

## ÍNDICES ESPECTRAIS EM FOTOGRAFIA AÉREA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO NA MONITORIZAÇÃO DA DOENÇA TINTA DO CASTANHEIRO

<sup>1</sup>L. M. Martins, <sup>2</sup>J. P. Castro, <sup>1</sup>F. W. Macedo, <sup>1</sup>C. P. Marques e <sup>1</sup>C. G. Abreu

<sup>1</sup>Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5000-911 VILA REAL.

<sup>2</sup>Escola Superior Agrária de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 172, 5301-855 BRAGANÇA

**Resumo.** A detecção de alterações na reflectância das copas de castanheiros pode fazer-se através de Fotografia Aérea de Pequeno Formato (FAPF), o que possibilita a monitorização da dispersão da doença da tinta a baixo custo. É na zona do espectro electromagnético (EEM) entre o vermelho (V) e o infravermelho próximo (IVP), i.e., no intervalo de 600 a 1100 nm, que são mais facilmente detectadas alterações de stress. Essas alterações devem-se geralmente a carências hídricas ou nutricionais e a doenças várias, como o cancro americano, mas, sobretudo à incidência da doença da tinta, que ocorre frequentemente em Portugal.

Índices espectrais baseados naquela banda do EEM são assim importantes para detectar condições anómalas. Os índices podem ser baseados: i) no declive da recta de regressão entre os pixels correspondentes à reflectância do V e do IVP; ii) na posição geométrica dos pixels relativamente a essa mesma recta.

Este estudo incide na avaliação da sanidade em parcelas de amostragem instaladas em soutos. Nas FAPF obtidas na região da Padrela (Valpaços), são explorados sobretudo os índices do grupo ii), por fazerem a melhor discriminação entre a vegetação e o solo nu.

Apresenta-se o algoritmo de processamento das imagens digitais de IVP mais adequado à classificação da sanidade das árvores. Esse algoritmo baseia-se no cálculo do índice de vegetação perpendicular, pois é este índice que permite uma melhor discriminação espectral das 6 classes estabelecidas (5 de sanidade; 1 de solo nu). Os resultados da fotointerpretação foram comparados com observações de campo, tendo-se obtido um coeficiente de concordância ( $k$ ) que indicou uma relação estreita entre os dois métodos de avaliação.

**Palavras chave:** índices de vegetação, fotografia aérea de pequeno formato, doença da tinta.

### INTRODUÇÃO

O processamento de imagens digitais iniciou-se na década de 1960, com a análise de imagens obtidas a partir de satélites ou aviões. Mas é após meados da década de 1980, com o progresso dos equipamentos informáticos, que o processamento de imagens digitais tem um desenvolvimento importante (Jensen, 1996; Lillesand e Kiefer, 2000). As imagens de satélite começaram então a ser utilizadas crescentemente em estudos florestais e as fotografias aéreas com grande resolução espacial ( $< 1.0$  m), digitalizadas, são frequentemente usadas na monitorização da sanidade e inventários florestais (Meyer *et al.*, 1996). Na verdade, os algoritmos de classificação de imagens digitais, com registo de múltiplas bandas espectrais, algumas das quais fora do espectro visível, possibilitam ultrapassar as capacidades do olho humano na distinção dos objectos, pela sua assinatura espectral e assim tirar mais partido da informação registada nessas imagens (Richards, 1986; Richards e Jia, 1998; Eastman, 2001).

A detecção remota de alterações do stress do castanheiro pode efectuar-se com películas de IVP, sendo essencial na monitorização da incidência da doença da tinta (Martins, 2004). Árvores afectadas têm menor reflectância naquela banda e a sua detecção pode ser realçada através de índices de vegetação adequados.

Neste estudo, o melhor algoritmo de classificação das FAPF para detecção de árvores afectadas foi comparado com observações de campo. Além de filtros digitais, avaliou-se

diferentes índices de vegetação em FAPF de IVP obtidas em soutos de Valpaços. Os índices considerados são: i) baseados no declive da recta de regressão entre os pixeis correspondentes à reflectância do V e do IVP; ii) baseados na posição geométrica dos pixeis relativamente a essa mesma recta. Os índices do primeiro grupo resultam de combinações aritméticas entre a reflectância do V e IVP. A recta de regressão entre os dois conjuntos de pixeis parte da origem, variando o declive consoante a proporção das duas bandas.

No outro grupo de índices é explorada a diferença entre a reflectância de cada *pixel* da vegetação com a do solo. Num gráfico bi-espectral, a posição inicial da recta de regressão irá variar de acordo com o tipo e teor de humidade do solo e ainda consoante o tipo e densidade de vegetação. Assim, à medida que a densidade da vegetação aumenta, há tendência para aumentar a distância perpendicular dos *pixeis* à linha do solo. Estas transformações englobam os Índices Perpendiculares de Vegetação (*PVI*), nos quais é necessário definir o ponto de intersecção e o declive da linha do solo (Richards, 1986; Thiam e Eastman, 2001).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Obtenção de imagens aéreas

De 2001 a 2004 foram obtidas imagens aéreas em soutos de Valpaços, através de plataformas (Figura 1) instaladas num avião ligeiro do tipo Cessna 172, de acordo com os parâmetros técnicos de voo e metodologia descrita em AGRO 179 (2005). Utilizou-se a câmara fotográfica Nikon F501 munida com um filtro amarelo Nikon Y48, de densidade equivalente ao filtro Kodak Wratten #12 e com a película *Kodak height speed Ektachrome Professional Infrared Film* (EIR). As fotografias aéreas obtidas foram processadas no sistema E6.

Os diapositivos foram digitalizados à resolução de 70 pontos por mm (1780 dpi) e posteriormente ortorectificados, tendo por base altimetria à escala 1: 25000 do Instituto Geográfico do Exército.



**Figura 1.** Plataformas utilizadas para obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato. À esquerda, instalação externa no tirante do avião; à direita plataforma retráctil instalada no compartimento das bagagens, após remoção da respectiva porta.

Não foi necessária a **correção atmosférica** das imagens devido à pequena altura de voo (570 m). Além disso as FAPF foram obtidas num dia de céu limpo e com pouca neblina. Esta condição é essencial, dada a dificuldade de isolar em castanhais pixeis de reflectância nula, habitualmente associados à água límpida e profunda e necessários para o cálculo da luz difusa (Eastman, 2001). Outro constrangimento está associado à impossibilidade de conhecer com exactidão o ângulo formado entre o eixo vertical da câmara e a normal do solo. Também não foi efectuada a **correção radiométrica** das FAPF (erros associados à digitalização), pela pequena importância da presença de pixeis com valor anormalmente baixo ou alto.

## Índices de vegetação

Para a identificação das classes de estrago de 0 a 4 (4 = árvore morta) dos castanheiros, testou-se em primeiro lugar o Índice Normalizado de Vegetação (NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*). Este índice foi introduzido por Rouse *et al.* (1974), sendo dos mais divulgados e do qual derivam praticamente todos os restantes. Mede o declive da recta de regressão com início na origem do espaço bi-espectral (V; IVP) e o valor de um determinado *pixel* da imagem (Rodrigues, 1999).

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

O outro grupo avaliado deriva do Índice Perpendicular de Vegetação (*PVI = Perpendicular Vegetation Index*), que permite cancelar a reflectância do solo, sobretudo nos casos onde a vegetação é esparsa e os valores numéricos dos *pixels* resultam das reflectâncias da vegetação e do solo (*pixels mistos*). A reflectância do solo é modelada por uma regressão linear simples ( $IVP = a + bV$ ). Assim, os *pixels* correspondentes a pontos próximos dessa recta de regressão representarão o solo, sendo os mais distantes reportados à vegetação (Thiam e Eastman, 2001). Os valores do índice *PVI* são, portanto, as distâncias dos pontos representativos dos *pixels* no espaço bidimensional (V; IVP) à recta de regressão  $IVP = a + bV$ , distâncias obtidas pelas fórmulas:

$$PVI = \sqrt{d^2}; \quad d^2 = \left[ \frac{b \cdot (IVP - a) - b^2 \cdot V}{1 + b^2} \right]^2 + \left[ \frac{a + b \cdot V - IVP}{1 + b^2} \right]^2 \quad (2)$$

Diversos autores propõem ainda a modificação do *PVI* (Quadro 1). A sua utilização depende dos objectivos e aplicações mas, geralmente, estes índices fazem melhor a discriminação dos valores negativos referentes à presença da água.

Quadro 1. Diferentes índices de vegetação que derivam do *PVI*.

Autor	Índice	Designação inglesa	Fórmula
Perry e Lautenschlager (1984)	<i>PVI</i> <sub>1</sub>	<i>Perpendicular VI</i>	$PVI_1 = \frac{b \cdot IVP - V + a}{\sqrt{b^2 + 1}}$
Bannari <i>et al.</i> (1996)	<i>PVI</i> <sub>2</sub>	<i>Perpendicular VI</i>	$PVI_2 = \frac{(IVP - a) \cdot (V + b)}{\sqrt{1 + a^2}}$
Qi <i>et al.</i> (1994)	<i>PVI</i> <sub>3</sub>	<i>Perpendicular VI</i>	$PVI_3 = a \cdot IVP - b \cdot V$
Richardson e Wiegand (1977)	<i>DVI</i>	<i>Difference VI</i>	$DVI = b \cdot IVP - V$
Ashburn (1978)	<i>AVI</i>	<i>Ashburn VI</i>	$AVI = 2 \cdot IVP - V$

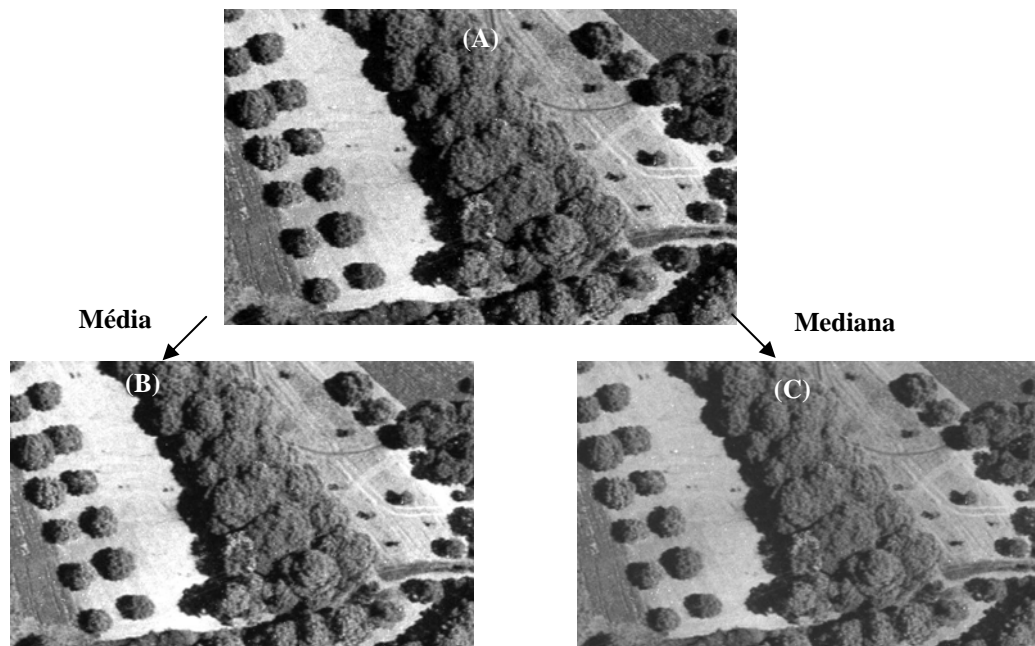
Onde: *VI* = *Vegetation Index*; *a* = ordenada da origem da recta do solo; *b* = declive da recta do solo

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fotografias IVP são bem mais acessíveis nos sistemas analógicos, pois o custo das câmaras digitais sensíveis a esta banda é ainda muito elevado. A película utilizada neste estudo foi adequada, mas exige cuidados especiais. Ou seja, i) armazenamento (-18 °C) por curtos intervalos de tempo; ii) instalação e remoção da película no equipamento fotográfico em câmara escura; iii) gradação correcta da amplitude durante a captação das fotografias; iv)

período pré-processamento o mais curto possível, com conservação a temperaturas negativas; v) selecção laboratórios fotográficos com capacidade para desenvolver o processo *E6* sem sistemas de luz infravermelha para a contagem e controlo dos “frames” da película.

Com o processo de filtragem, verifica-se que há melhoria dos contornos das copas e das sombras das árvores, podendo ajudar à interpretação da sanidade. Na filtragem pela mediana são eliminados menos *pixels* anómalos, podendo esta circunstância ser uma vantagem, pois determinadas pontuações escuras, menos eliminadas no processo de filtragem, são também indicadoras da condição sanitária das árvores (Figura 2).



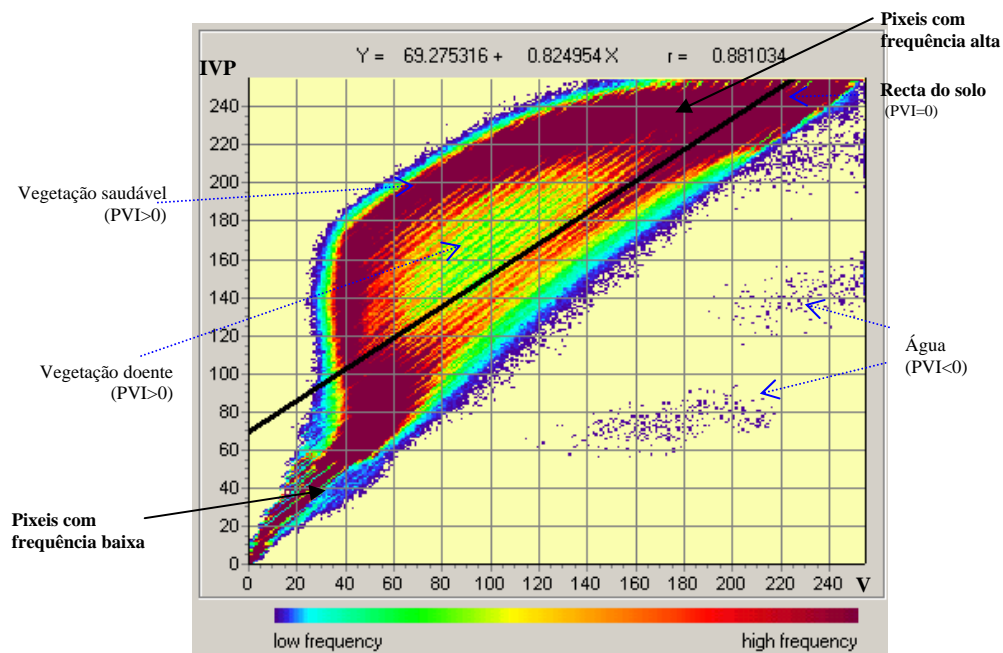
**Figura 2.** Aplicação de diferentes filtros a uma imagem de um souto, com *pixels* anómalos (A- imagem original; B- filtro pela média; C- filtro pela mediana)

A análise das FAPF de IVP revelou a influência bem marcada da reflectância do solo. Deve-se à baixa densidade do castanheiro instalado em soutos e à ausência de vegetação no sob-coberto. Contudo, apesar da condição de solo nu na maior parte dos povoamentos, observam-se nas imagens variações na tonalidade dos solos, consoante a natureza da rocha mãe, sua textura, teor de água e de matéria orgânica.

A grande influência do solo dificulta a utilização do *NDVI* para detecção de árvores jovens ou para a identificação de árvores com maior transparência de copa (classes de estrago 3 e 4). Por outro lado, com a utilização do Índice de Vegetação Perpendicular (*PVI<sub>1</sub>*), proposto por Perry e Lautenschlager (1984), a discriminação visual dos castanheiros mais afectados é melhor.

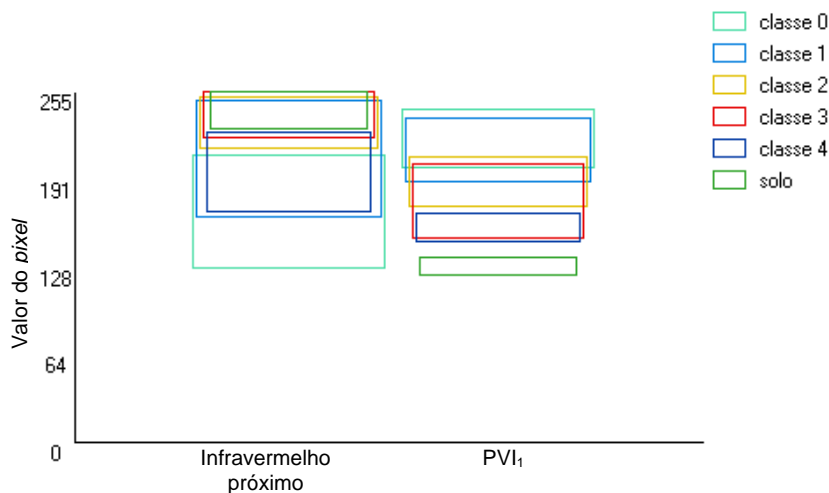
A transformação faz a discriminação dos *pixels* relativos ao solo mas também de castanheiros com diferentes estados fisiológicos e fitossanitários. Assim, os *pixels* de solo mais húmido encontram-se junto à recta de regressão, próximo da sua origem e os *pixels* de solo mais seco (mais brilhante), no extremo da mesma recta (Figura 3).

As imagens obtidas por transformação algébrica (*PVI<sub>1</sub>*) serviram para delimitar os polígonos correspondentes às *áreas de treino*. Os histogramas das 4 primeiras classes de estrago e do solo situavam-se próximo da distribuição normal. No entanto, não foi possível definir a distribuição próxima da normal para as árvores mortas devido à grande variabilidade da informação digital neste nível e à inclusão de valores relativos às sombras das árvores. Mais tarde isso cria constrangimentos à *classificação assistida* pela inclusão áreas de sombra (*pixels* escuros) na classe de estrago 4 (árvore morta).



**Figura 3.** Recta de regressão entre os pixeis da banda IVP e V, correspondentes à FAPF de IVP, onde se insere a parcela 56 (Coef. determinação = 77.62%).

Assim, com excepção das árvores mortas o índice de vegetação  $PVI_1$  é o mais favorável à separação das assinaturas espectrais das classes estabelecidas (5 de sanidade + 1 solo nu). O algoritmo faz, sobretudo, a melhor distinção entre o solo e as árvores das classes 0 a 3, devido ao comportamento da reflectância do solo mobilizado, que caracteriza a maior parte dos soutos. O solo tem maior reflectância na banda do vermelho do que a vegetação (mesmo de castanheiros afectados). Isso pode ser constatado na Figura 4, com representação da separação das várias assinaturas na banda do infravermelho próximo e através do  $PVI_1$ .

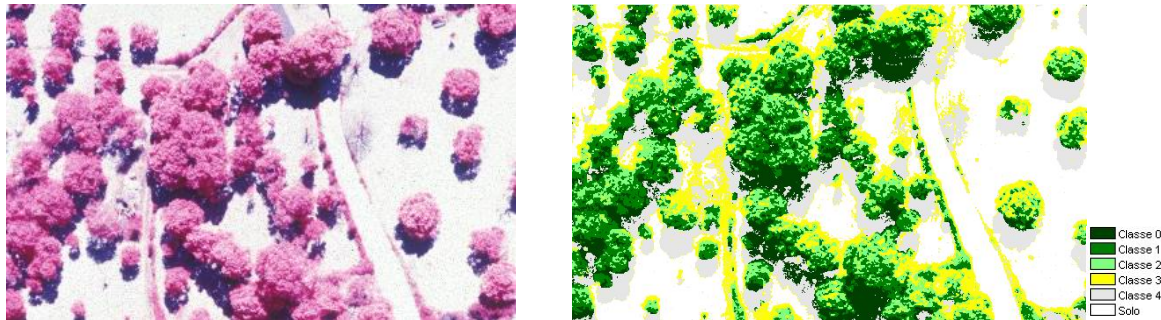


**Figura 4.** Assinatura espectral de 5 classes de estrago na banda de infravermelho próximo e no índice de vegetação  $PVI_1$ .

Verificou-se ainda que o *classificador de máxima verosimilhança* possibilita a adequada separação das classes consideradas, pela comparação da classificação visual através do índice  $PVI_1$ , com a observação de 63 árvores no campo. Nesta comparação, o coeficiente de concordância k (D'Hainault, 1992) foi 0.93, garantindo uma boa relação entre avaliações.



Um exemplo do resultado da classificação é apresentado na Figura 4. Na figura a imagem é ajustada a um conjunto de cores, cujo padrão é o utilizado em todas as restantes.



**Figura 4.** À esquerda, imagem IVP; à direita, a mesma imagem classificada com os pixels classificados em 6 grupos (0-4 = classes de estrago + solo).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRO 179. 2005. Detecção remota da doença da tinta e cadastro da área de castanheiro na Terra Fria de Bragança e Padrela por fotografia aérea de infravermelho próximo. Programa AGRO, Medida 8, Acção 8.1, Relatório Final, Vila Real, UTAD, 73 p.
- Ashburn, P. 1978. The vegetative index number and crop identification, *The LACIE Symposium Proceedings of the Technical Session*, 843-850.
- Bannari, A., A. R. Huete, D. Morin and A. Zagolski. 1996. Effets de la Couleur et de la Brillance du Sol Sur les Indices de Végétation. *International Journal of Remote Sensing* **17**(10): 1885-1906.
- D' Hainaut, L. 1992. Conceitos e métodos da estatística. Volume II, Fundação Calouste Gulbenkian, 114 pp.
- Eastman, J. R. 2001. IDRISI Guide to GIS and Image Processing. Vol. 2, Clark University, IDRISI 32 Release Two, 144 pp.
- Jensen, J. R. 1996. Introductory digital image processing. Prentice Hall, New Jersey, 318 pp.
- Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 2000. Remote sensing and image interpretation. John Wiley and Sons, Inc., Fourth Edition, New York, 725 pp.
- Martins, L. M. 2004. Monitorização da doença da tinta do castanheiro com fotografia aérea de pequeno formato. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 247 p.
- Meyer, P., K. Staenz and K. I. Itten. 1996. Semi-automated procedures for tree species identification in high spatial resolution data from digitized colour infrared-aerial photography. *Photogrammetry and Remote Sensing* **51**: 5-16.
- Perry, C. Jr. and L. F. Lautenschlager. 1984. Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices. *Remote Sensing and the Environment* **14**: 169-182.
- Qi, J., A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr and S. Sorooshian. 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sensing and the Environment* **48**: 119-126.
- Richards, J. A. 1986. Remote sensing digital image analysis. Springer, Berlin, 280 pp.
- Richards, J. A. and X. Jia. 1998. Remote sensing digital image analysis. Springer, Berlin, 363 pp.

- Richardson, A. J. and C. L. Wiegand. 1977. Distinguishing Vegetation From Soil Background Information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **43** (12): 1541-1552.
- Rodrigues, M. T. C. 1999. Detecção remota por satélite de matos mediterrânicos de cistáceas. Tese de Doutoramento em Ciências do Ambiente, UNL – FCT, Lisboa, 167 pp.
- Rouse, J. W. Jr., R. H. Haas, D. W. Deering, J. A. Schell and J. C. Harlan. 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. *NASA/GSFC Type III Final Report*, Greenbelt, MD., 371.
- Thiam, A. and J. R. Eastman. 2001. Vegetation indices. *In: IDRISI Guide to GIS and Image Processing*. Vol. 2, Clark University, IDRISI 32 Release Two, pp. 89-101.