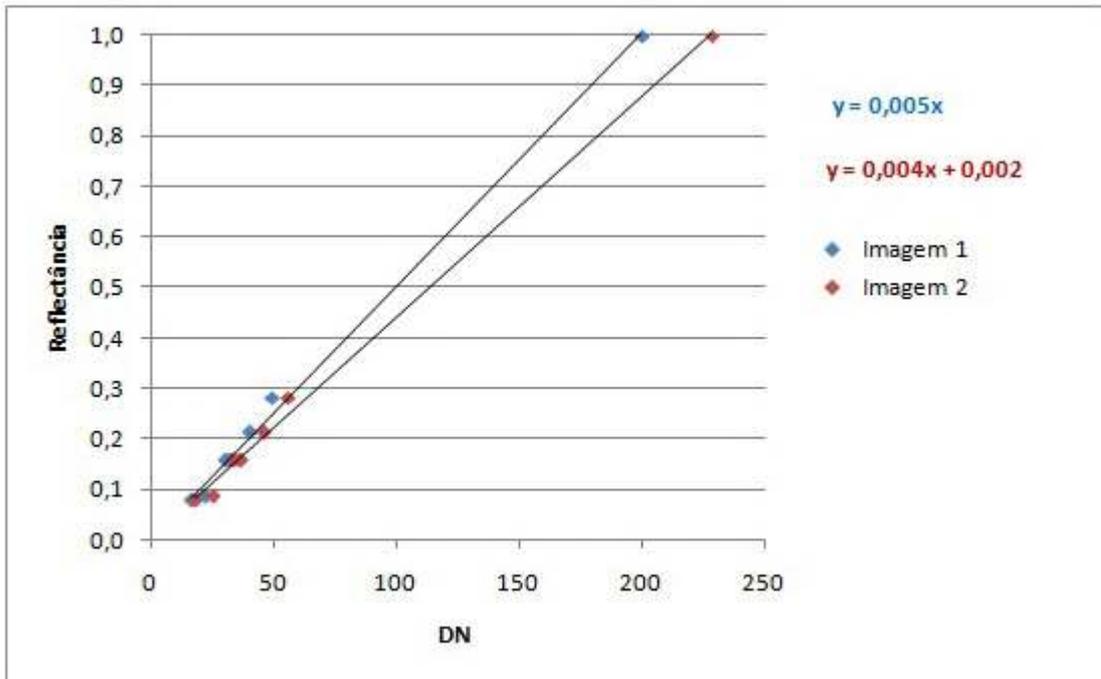


Figura A6.54: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_3 .

A6.5.3 Verde

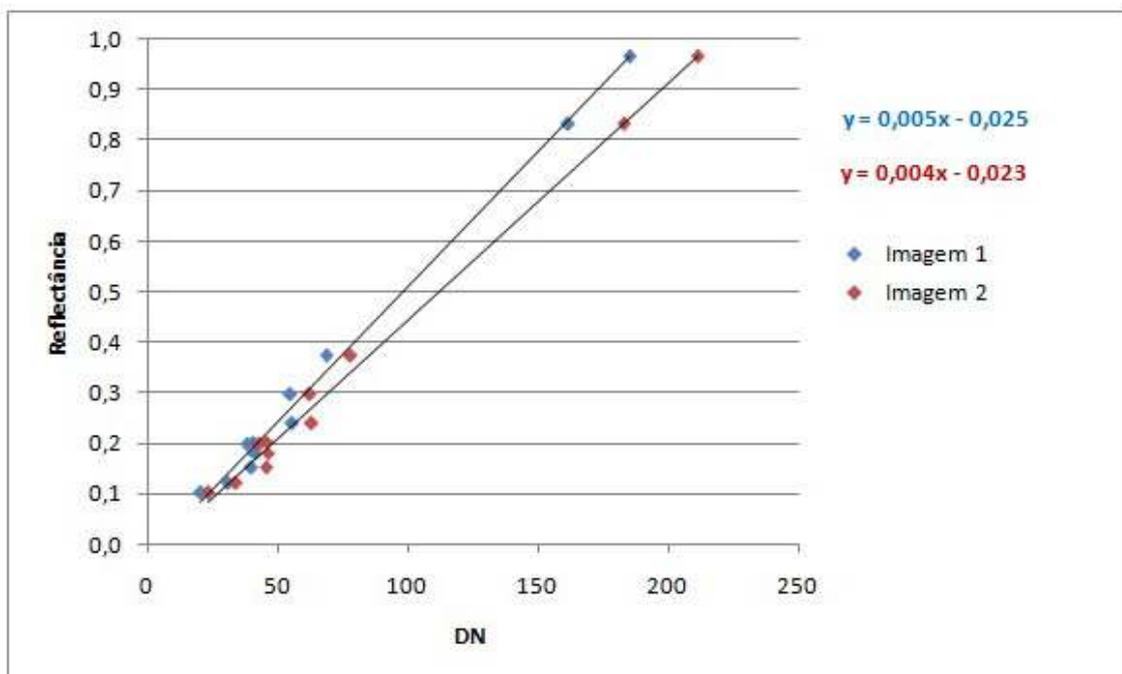


Figura A6.55: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_1 .

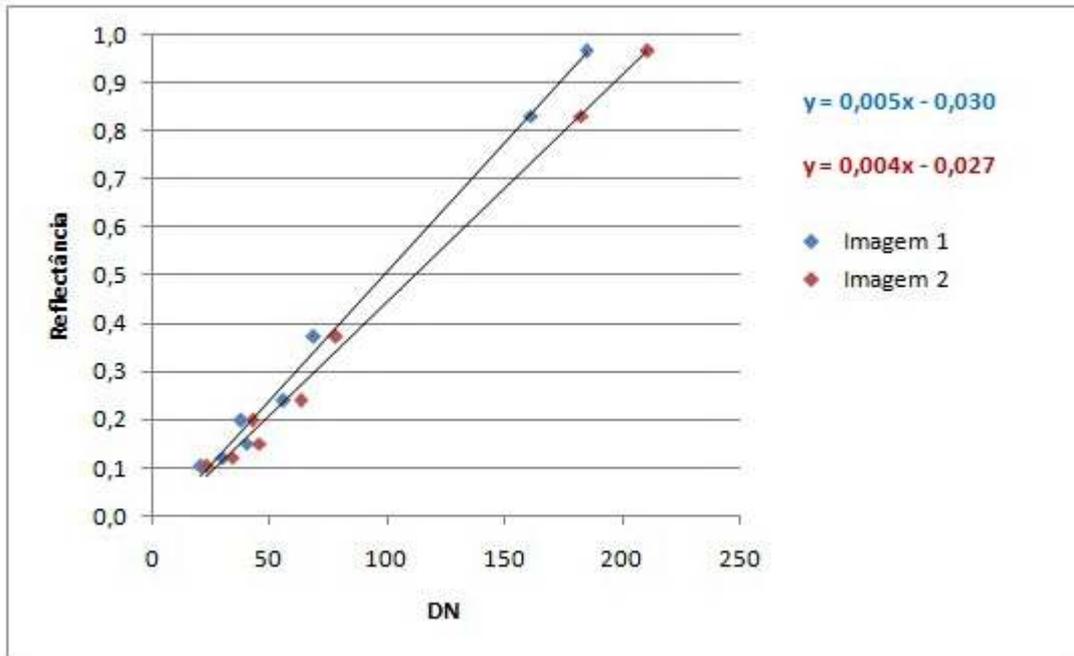


Figura A6.56: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_2 .

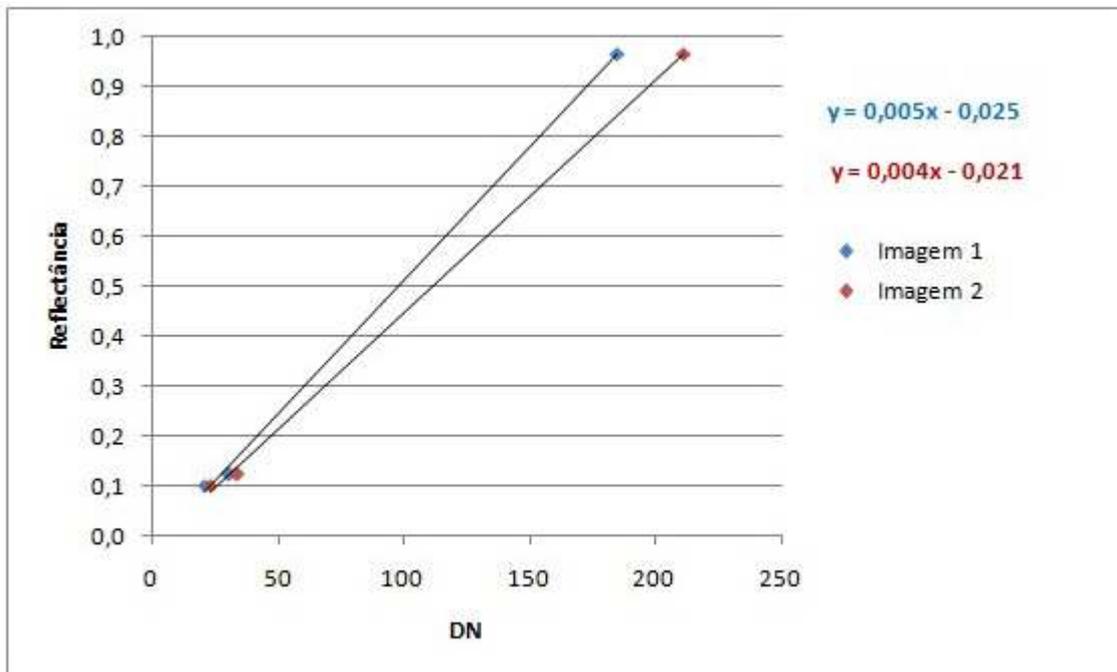


Figura A6.57: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_3 .

A6.5.4 Azul

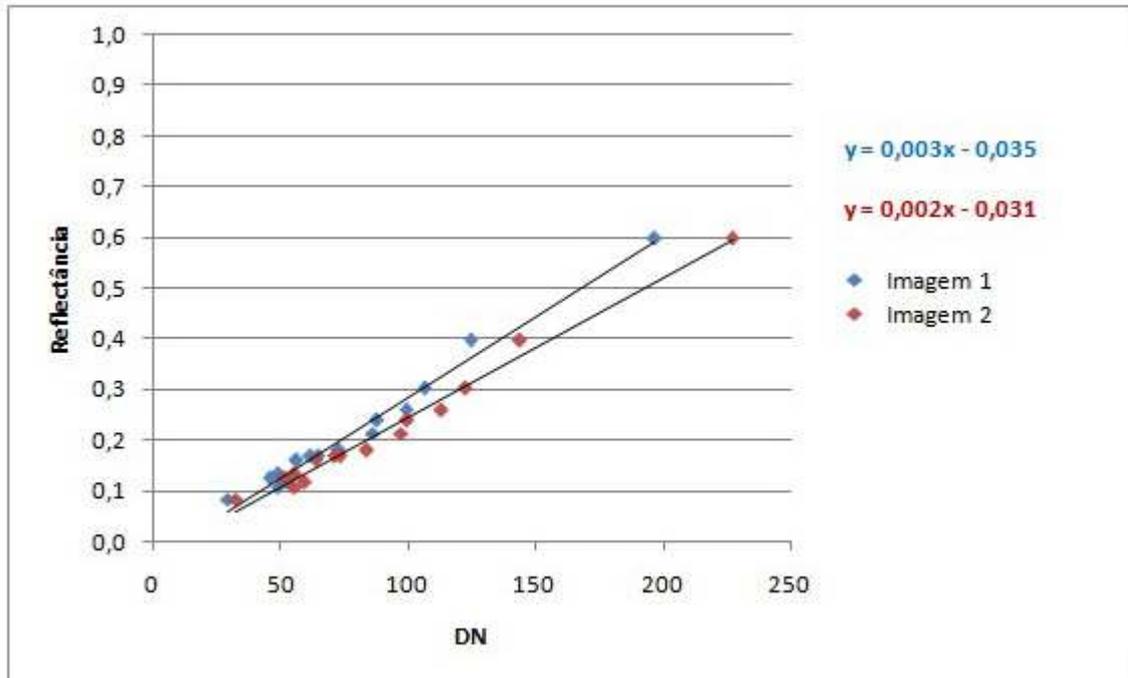


Figura A6.58: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_1 .

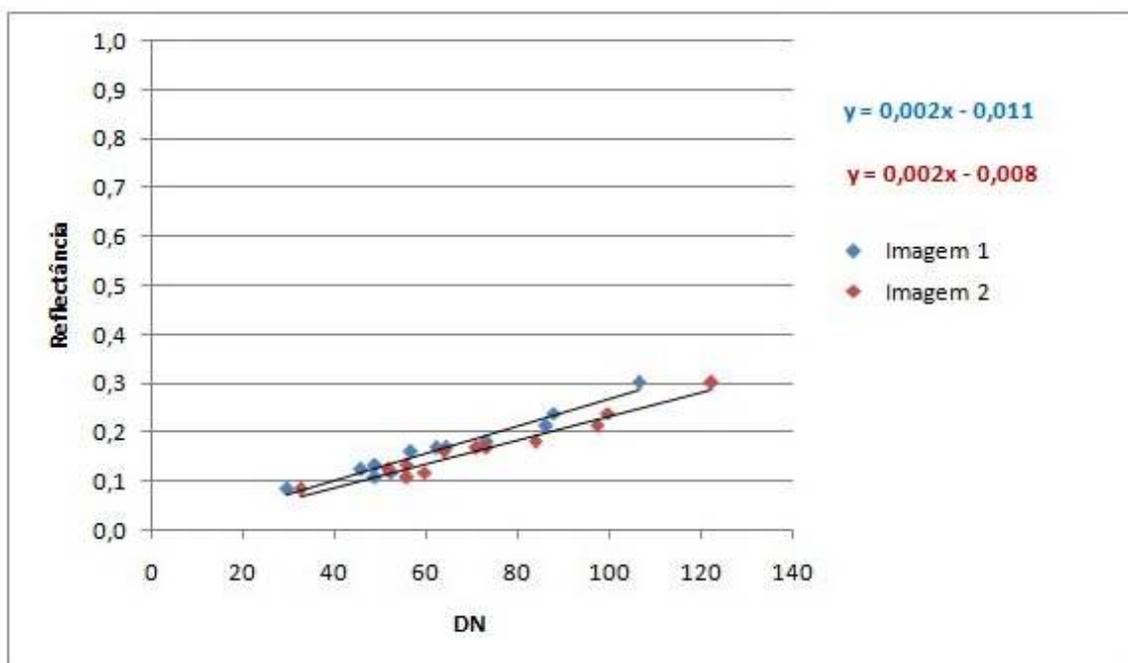


Figura A6.59: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_2 .

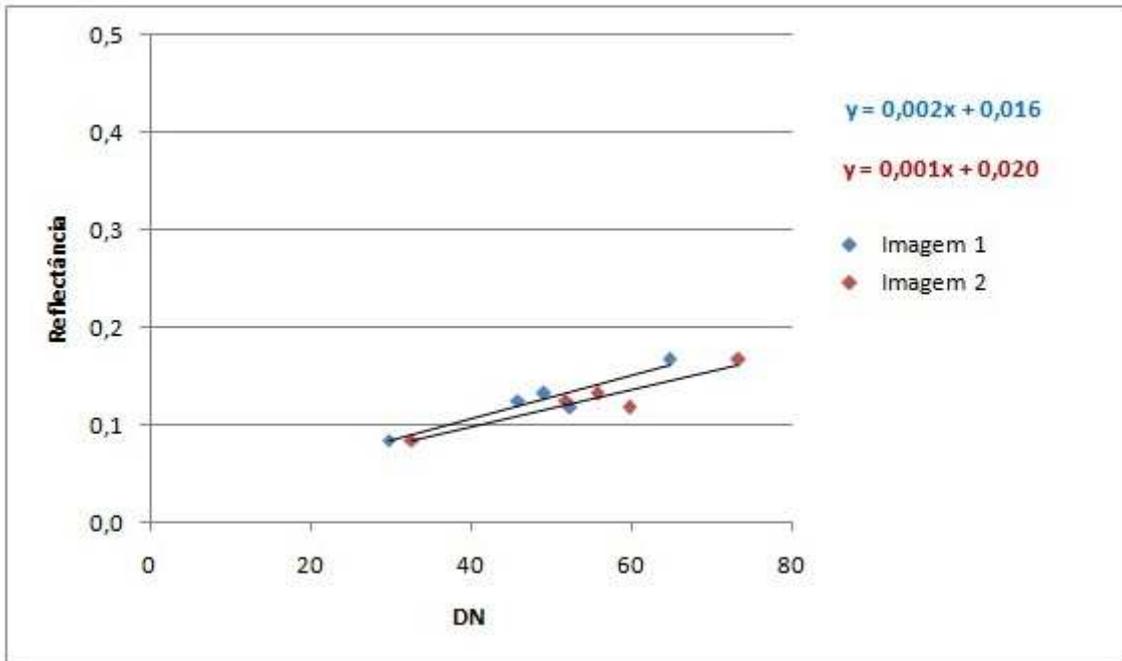


Figura A6.60: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de relva verde, utilizando o critério Δ_3 .

A6.6 Relva senescente

A6.6.1 Infravermelho Próximo

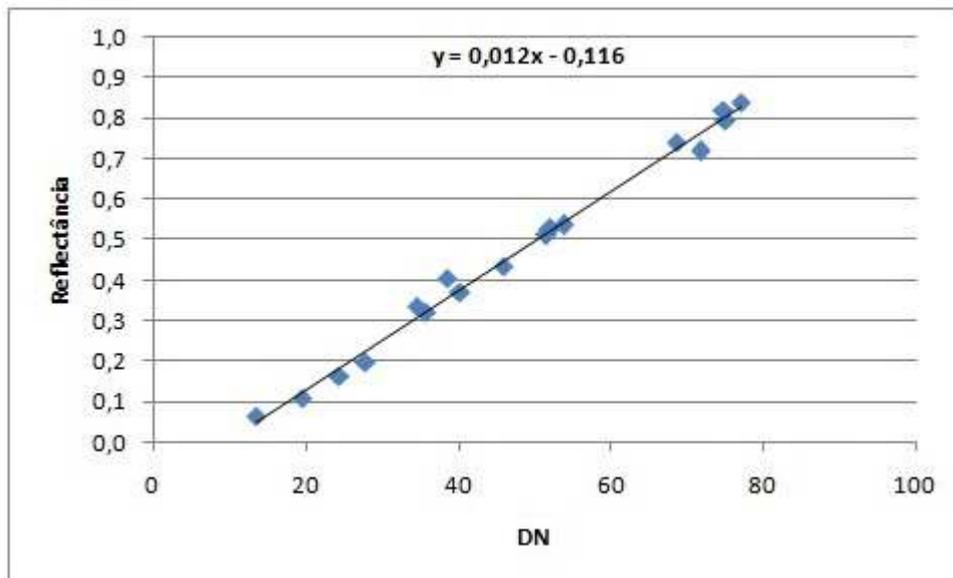


Figura A6.61: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_1 .

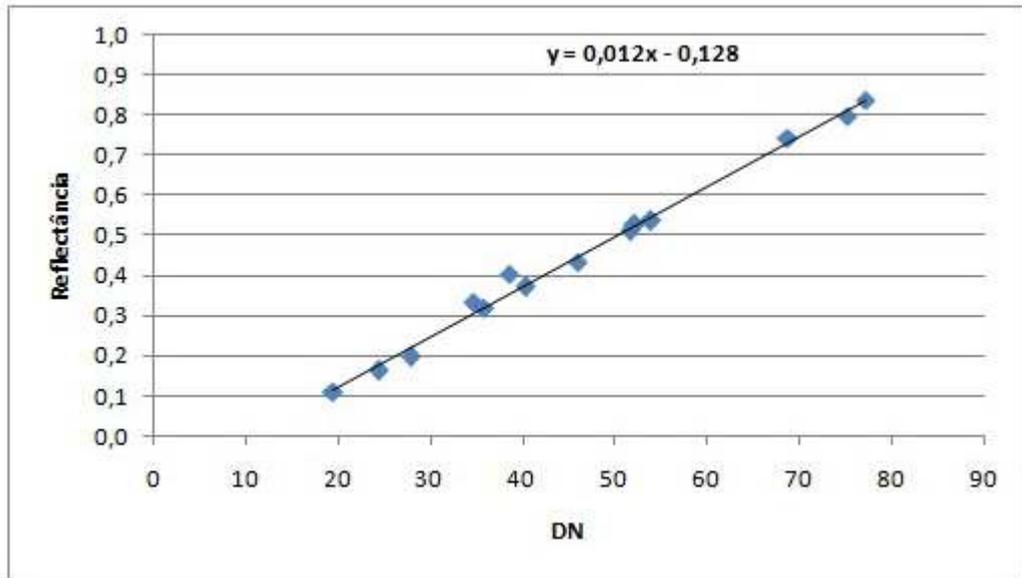


Figura A6.62: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_2 .

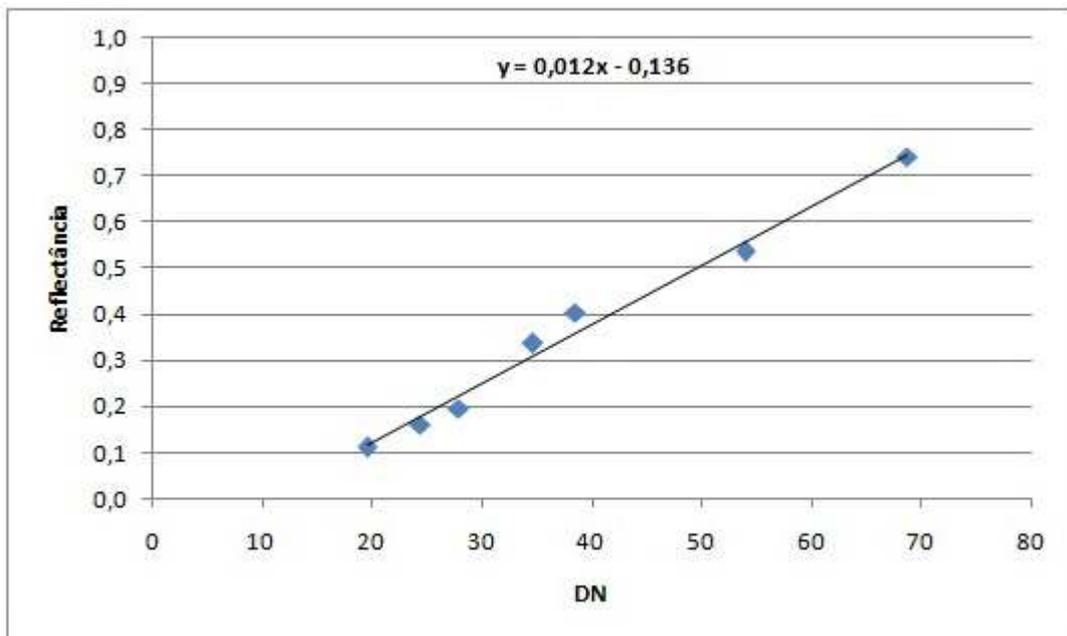


Figura A6.63: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_3 .

A6.6.2 Vermelho

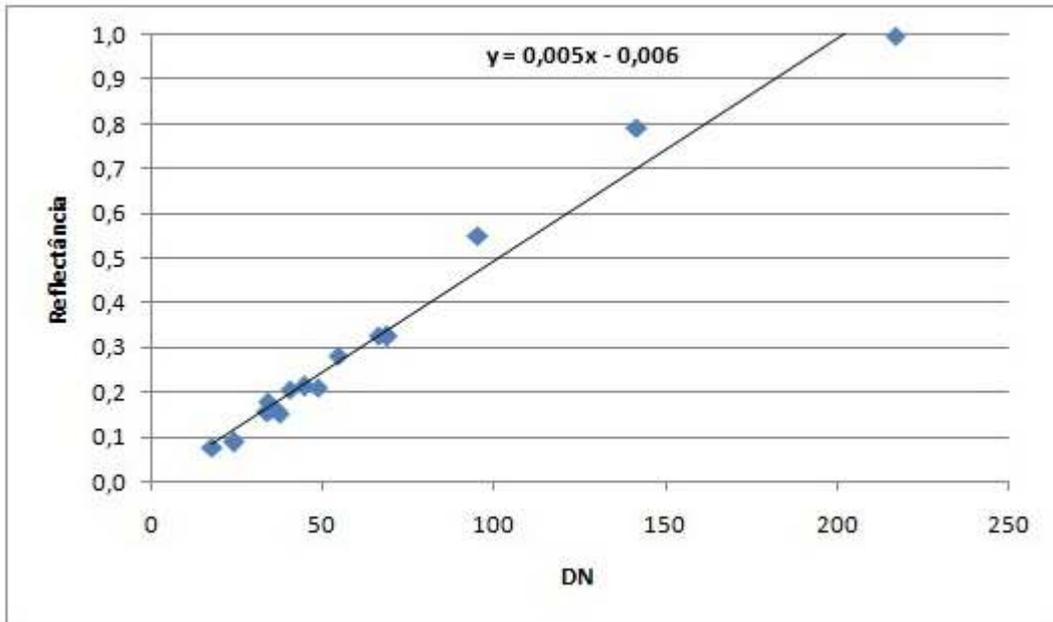


Figura A6.64: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_1 .

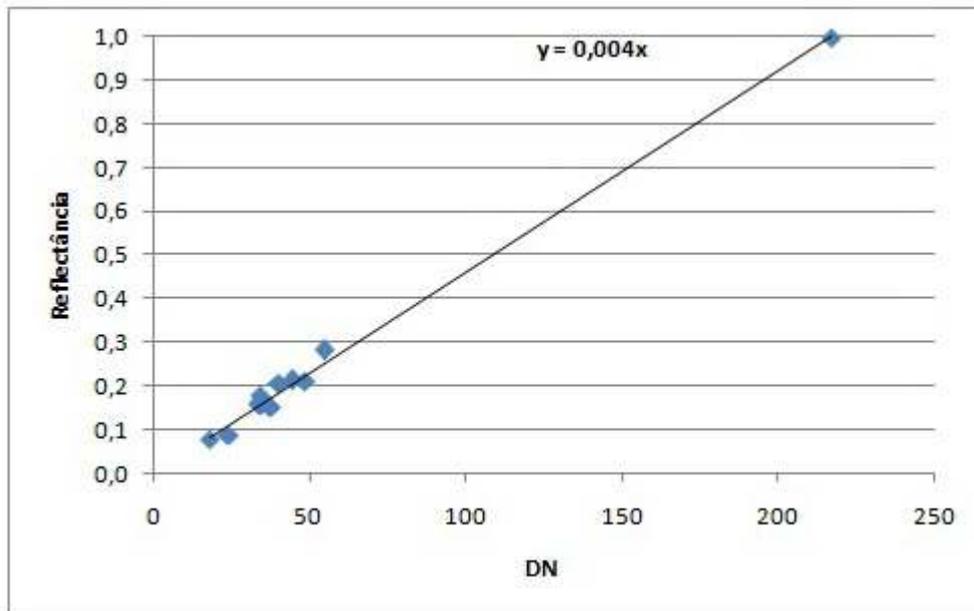


Figura A6.65: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_2 .

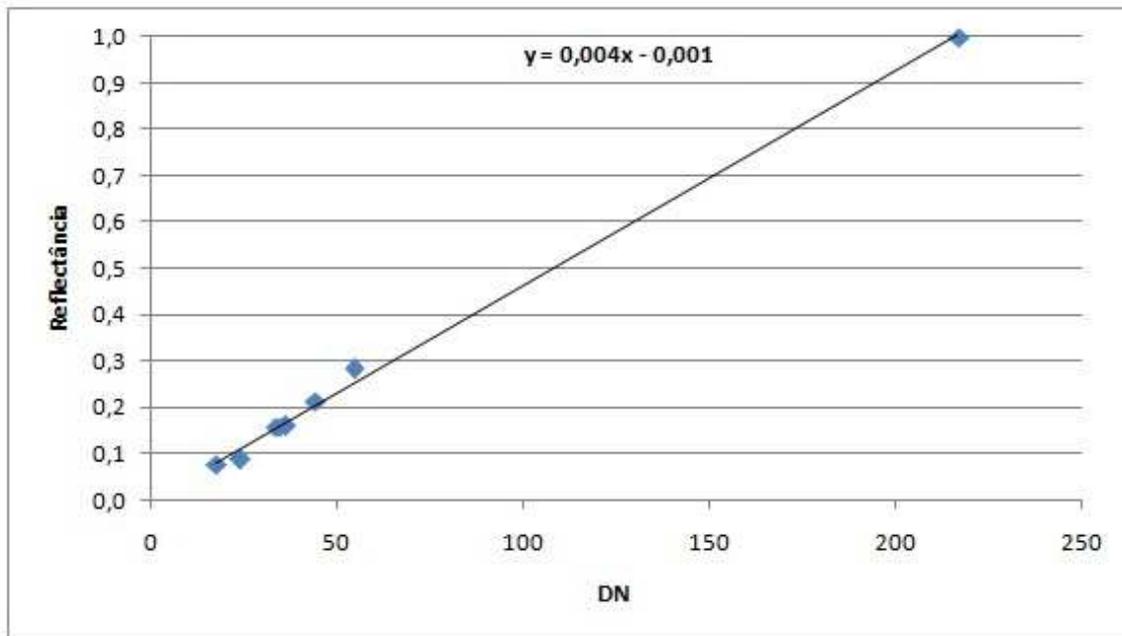


Figura A6.66: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_3 .

A6.6.3 Verde

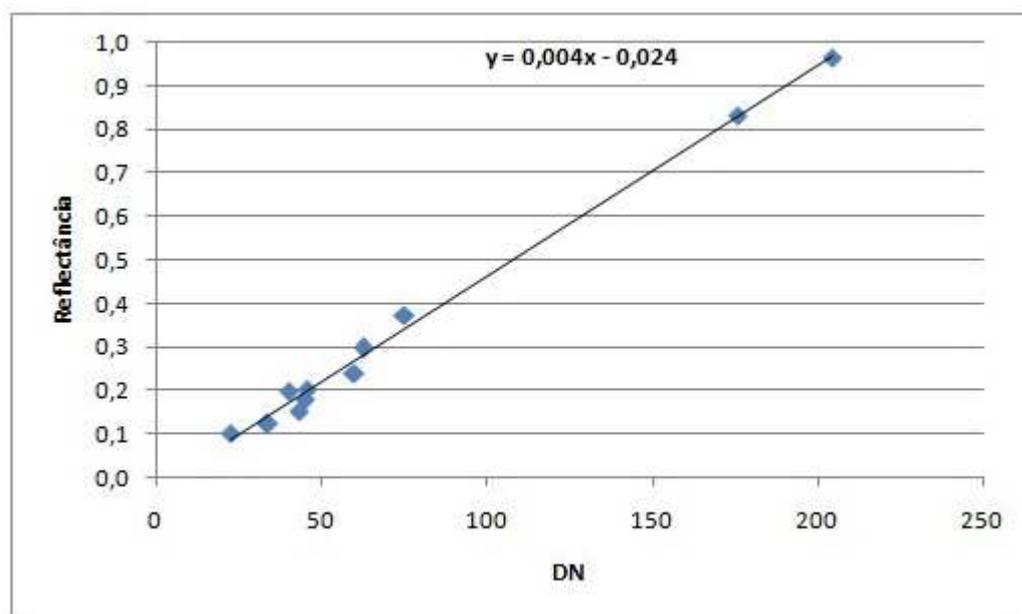


Figura A6.67: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_1 .

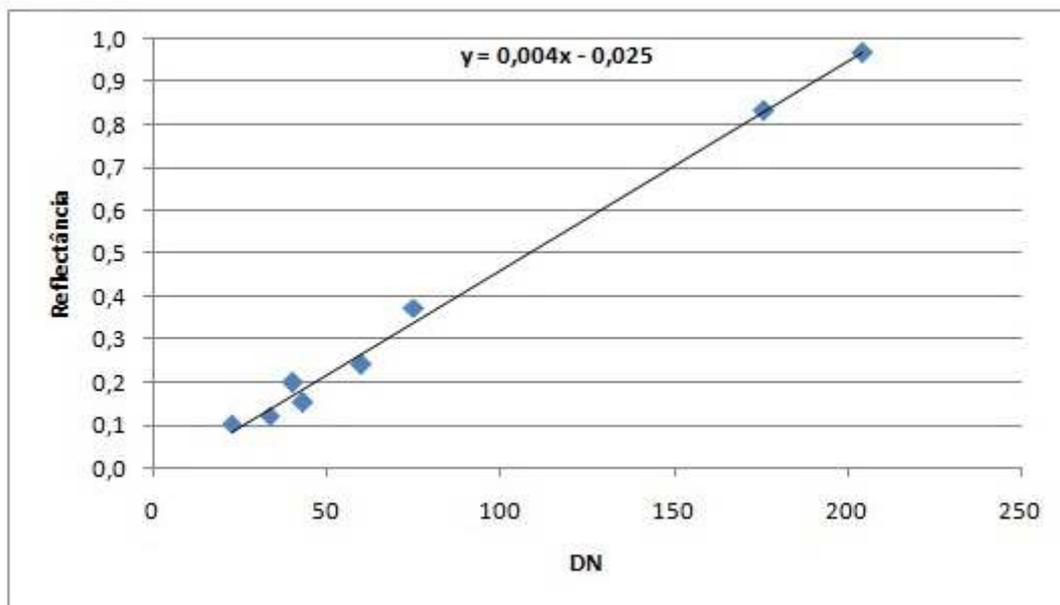


Figura A6.68: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_2 .

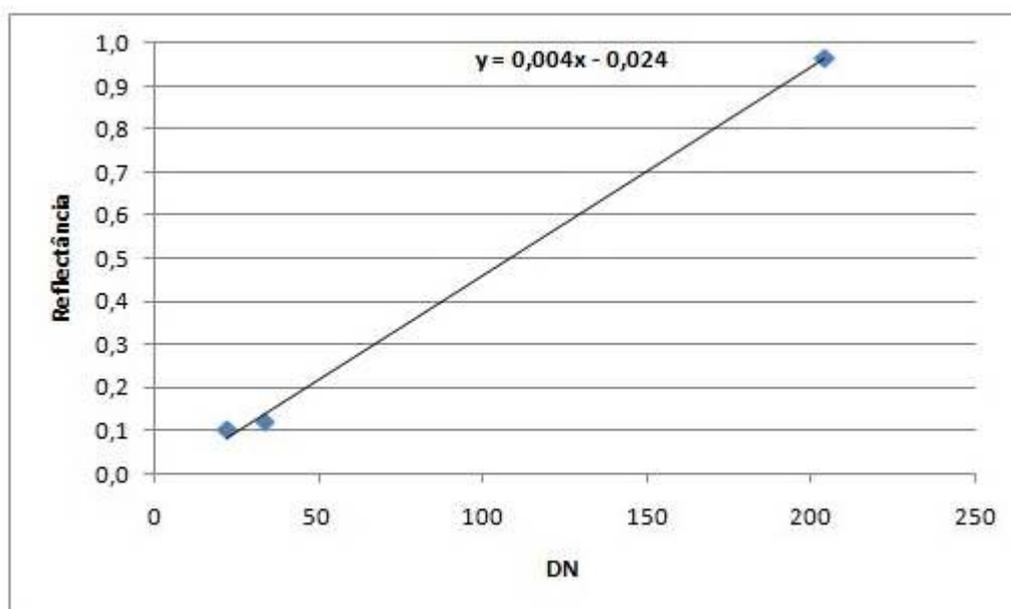


Figura A6.69: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_3 .

A6.6.4 Azul

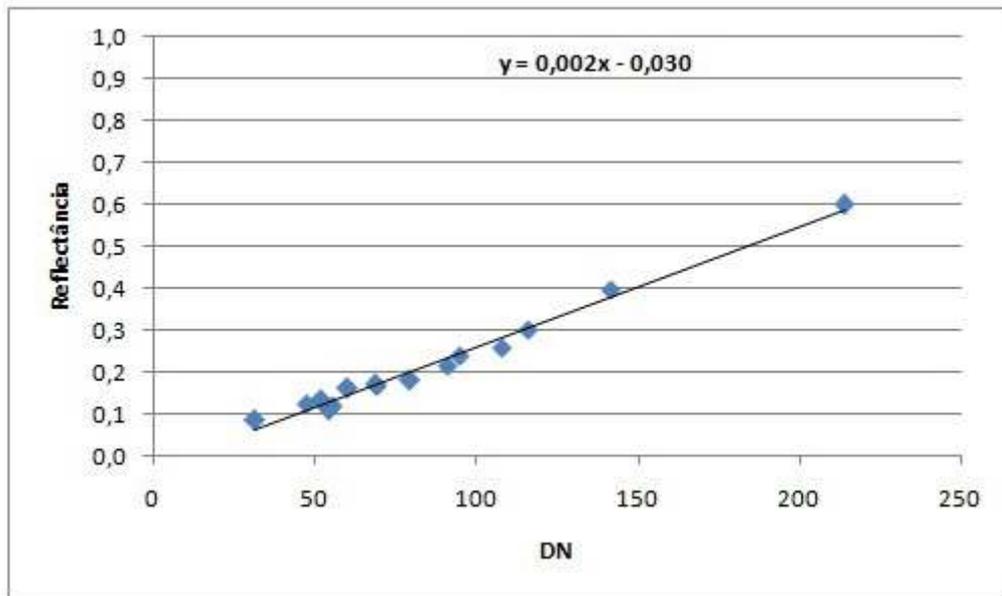


Figura A6.70: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_1 .

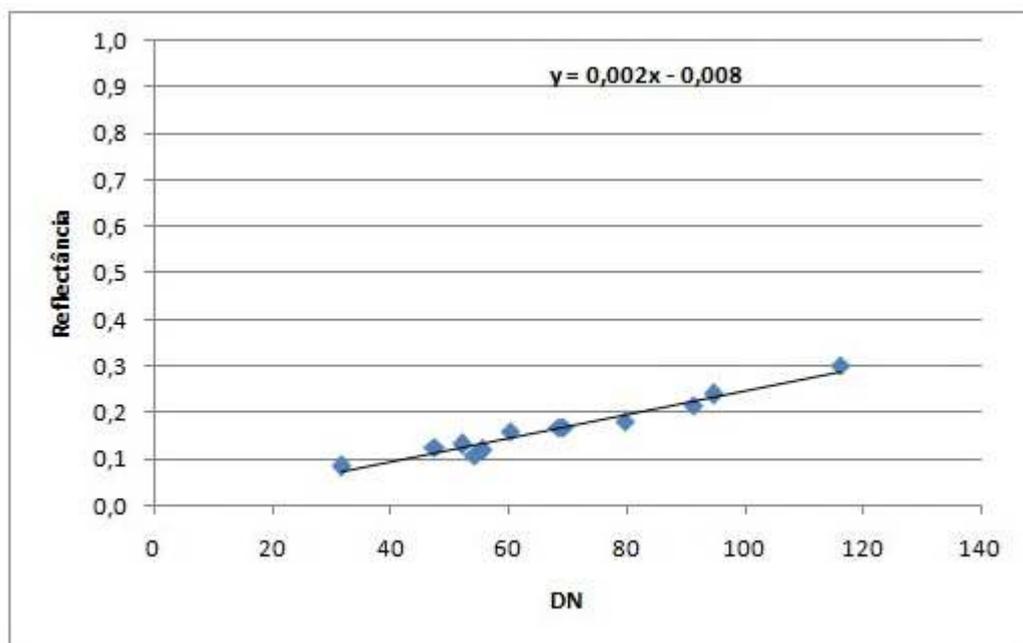


Figura A6.71: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_2 .

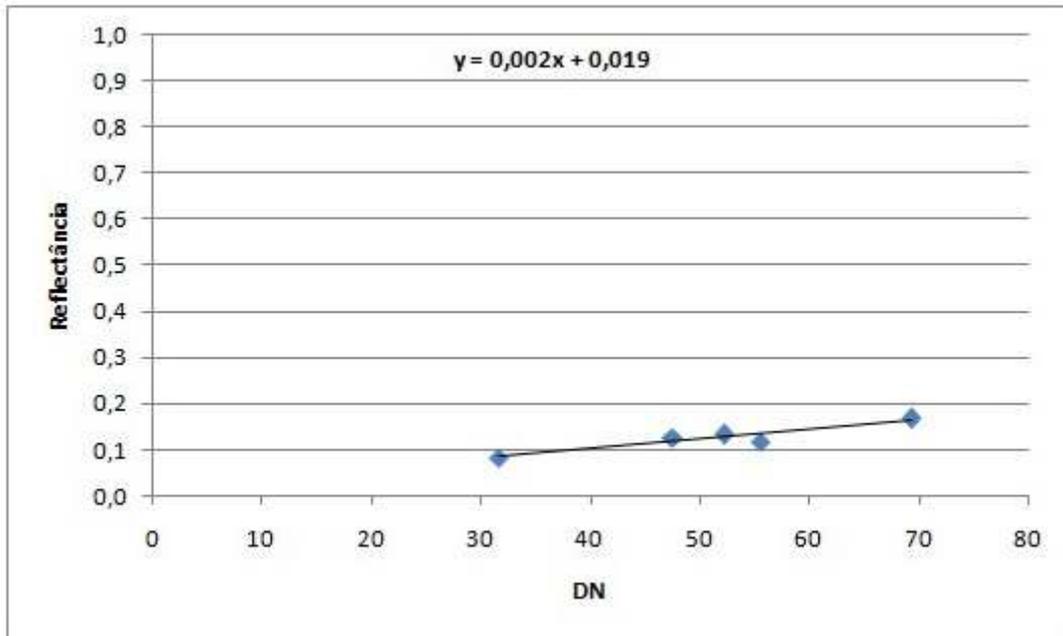


Figura A6.72: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de relva senescente, utilizando o critério Δ_3 .

A6.7 Metal

A6.7.1 Infravermelho Próximo

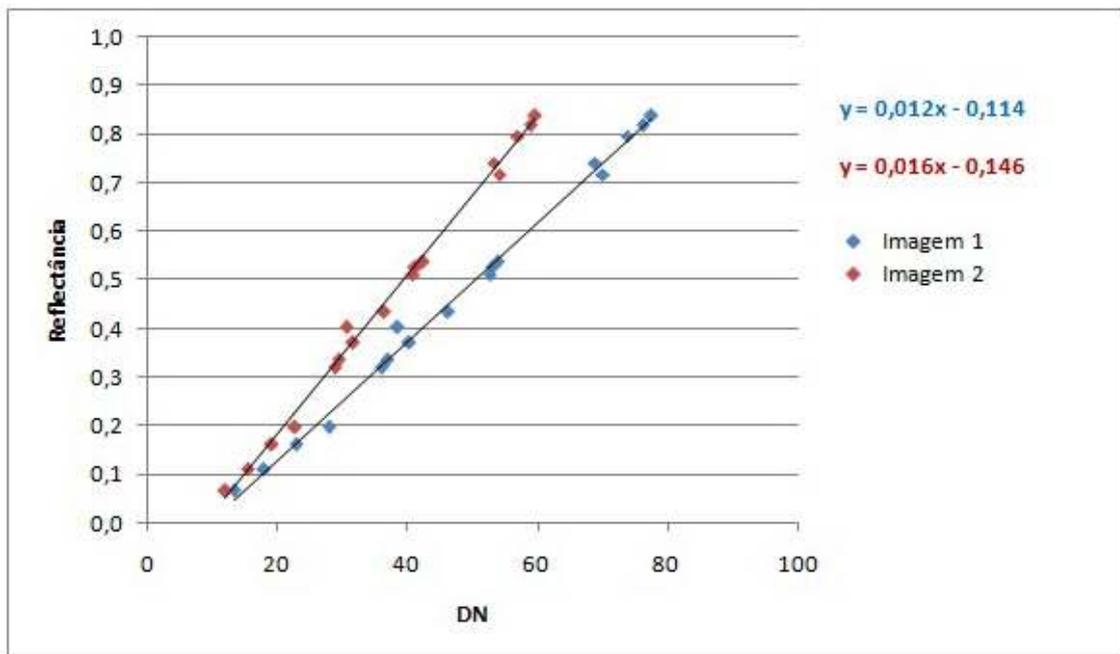


Figura A6.73: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_1 .

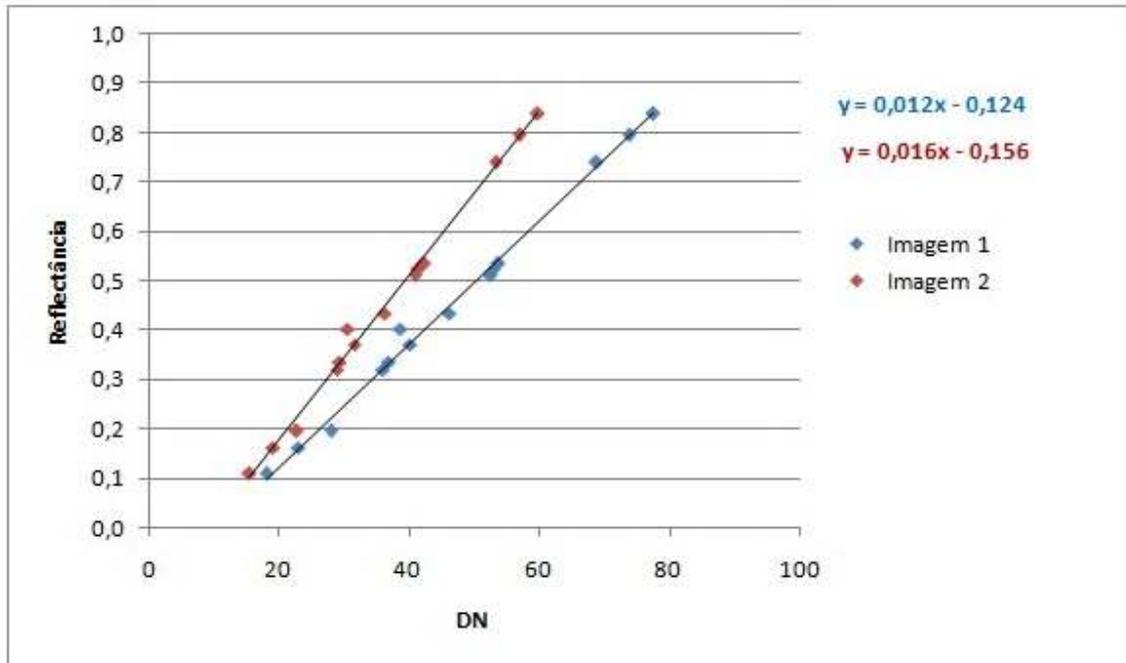


Figura A6.74: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_2 .

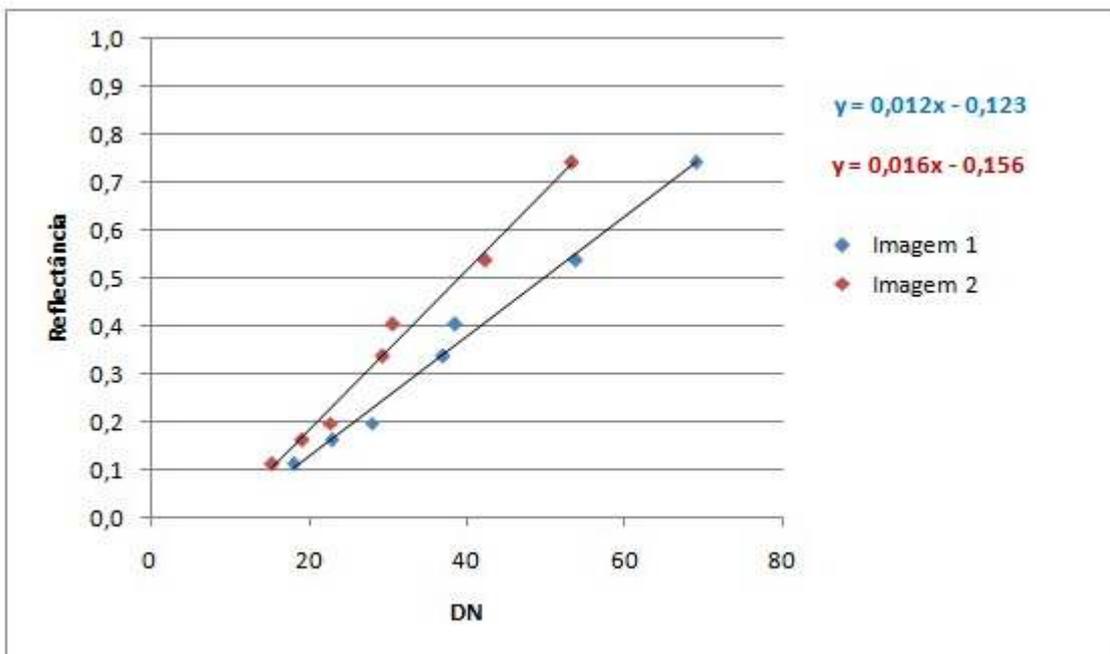


Figura A6.75: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_3 .

A6.7.2 Vermelho

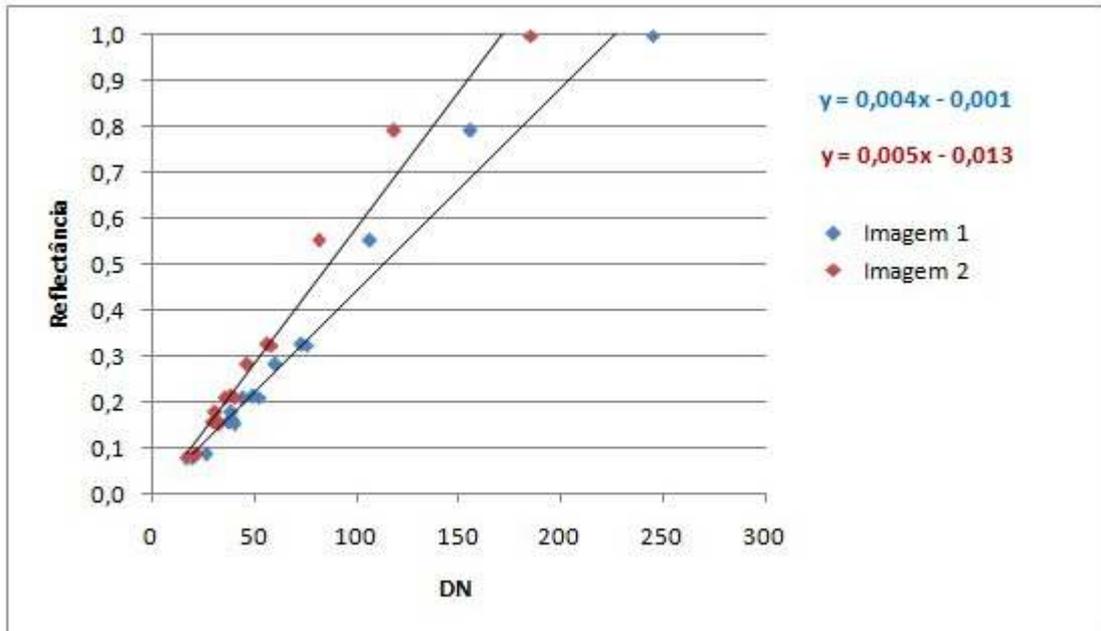


Figura A6.76: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_1 .

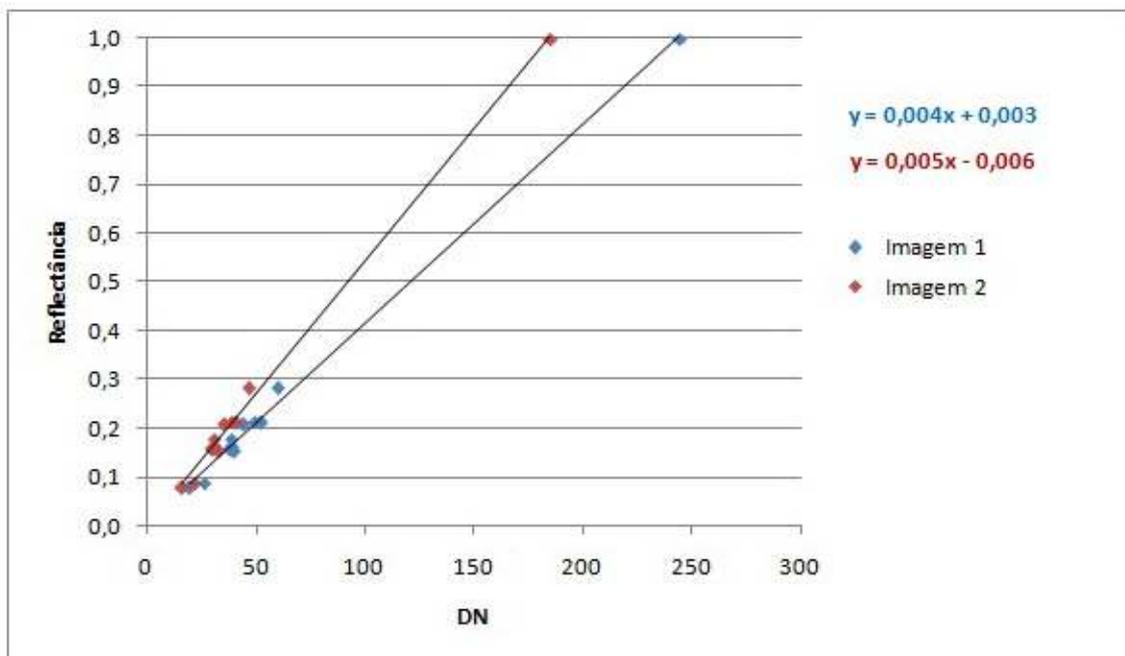


Figura A6.77: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_2 .

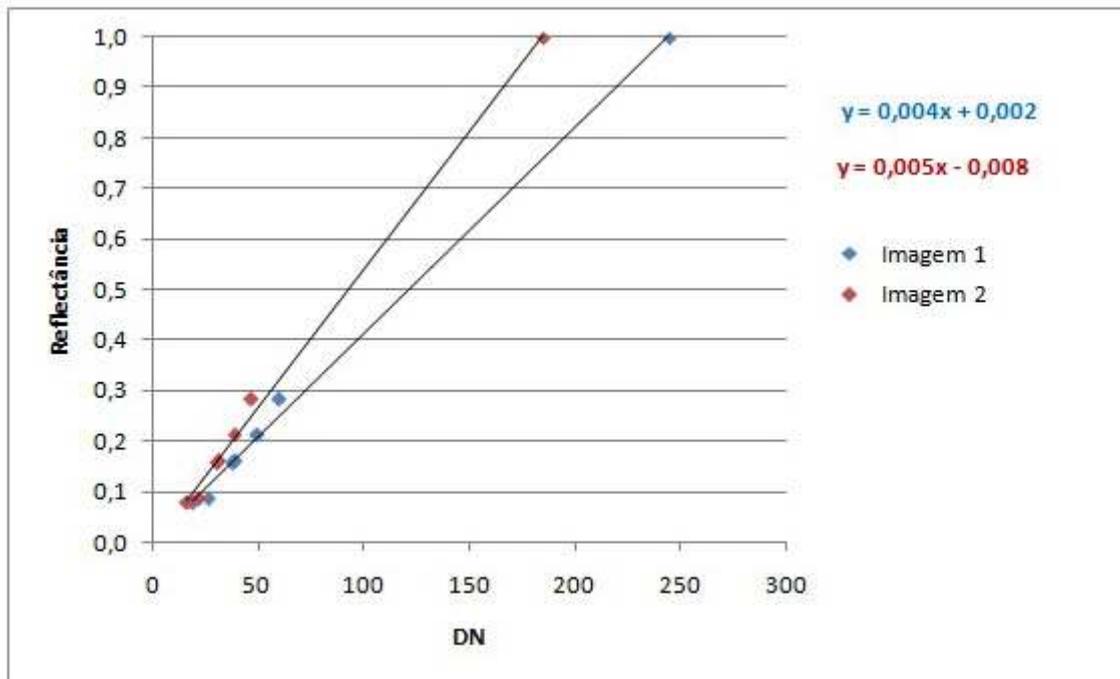


Figura A6.78: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_3 .

A6.7.3 Verde

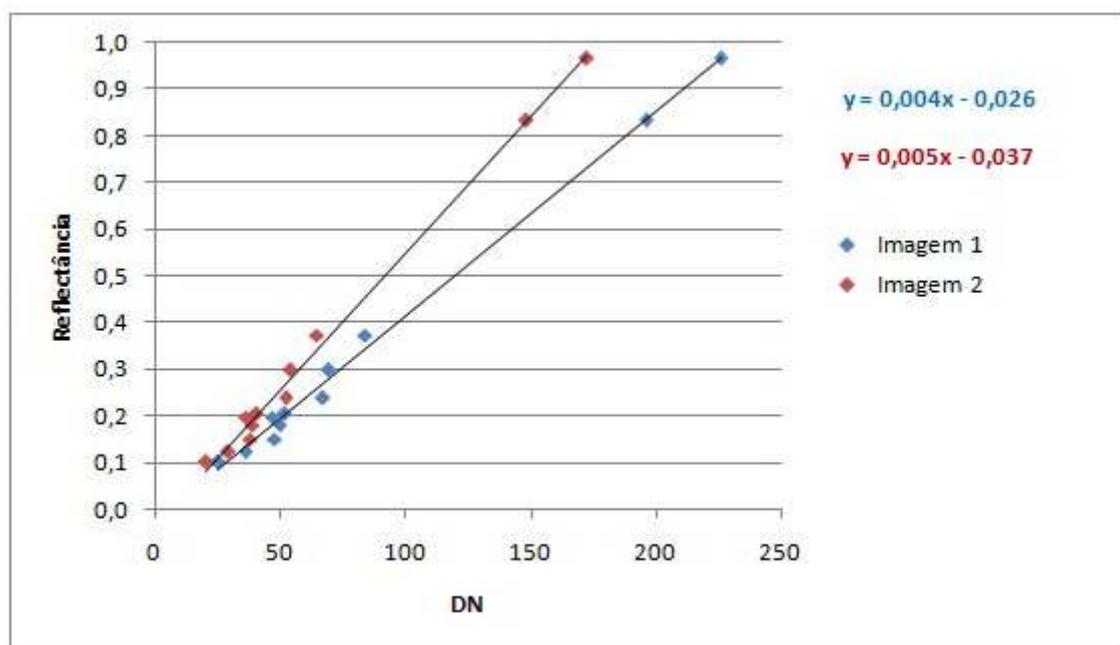


Figura A6.79: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_1 .

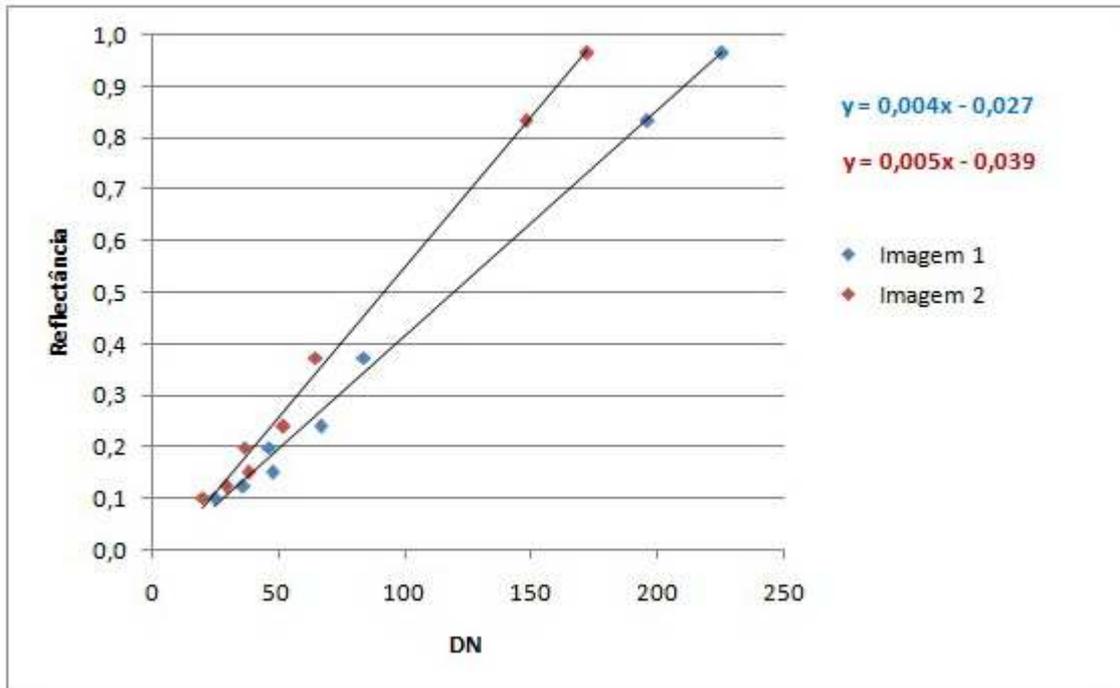


Figura A6.80: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_2 .

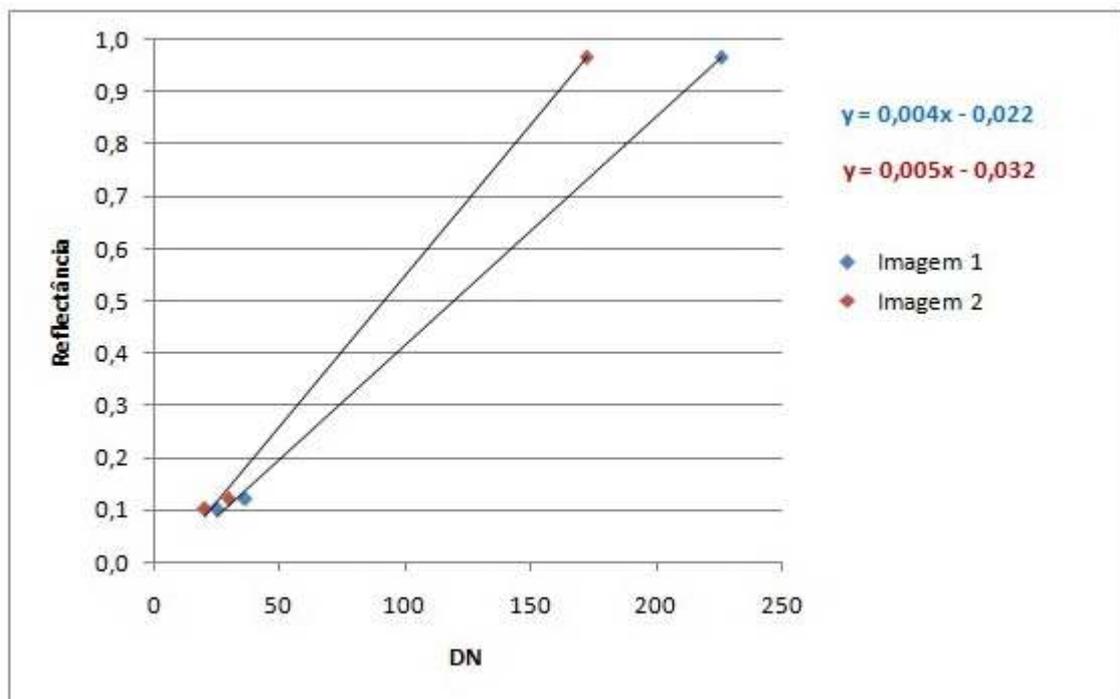


Figura A6.81: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_3 .

A6.7.4 Azul

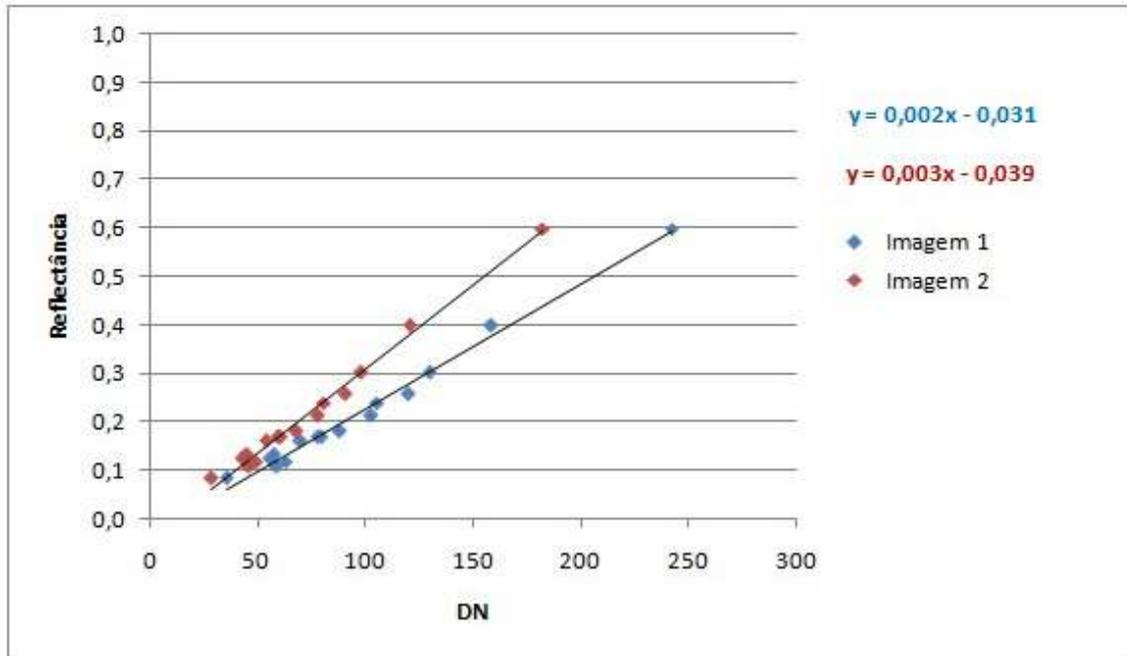


Figura A6.82: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_1 .

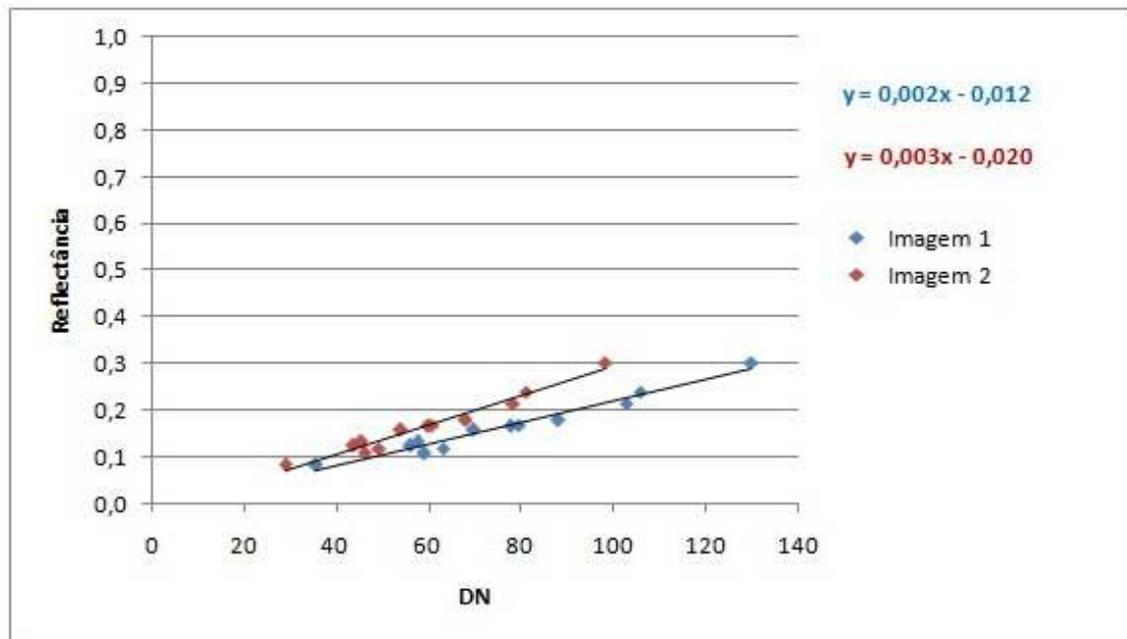


Figura A6.83: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_2 .

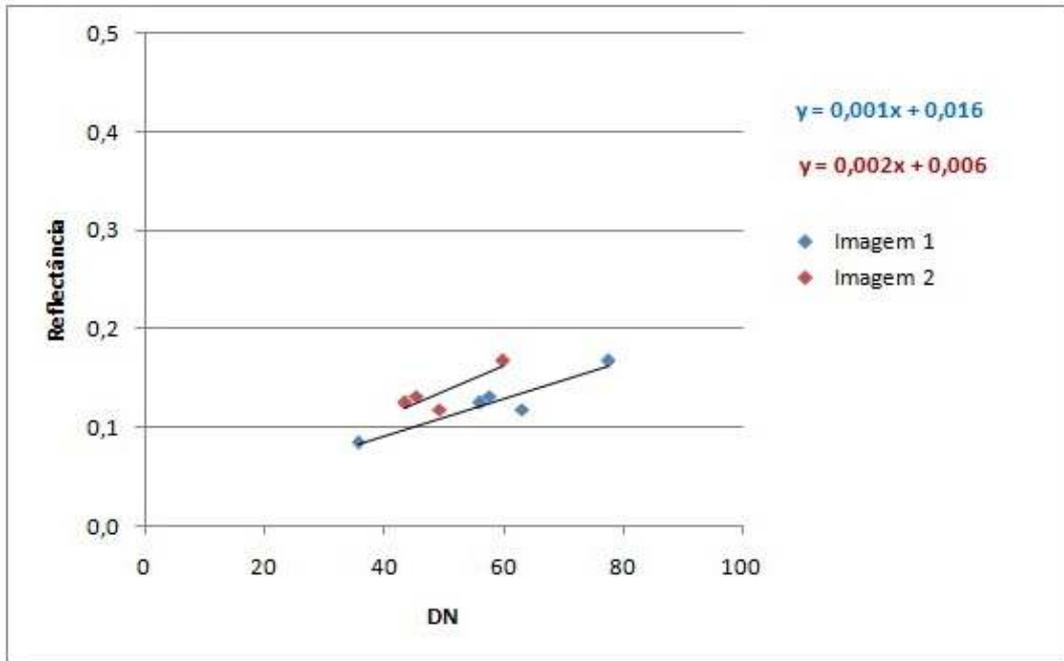


Figura A6.84: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de metal, utilizando o critério Δ_3 .

A6.8 Terra

A6.8.1 Infravermelho Próximo

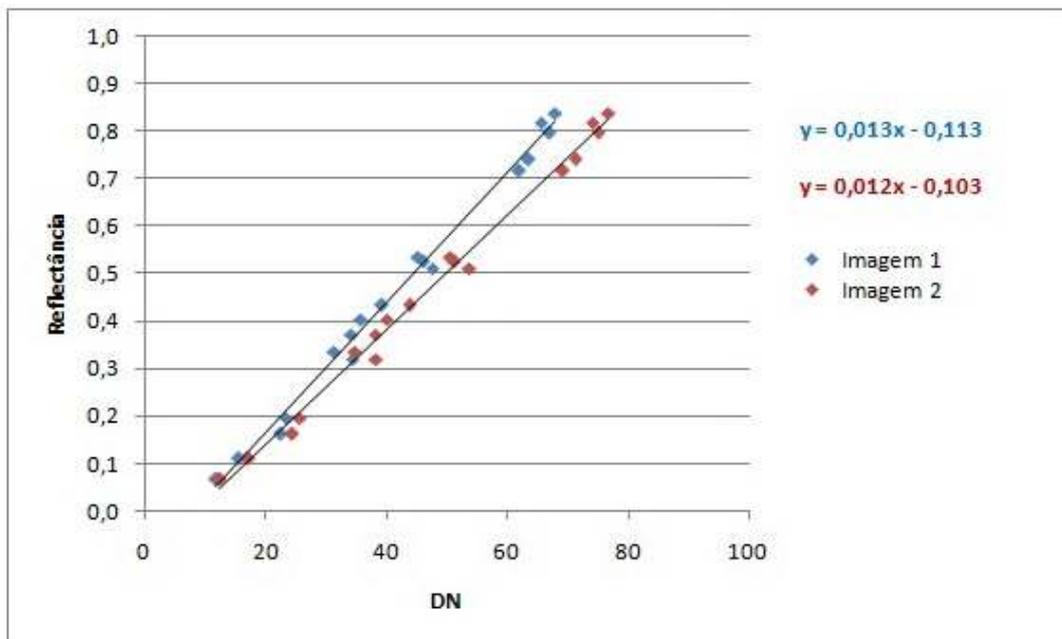


Figura A6.85: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_1 .

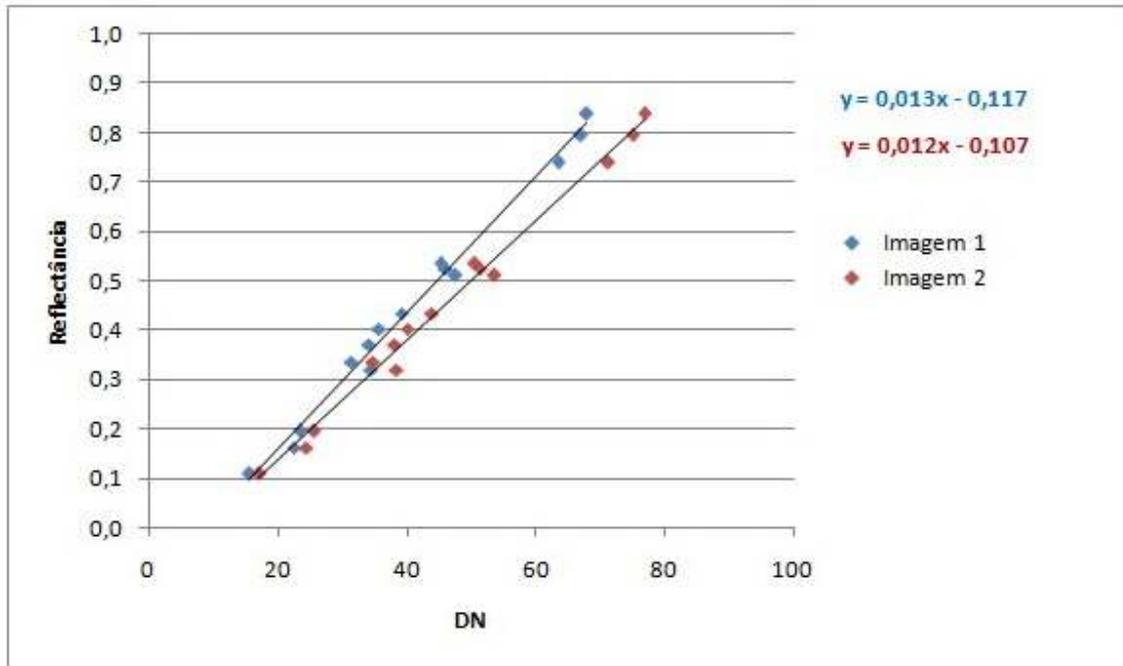


Figura A6.86 Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_2 .

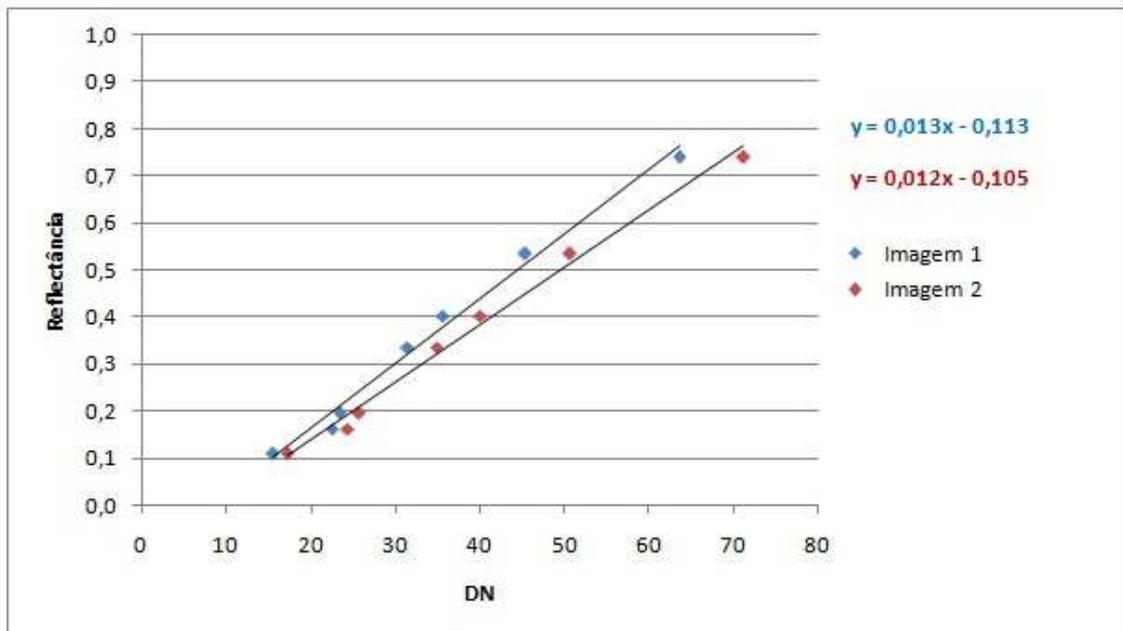


Figura A6.87: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do infravermelho próximo, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_3 .

A6.8.2 Vermelho

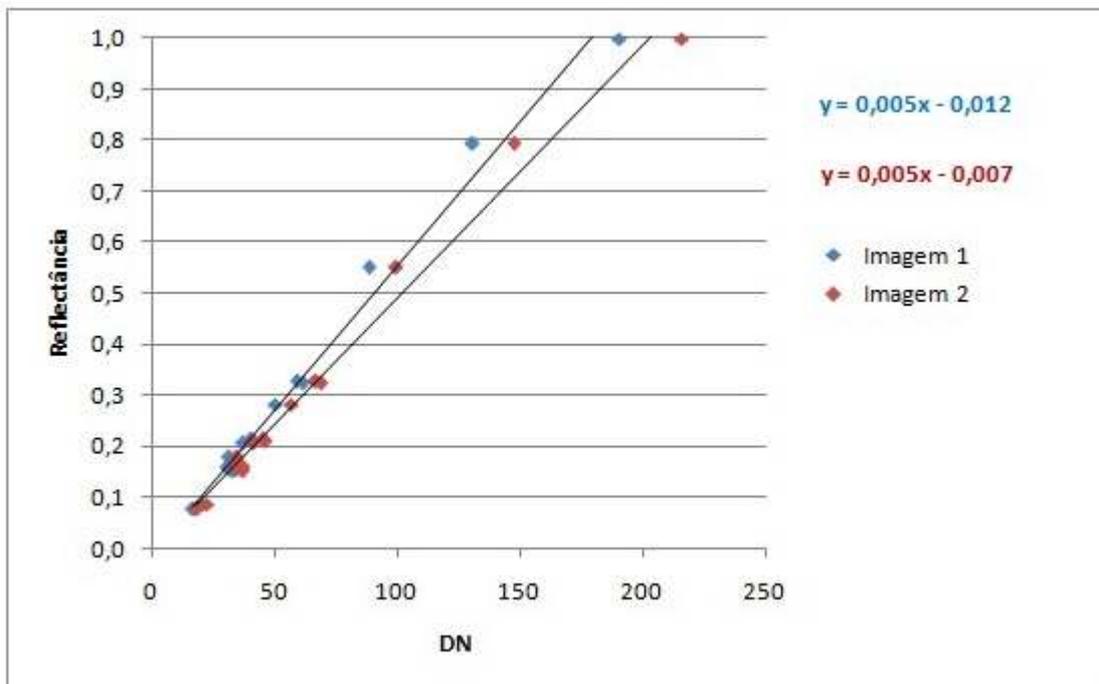


Figura A6.88: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_1 .

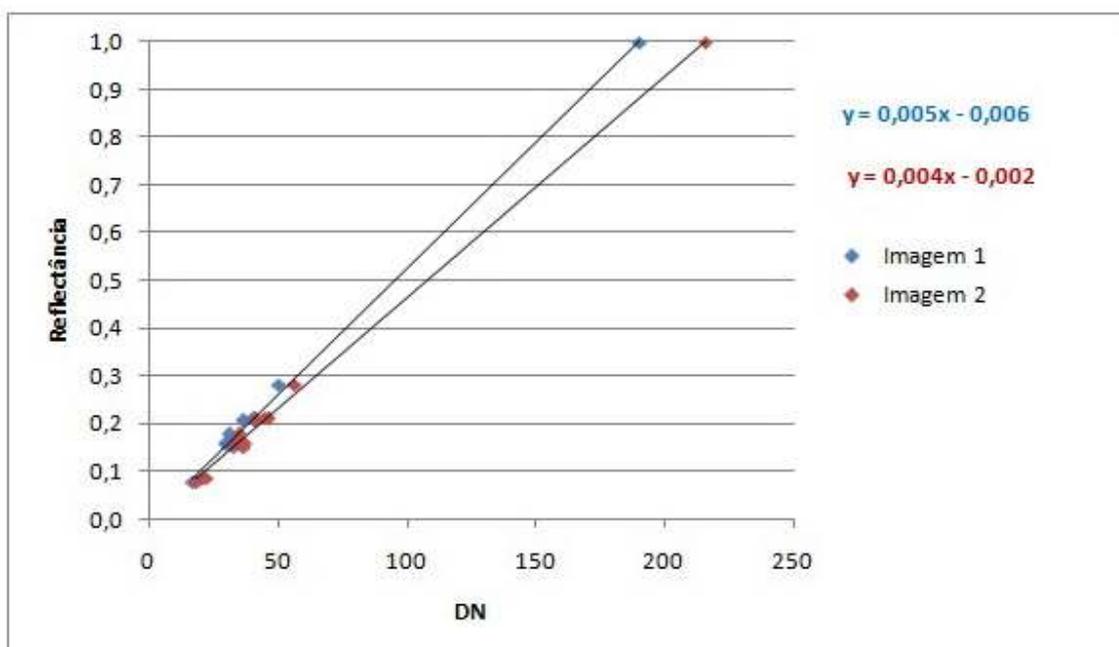


Figura A6.89: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_2 .

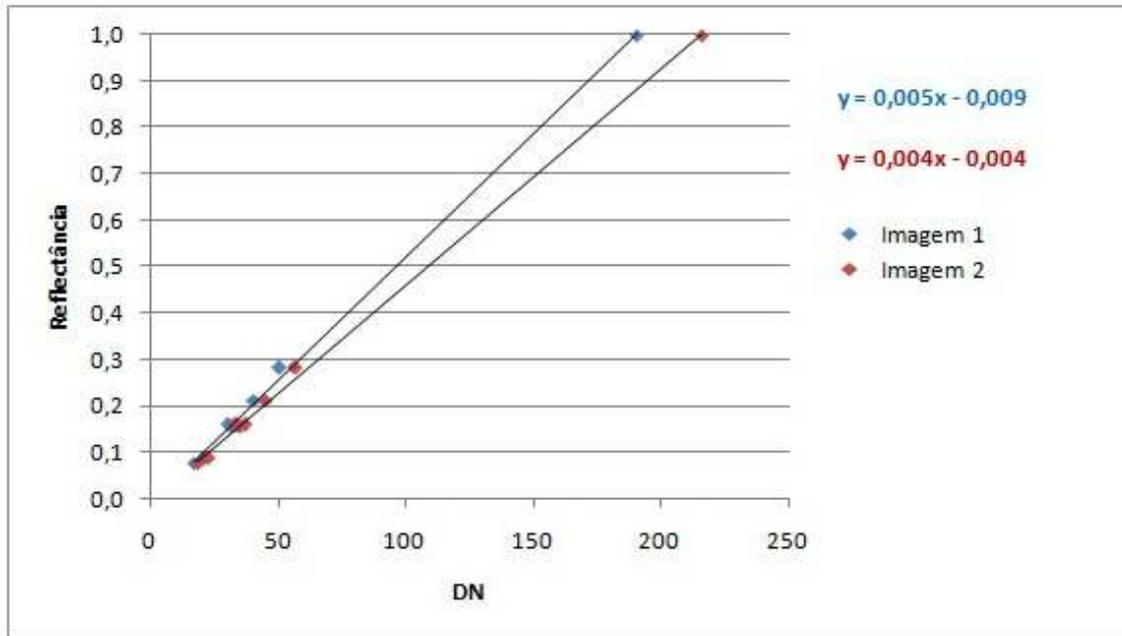


Figura A6.90: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do vermelho, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_3 .

A6.8.3 Verde

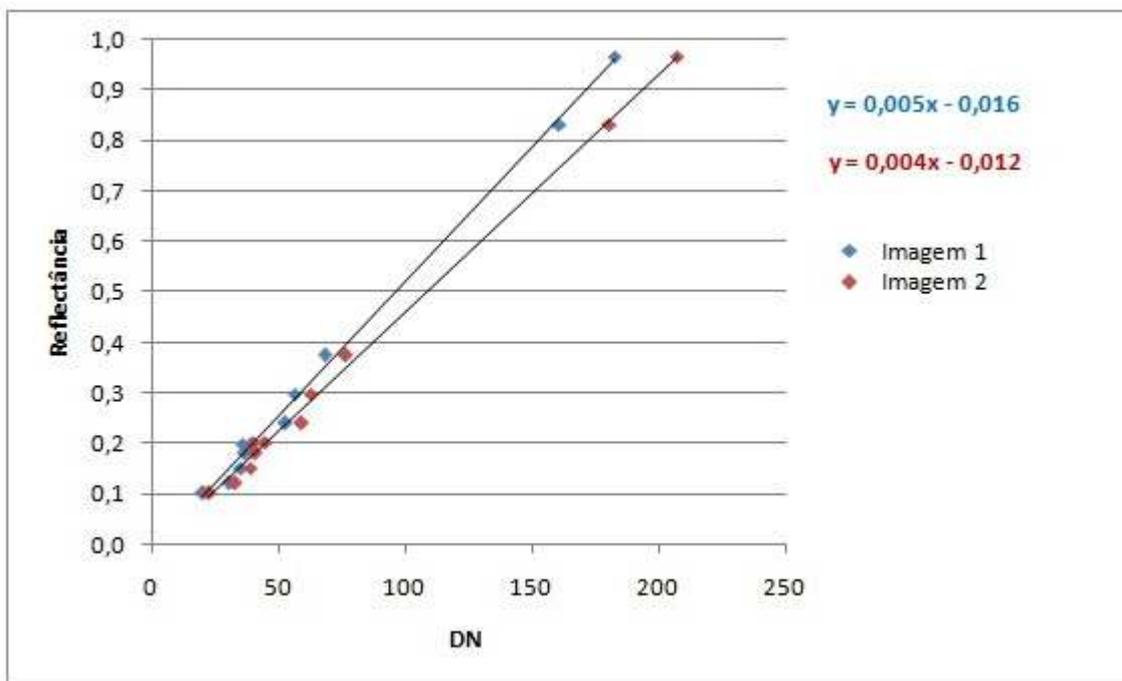


Figura A6.91: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_1 .

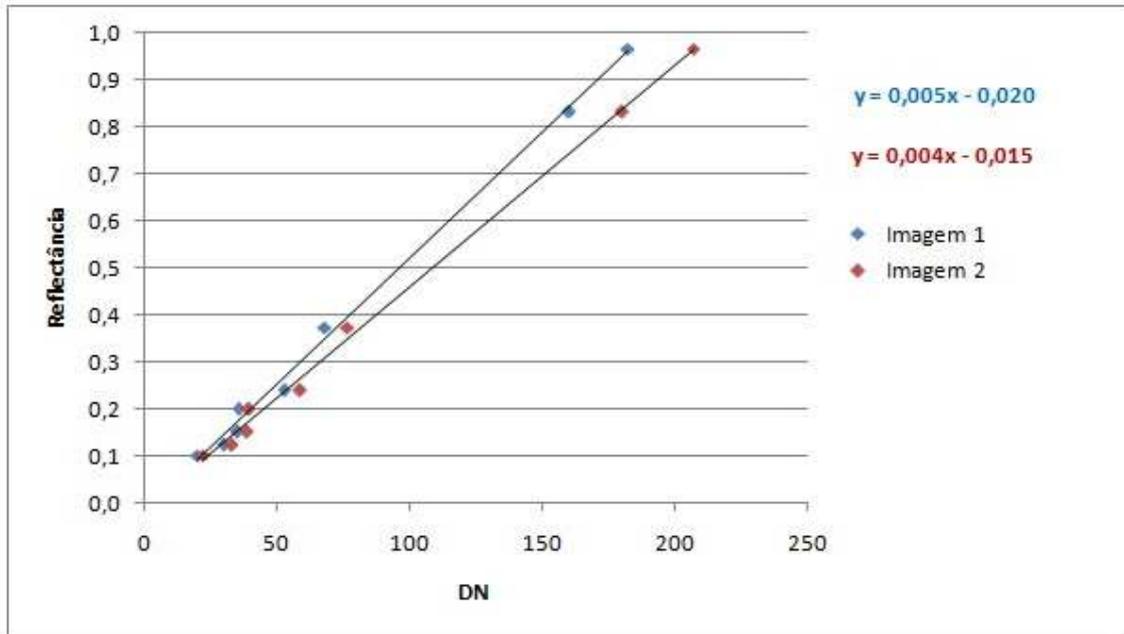


Figura A6.92: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_2 .

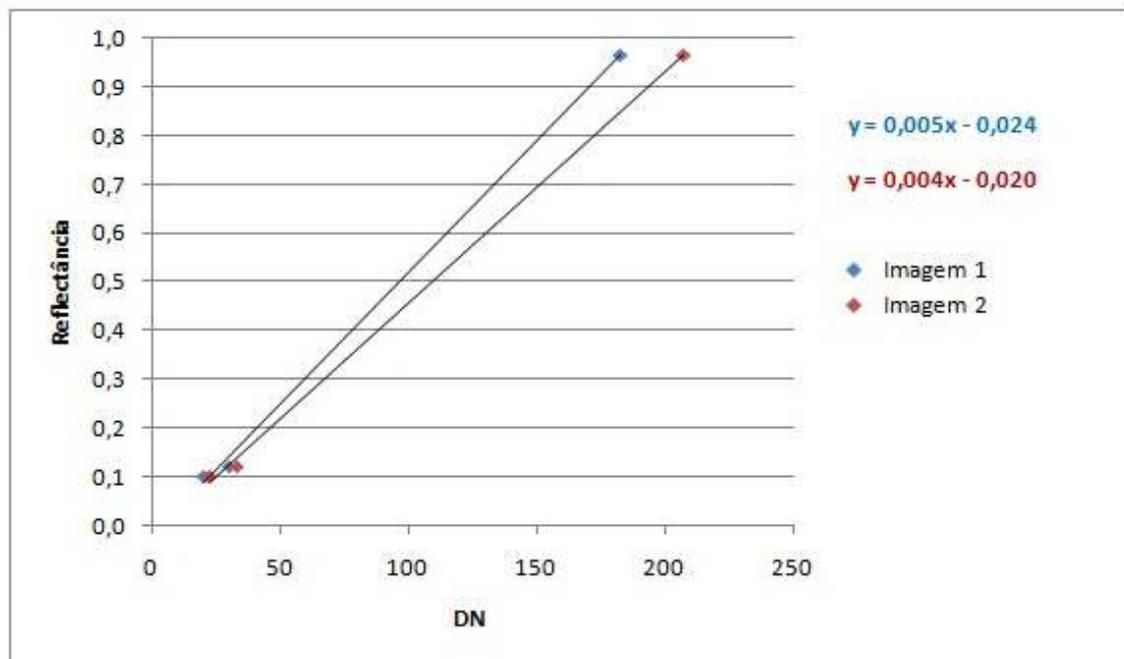


Figura A6.93: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do verde, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_3 .

A6.8.4 Azul

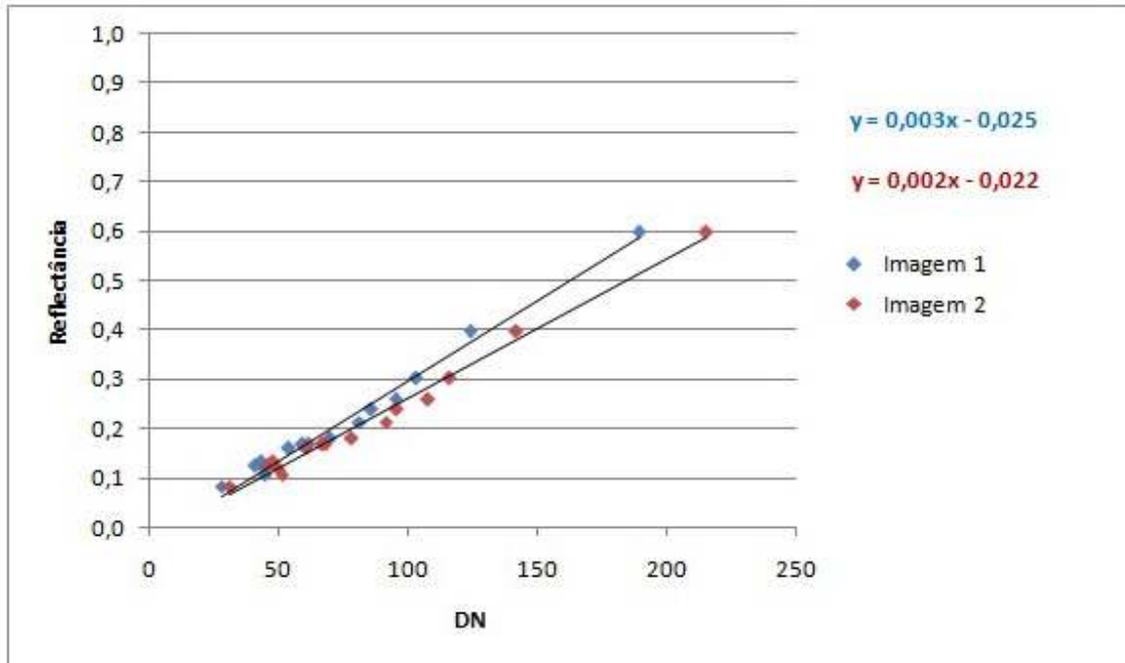


Figura A6.94: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_1 .

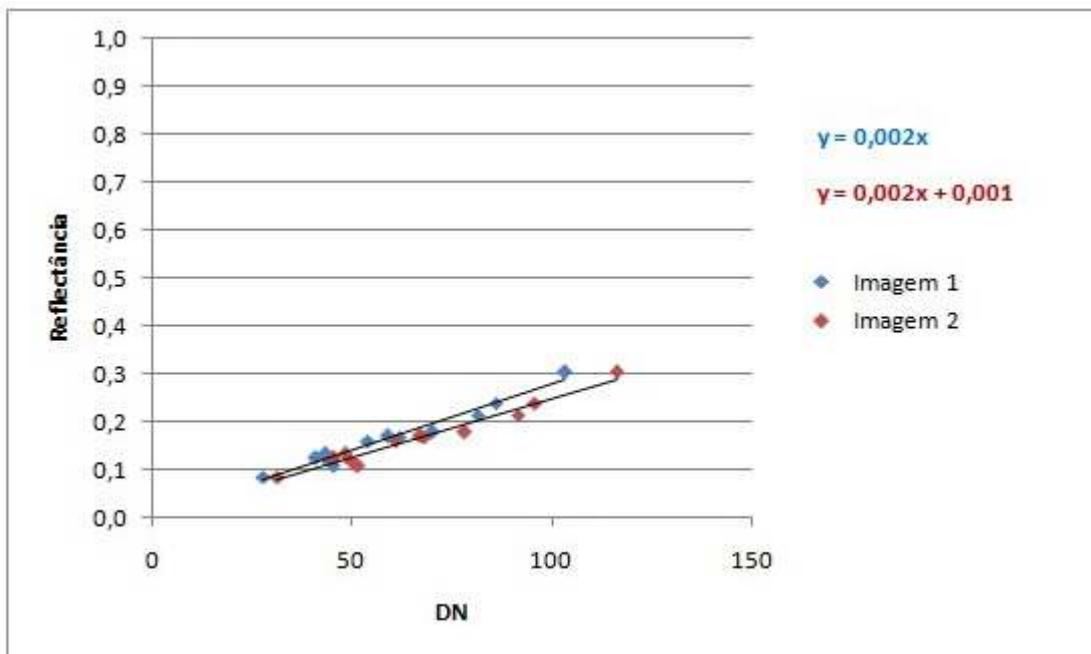


Figura A6.95: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_2 .

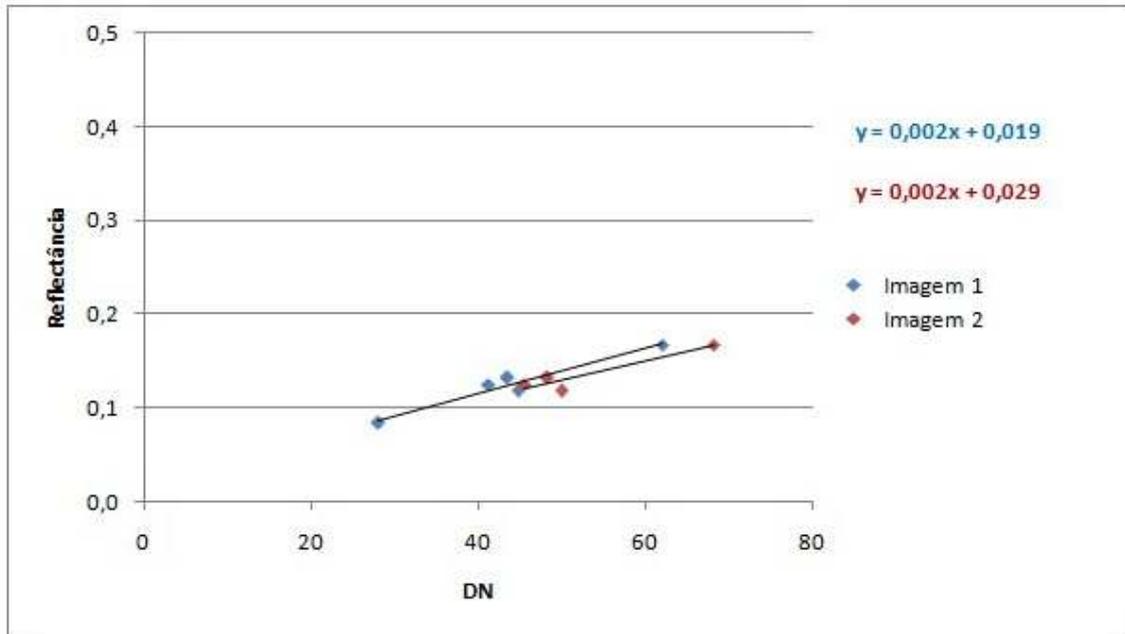


Figura A6.96: Gráfico da reflectância em função do DN das imagens 1 e 2, para a banda do azul, da área de estudo de terra, utilizando o critério Δ_3 .