
Avaliação das potencialidades de técnicas de detecção remota como suporte à cartografia geológica na região central de Portugal.

Evaluation of remote sensing techniques potentialities as support to geological cartography in central Portugal zone.

TERESA J. L. RABAÇA – trabaca@amb.estv.ipv.pt (Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Viseu, Portugal)

LUÍS N. CONDE – lconde@ci.uc.pt (Dep. de Ciências da Terra, Univ. de Coimbra, Coimbra, Portugal)

ANTÓNIO F. F. PINTO – Dep. de Ciências da Terra, Univ. de Coimbra, Coimbra, Portugal

ALCIDES J. S. C. PEREIRA – apereira@dct.uc.pt (Dep. de Ciências da Terra, Univ. de Coimbra, Coimbra, Portugal)

Resumo: A caracterização espectral, através da aplicação de técnicas de detecção remota a imagens Landsat TM, dos materiais aflorantes numa região do centro de Portugal (Penamacor-Idanha-a-Nova), de geologia previamente conhecida, permitiu individualizar as principais unidades litológicas e os alinhamentos estruturais de maior vulto. Tendo em vista a caracterização litológica, consideraram-se técnicas de realce, transformação e classificação: composições coloridas, quocientes, filtros, transformadas (como sejam a análise em componentes principais, a HSI e a “Tasseled Cap”) e vários classificadores assistidos. As técnicas utilizadas mostraram-se particularmente eficazes na discriminação das rochas granitóides e menos eficientes na individualização de unidades nas rochas metassedimentares. Os principais alinhamentos estruturais foram reconhecidos após aplicação de filtros direccionais.

As técnicas da detecção remota utilizadas no presente trabalho revelaram ser uma mais valia no apoio aos trabalhos de reconhecimento geológico. As maiores limitações à utilização generalizada deste tipo de imagens na cartografia geológica residem na fraca resolução espacial e espectral destas imagens assim como na densidade da cobertura vegetal.

Palavras-Chave: Detecção remota, Landsat, composição colorida, transformada, classificação digital, cartografia geológica.

Abstract: The spectral characterization, through the application of remote sensing techniques to Landsat TM images, of outcropping materials in central Portugal area (Penamacor-Idanha-a-Nova), geologically well-known, allowed to individualize the main lithological units and the largest structural alignments. To the lithological characterization, enhanced, transformation and classification techniques were considered: colour compositions, ratios, filters, transforms (like PCA, HSI and "Tasseled Cap") and several supervised classifiers. These techniques were particularly effective in the discrimination of the granitic rocks and less efficient in the individualization of sub-units in the met sedimentary rocks. The main structural alignments were recognized by application of directional filters.

The remote sensing techniques used in the present work revealed to be useful as support to the geological field works. The largest limitations to the generalized utilization of this images to the geological cartography is them weak spatial and spectral resolution as well as in the vegetation covering density.

Keywords: Remote sensing, Landsat, colour composition, transform, digital classification, geological cartography.

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUCTION

As técnicas de detecção remota têm vindo a ganhar importância nas mais variadas áreas do saber, nomeadamente no âmbito das geociências. O comportamento espectral dos materiais expostos na crosta terrestre é hoje um conhecimento adquirido (e.g. Hunt, 1970,1974, 1976a,b; Goetz, 1981, 1983; Garcia, 1994). Este facto tem motivado uma cada vez maior aplicação das técnicas de processamento de imagens a problemas geológicos, permitindo a aquisição rápida de informação passível de aplicação ao reconhecimento geológico de uma região (e.g. Fraser, 1991; Wester, 1992; Rigol, 1998). No entanto, é também reconhecido que estas técnicas apresentam algumas limitações para este tipo de aplicações as quais se relacionam, em particular, com a resolução espacial das imagens disponíveis, em geral reduzida para permitir a realização de trabalhos de pormenor, e também com as dificuldades de interpretação em áreas com densa cobertura vegetal.

Este trabalho tem como objectivo testar a aplicabilidade de algumas técnicas de detecção remota à cartografia geológica. Para o efeito utilizaram-se imagens de satélite do tipo Landsat Thematic Mapper e cartografia geológica elaborada com suporte nos métodos tradicionais e referente a um sector da região central de Portugal (região de Penamacor – Idanha-a-Nova).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2. MATERIALS AND METHODS

A cartografia geológica foi elaborada com suporte em informação topográfica à escala 1: 25 000 (Pinto et al., 2000) e sintetiza-se na figura 1. A área sobre a qual incide o presente trabalho localiza-se na unidade estrutural portuguesa designada por zona Centro-Ibérica. Encontra-se limitada a NW pela Cordilheira Central, a SE pela escarpa de falha de Idanha e é, normalmente, designada por “superfície de Castelo Branco”. As cotas desta superfície aplanada rodam os 400 metros evidenciando-se nela alguns relevos salientes como são o caso de Monsanto e Penha Garcia.

Emergem, nesta região, maciços graníticos intrusivos em materiais do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG). Destacam-se os granitos de Penamacor-Monsanto, de Castelo Branco, Idanha-a-Nova e Gardunha e do Fundão (Fig. 1). O CXG, corresponde a uma série litológica possante e diferenciável, na qual assentam discordantemente rochas de idade ordovícica. Estas são maioritariamente constituídas por quartzitos dobrados em sinclinal, com direcção dominante N60°W. Ainda se devem referir os sedimentos terciários aflorantes a SE da região (Fig. 1) tradicionalmente designados como Arcoses da Beira Baixa.

Os dados da detecção remota consistiram em imagens sazonalmente distintas (de Verão e Inverno, obtidas a 19 de Julho de 1997 e 12 de Dezembro de 1992, respectivamente) correspondentes a dados radiométricos provenientes do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat 5 (Tabela 1). A região em estudo corresponde a uma pequena área das imagens disponíveis, pelo que se considerou uma imagem parcial sobre a qual incidiram as técnicas de processamento (Fig. 2). Para o tratamento digital da mesma, envolvendo importação, edição, melhoramento, transformação e classificação, utilizou-se o software de processamento ER Mapper®.

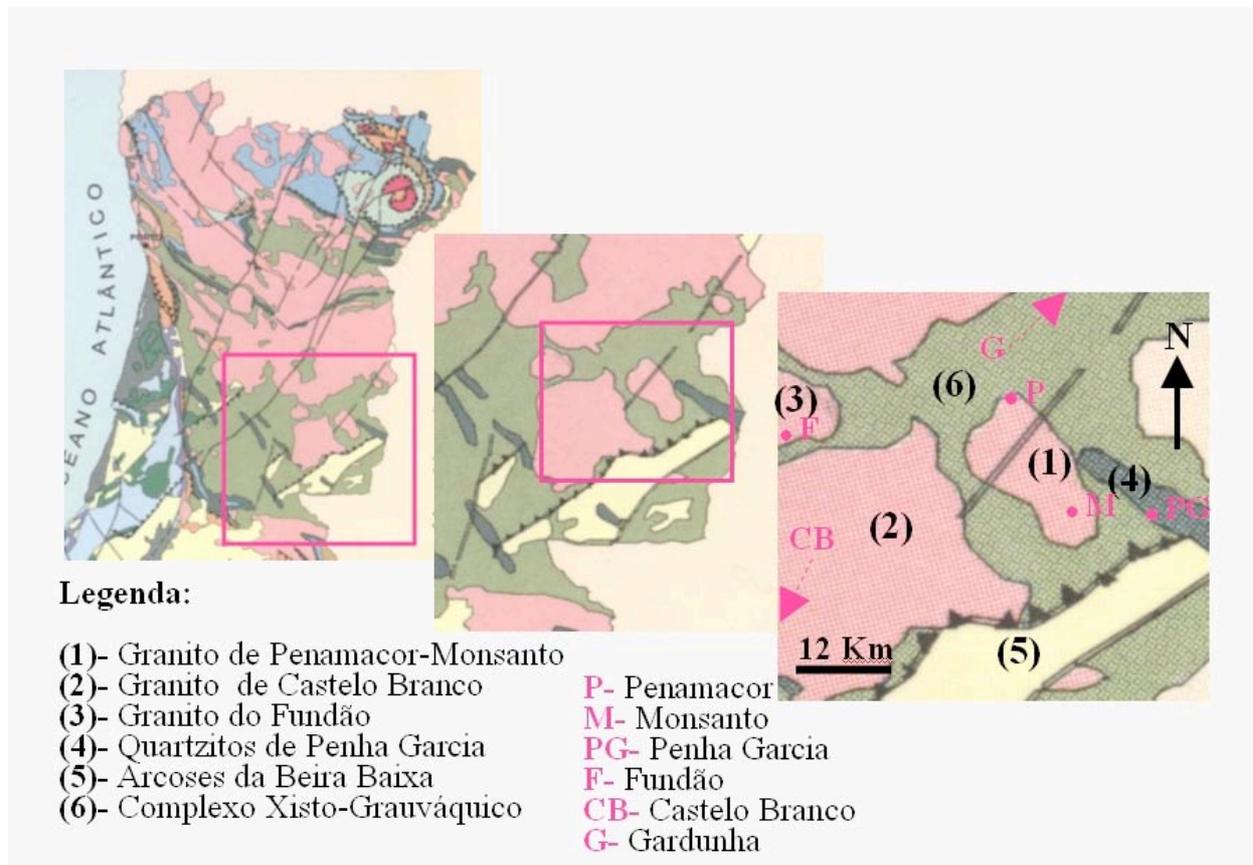


Figura 1 – Enquadramento geológico da região em estudo.
 Figure 1 – Geological context of the study area.

Satélite	Sensor	Bandas	Resolução espectral	Resolução espacial
Landsat 5	TM	TM1	0.45-0.52 μm	30 m
		TM2	0.52-0.60 μm	30 m
		TM3	0.63-0.69 μm	30 m
		TM4	0.76-0.90 μm	30 m
		TM5	1.55-1.75 μm	30 m
		TM6	10.4-12.50 μm	120 m
		TM7	2.08-2.35 μm	30 m

Tabela1 - Caracterização das bandas do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat5.
 Table 1 - Bands characterisation of the Thematic Mapper sensor of the Landsat 5 satellite.

A primeira fase do trabalho consistiu na exploração dos dados radiométricos originais por aplicação de técnicas de processamento unibanda, entre as quais se destacam as técnicas de realce por manipulação do histograma da imagem, por expansão linear, equalização, saturação, expansão gaussiana, expansão logarítmica ou expansão exponencial.

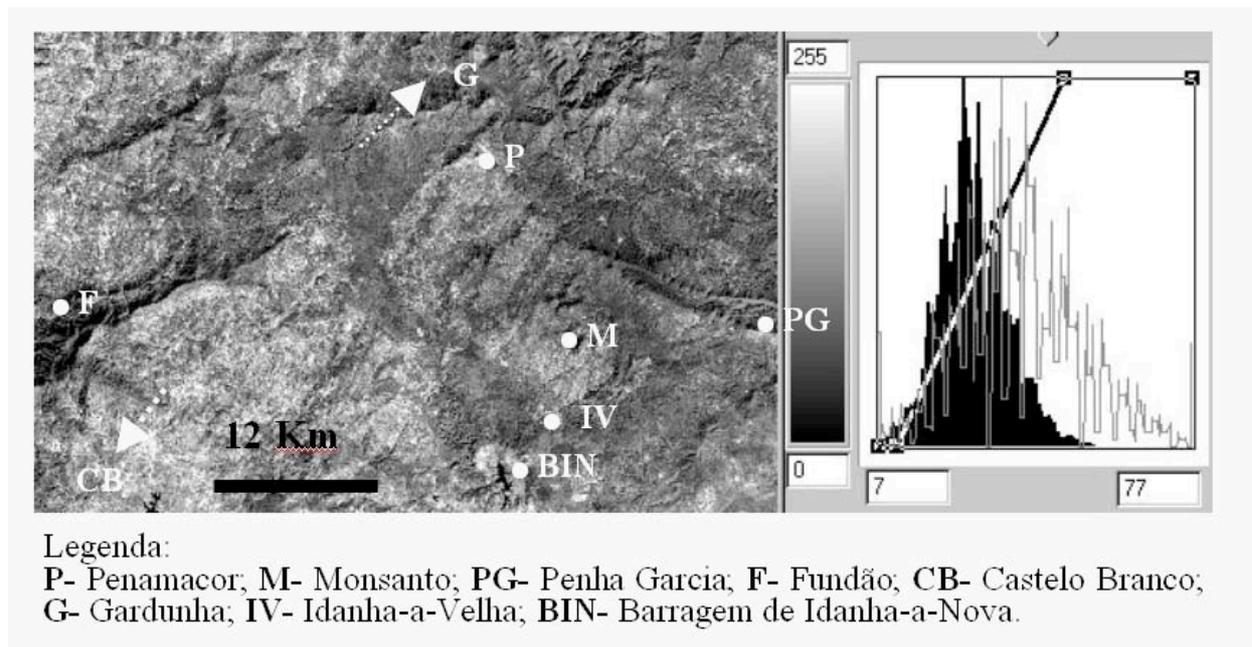


Figura 2 – Imagem parcial individualizada a partir da banda TM5 da imagem de Inverno, contrastada por expansão linear.

Figure 2 – Partial image from TM5 band (winter image), treated with linear contrast stretch.

A utilização de filtros (técnica unibanda) teve como objectivo o realce de pormenores dificilmente observáveis na imagem original. Utilizaram-se particularmente filtros direccionais com o objectivo de mapear as principais estruturas da região.

No âmbito das técnicas de processamento multibanda foram utilizadas as técnicas RGB, a análise em componentes principais, a transformada HSI, a transformada “Tasseled Cap” e diversos quocientes. A composição colorida RGB aplicou-se ao maior número de bandas possível, de Verão e Inverno. Consideraram-se ainda as imagens falsa-cor (RGB432) e composições normalmente utilizadas no domínio geológico (RGB541, RGB542, RGB741, RGB742, RGB754; Rabaça, 2001).

A análise em componentes principais foi levada a cabo considerando a totalidade das bandas (excepto a banda TM6, com resolução espacial distinta). As três componentes principais obtidas foram conjugadas numa composição colorida RGB PC1, PC2, PC3.

A transformada HSI foi utilizada com o intuito de reduzir o efeito espectral da vegetação no comportamento espectral do substrato rochoso. Foi aplicada às composições coloridas RGB432 e RGB751, devido ao facto de estas exporem de forma mais expressiva o comportamento espectral “tinta”, “saturação” e “intensidade”.

A transformada “Tasseled Cap” foi obtida por utilização de todas as bandas espectrais da imagem permitindo a obtenção de novas imagens onde se encontram representados os factores “brilho”, “verde” e “humidade”.

Para além disso, foram considerados os quocientes correspondentes ao índice de argila, ao índice de óxidos de ferro e aos índices de vegetação RVI (“ratio vegetation index”) e DVI (“difference vegetation index”), com o objectivo de filtrar os efeitos da topografia na distribuição da radiação incidente, salientar aspectos mineralógicos e aspectos relacionados com a vegetação.

Efectuaram-se ainda diferentes ensaios de classificação digital, utilizando classificadores automáticos baseados em diferentes regras funcionais: classificador de paralelepípedo, de máxima verosimilhança e de mínima distância.

As técnicas utilizadas encontram-se devidamente descritas em diversos manuais da especialidade. (e.g. Gupta, 1991; Sabins, 1996; Chuvieco, 1996).

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

3. RESULTS: PRESENTATION AND DISCUSSION

O potencial das técnicas de datação remota utilizadas no presente trabalho ao reconhecimento geológico da região foi aferido com base na sua capacidade em individualizar as diferentes litologias identificadas no terreno bem como das principais fracturas que intersectam essas mesmas litologias.

3.1 Individualização de litologias

Os primeiros resultados corresponderam a imagens originais contrastadas (Fig. 2), onde se pode observar com bastante nitidez o contacto entre as intrusões graníticas de Penamacor, Castelo Branco e Fundão (com tonalidades de cinzento claro) e o Complexo Xisto-Grauváquico (com tonalidades de cinzento escuro); compare-se a Fig. 2 com zona destacada na Fig. 1.

As diferentes tonalidades na escala de cinzentos correspondentes às diferentes classes de valores radiométricos permitem também observar uma diferenciação composicional no interior dos corpos ígneos, nomeadamente no extremo SW do plutonito de Penamacor e na região central e SE do granito de Castelo Branco (com tonalidades de cinzento ainda mais claro). Além da diferença composicional, e considerando apenas a manipulação do contraste das imagens é notória a expressão das principais estruturas geológicas da região (Fig. 2): a crista quartzítica de Penha Garcia (a SE da imagem), as fracturas com orientação NE-SW (em conformidade com a carta geológica).

As composições coloridas apresentadas nas figuras 3 e 4 salientam os aspectos referidos anteriormente e introduzem, de forma mais veemente, a influência espectral da vegetação. A cobertura vegetal assume um papel relevante na análise geológica de imagens de satélite por constituir uma camuflagem natural aos aspectos pedológicos, litológicos e estruturais. É pois essencial considerar a sua influência em acções de manipulação, interpretação e classificação dos dados (Siegal, 1977; Labrandero, 1993).

As imagens falsa-cor de Verão e Inverno (figuras 3a e 3b), permitem, através da utilização da banda TM4, pico de reflectância espectral da vegetação, uma análise clara no que diz respeito à distribuição espacial da cobertura vegetal em toda a região de estudo. Esta é predominantemente povoada por vegetação rasteira, sendo mais densa nas bordaduras NW do Granito de Castelo Branco e SE do Granito do Fundão e na zona envolvente à barragem de Idanha-a-Nova. Também existe cobertura arbórea nomeadamente ao longo de toda a crista quartzítica de Penha-Garcia, nos terrenos xistosos a Norte de Penamacor e na Serra da Malcata (toda a região NE da imagem). Esta informação é reforçada pela obtenção de outras composições coloridas como as RGB541, RGB542 e RGB742 (figuras 3c, 3d e 3e, respectivamente).

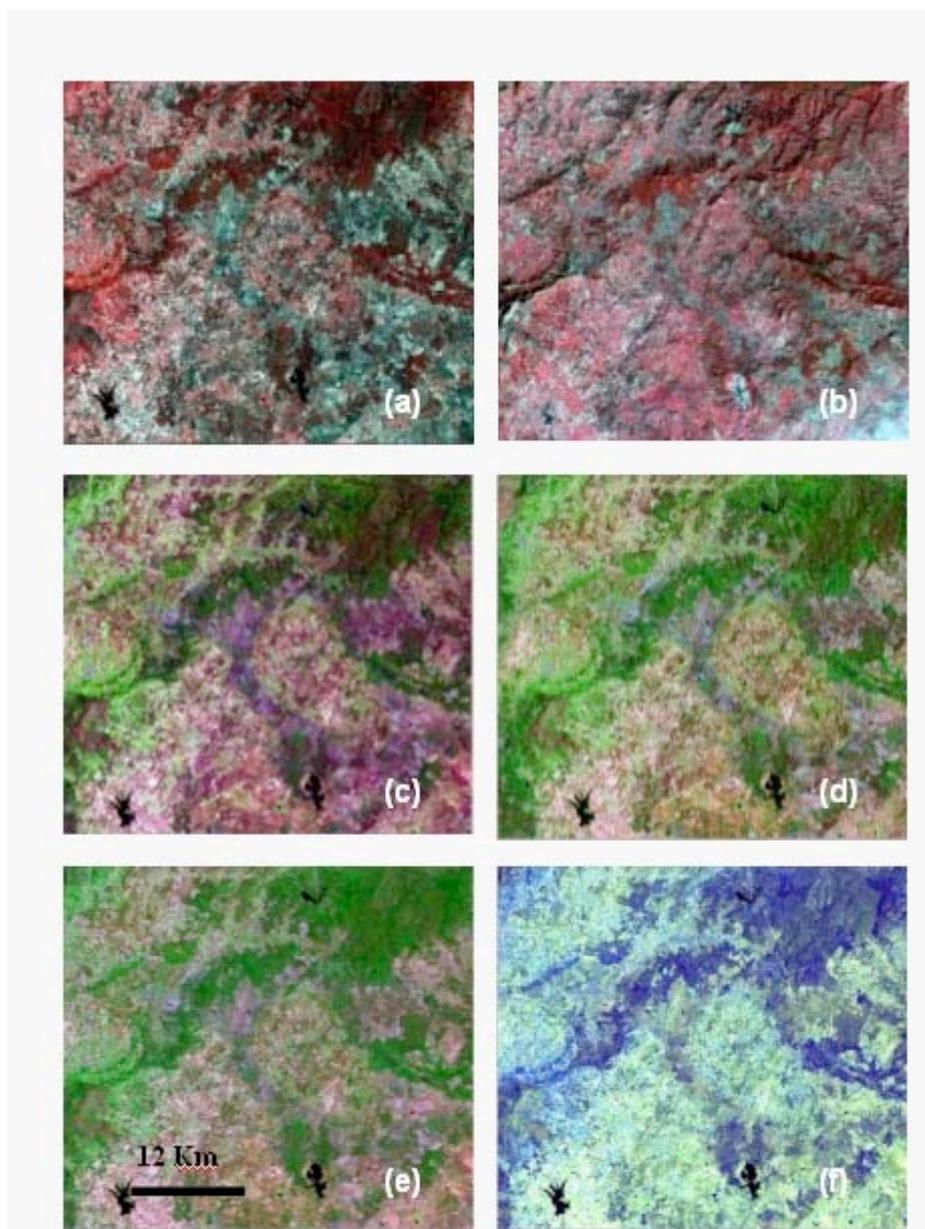


Figura 3 – Composições coloridas RGB432 Verão (a) e Inverno (b) linearmente contrastadas; RGB541 V, linearmente contrastadas (c), RGB542 V, contrastadas por expansão linear (TM5) e distensão gaussiana (d); RGB742 V, contrastadas por “level slice” (TM4) e expansão linear (e) e RGB754 V com contraste por expansão linear (f).

Figure 3 – Colour compositions RGB432 Summer (a) and Winter (b) with linear contrast stretch, RGB541 S (c) with linear contrast stretch, RGB542 S (d) with linear contrast stretch (TM5) and with gaussian contrast stretch, RGB742 S with “level slice” contrast (TM4) and with linear contrast stretch (e) and RGB754 S with linear contrast stretch (f).

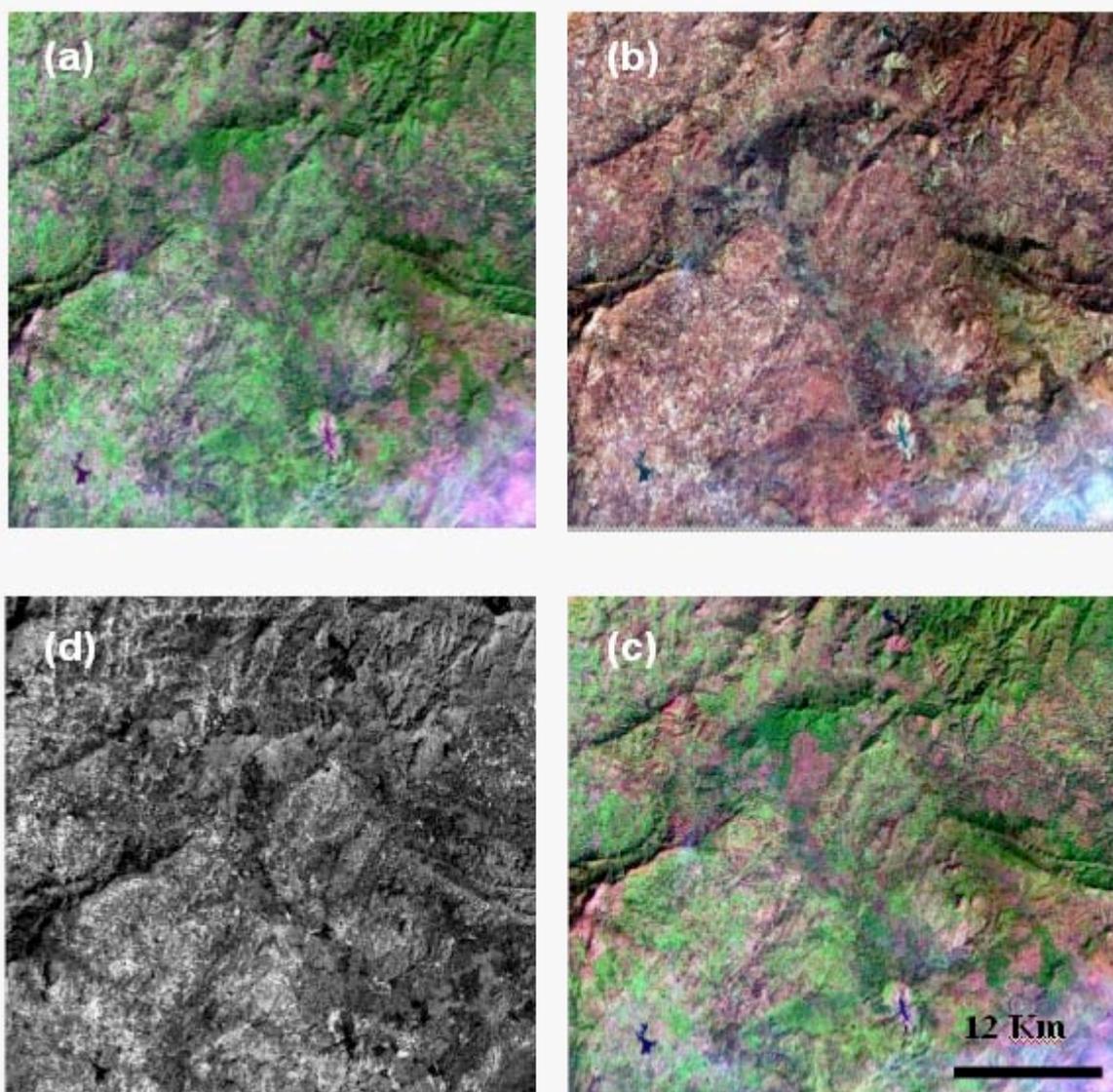


Figura 4 – Composições coloridas RGB341 I contrastadas linearmente (a), RGB531 I contrastadas linearmente (b), RGB741 I linearmente contrastadas (c) e DVI (Inverno) (d).

Figure 4 – Colour compositions RGB341 Winter, with linear contrast stretch (a), RGB531 W with linear contrast stretch (b), RGB741 W with linear contrast stretch (c) and DVI (winter) (d).

As composições coloridas RGB mostram ser de interesse significativo quanto à caracterização litológica, nomeadamente no que respeita à presença de quartzo nas rochas. Nesse sentido, podem observar-se as composições coloridas RGB apresentadas na figura 3. Excluindo em zonas muito vegetadas, podem delimitar-se as intrusões graníticas no seio do CXG, assim como a cobertura arcósica, a SE da imagem.

As mesmas composições RGB aplicadas às imagens de Inverno revelam ser menos eficazes na caracterização litológica mas mais expressivas no que diz respeito à caracterização estrutural da região (Fig. 4). Este facto deve-se ao incremento do efeito de sombra provocado pela diminuição do ângulo de incidência da luz solar nesta época do ano. Destacam-se as fracturas de orientação NE-SW assim como a crista quartzítica de Penha Garcia.

Os quocientes utilizados demonstraram ser de fraca eficiência na caracterização geológica da região, à escala considerada. Exclui-se o caso do índice de vegetação DVI obtido pela diferença da imagem correspondente ao intervalo espectral do infravermelho e o domínio espectral correspondente ao vermelho, considerando a imagem de Inverno (Fig. 4d), por ter uma forte expressão relativamente à distribuição espacial das principais unidades litológicas.

Foram obtidos bons resultados na aplicação de transformadas como a análise em componentes principais, HSI e “Tasseled Cap”. No primeiro caso, e por observação directa das imagens correspondentes aos diferentes componentes principais obtidos através do cruzamento da totalidade das bandas (exceptuando a banda TM6, com diferente resolução espacial), é a segunda componente principal que reúne a grande parte da resposta espectral dos corpos graníticos (Fig. 5a), constituindo, só por si uma espécie de imagem classificada.

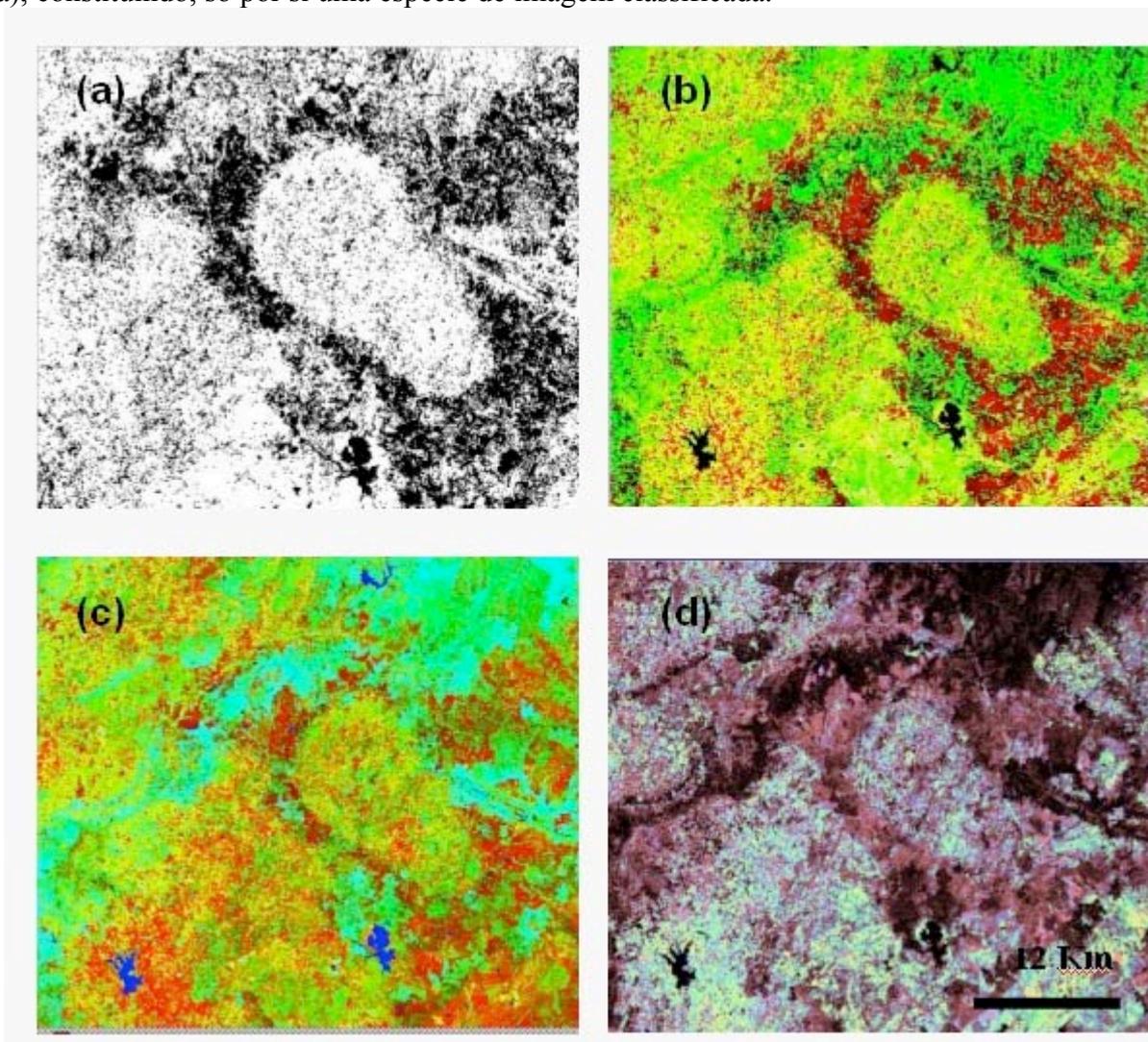


Figura 5 – Segunda componente principal obtida a partir das bandas TM1,2,3,4,5e 7 da imagem de Verão (a), composição colorida obtida pelo método RGB com utilização das três primeiras componentes principais das bandas TM1,2,3,4,5e 7 (b), composição colorida da transformada “Tasseled Cap”, pelo método RGB (factor brilho, verde e humidade expandidos por equalização) (c), composição colorida HSI a partir da composição RGB751 (d).

Figure 5 – Second principal component obtained by TM1,2,3,4,5e 7 bands (summer image) (a), colour composition obtained by RGB method (use of the three first principal components of TM1,2,3,4,5 and 7 bands) (b), colour composition of “Tasseled Cap” transform by RGB method (brightness, greenness and wetness functions stretched by equalisation) (c), colour composition HSI from RGB751 composition (d).

Não se trata, contudo, de uma classificação totalmente eficiente devido à interferência dos valores espectrais da vegetação. A distribuição da cobertura vegetal e os limites das intrusões graníticas ficam perfeitamente definidas quando é considerada a composição colorida RGB PC1, PC2, PC3. A imagem resultante (Fig. 5b) corresponde praticamente a uma imagem classificada em que as litologias de composição mais ácida (rochas graníticas, quartzíticas e arcósicas) aparecem a amarelo, a vegetação a verde e a envolvente xistosa a vermelho.

Os resultados da aplicação da transformada “Tasseled Cap” mostraram vantagem sobretudo no estudo da distribuição da cobertura vegetal, nomeadamente pela análise dos factores “verde” e “humidade”. Estes ficam perfeitamente retratados utilizando o factor “cor” através da aplicação da transformada RGB brilho, verde e humidade (Fig. 5c).

As imagens obtidas a partir da aplicação da transformada HSI às composições coloridas RGB432 e RGB751 resultam numa atenuação do efeito de camuflagem da vegetação, sobretudo a correspondente ao factor intensidade da transformada HSI da composição RGB432. Esta transformada torna-se particularmente útil na diferenciação interna dos corpos graníticos, como no caso do granito de Penamacor-Monsanto, evidenciando zonamentos composicionais, nomeadamente quando se considera a composição colorida HSI a partir da composição colorida RGB751 (Fig. 5d).

A classificação digital foi o passo que se julgou lógico na evolução deste estudo e, para tal, consideraram-se as imagens originais. Tendo conhecimento efectivo da cartografia geológica da região, optou-se pela aplicação de uma classificação supervisionada, com utilização de zonas de treino. Estas foram definidas de forma gráfica, por exigência do “software”. Para o efeito foram consideradas a totalidade das imagens de Verão (com menor densidade de vegetação). A classificação consiste na atribuição de um valor, correspondente a uma classe, a cada um dos pixels da imagem, conforme a proximidade entre o seu valor radiométrico e ao intervalo de valores radiométricos correspondentes às classes definidas na fase de treino.

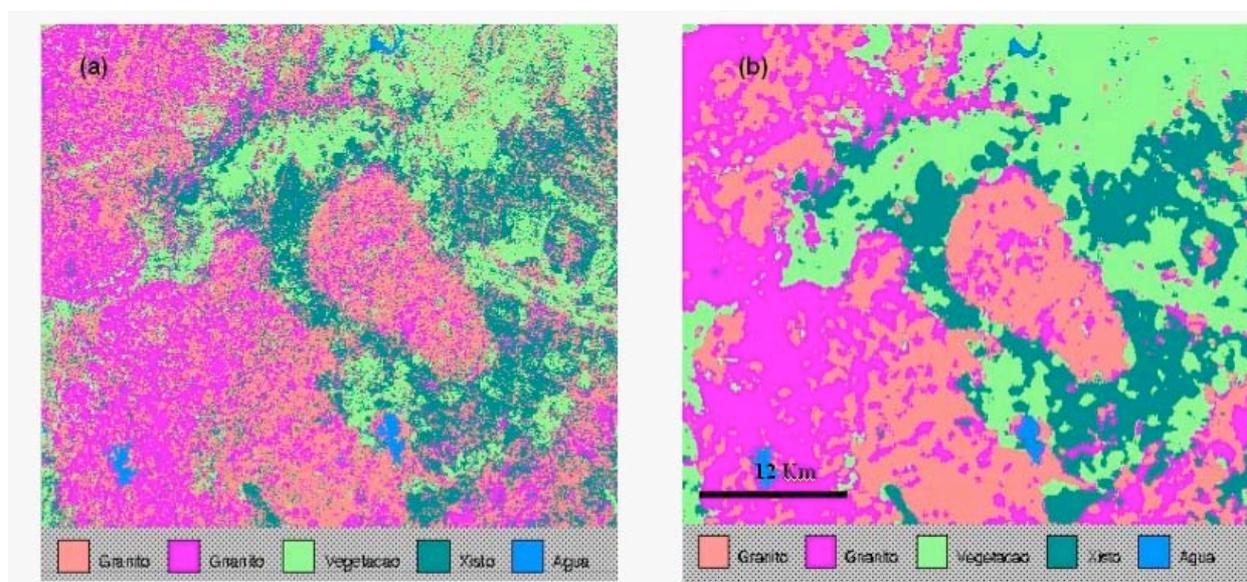


Figura 6 – Classificação supervisionada das bandas Landsat TM, em cinco classes, pelo método da máxima verosimilhança (a) com aplicação de um filtro 5x5 (b).

Figure 6 – Supervised classification of Landsat TM bands, in five classes, by the maximum likelihood method (a) with application of a 5x5 filter (b).

Na figura 6a é apresentado um dos melhores resultados de classificação obtidos, sem que fosse desprezada a cobertura vegetal. As melhores classificações foram obtidas quando consideradas a totalidade das bandas espectrais. Os melhores resultados implicam, portanto, a utilização do maior número possível de dados radiométricos. Para a aplicação em questão, o classificador de máxima verosimilhança mostrou ser o mais eficiente na delimitação dos diferentes corpos litológicos e na sua diferenciação. O número de classes considerado na classificação é um factor que pode condicionar os resultados.

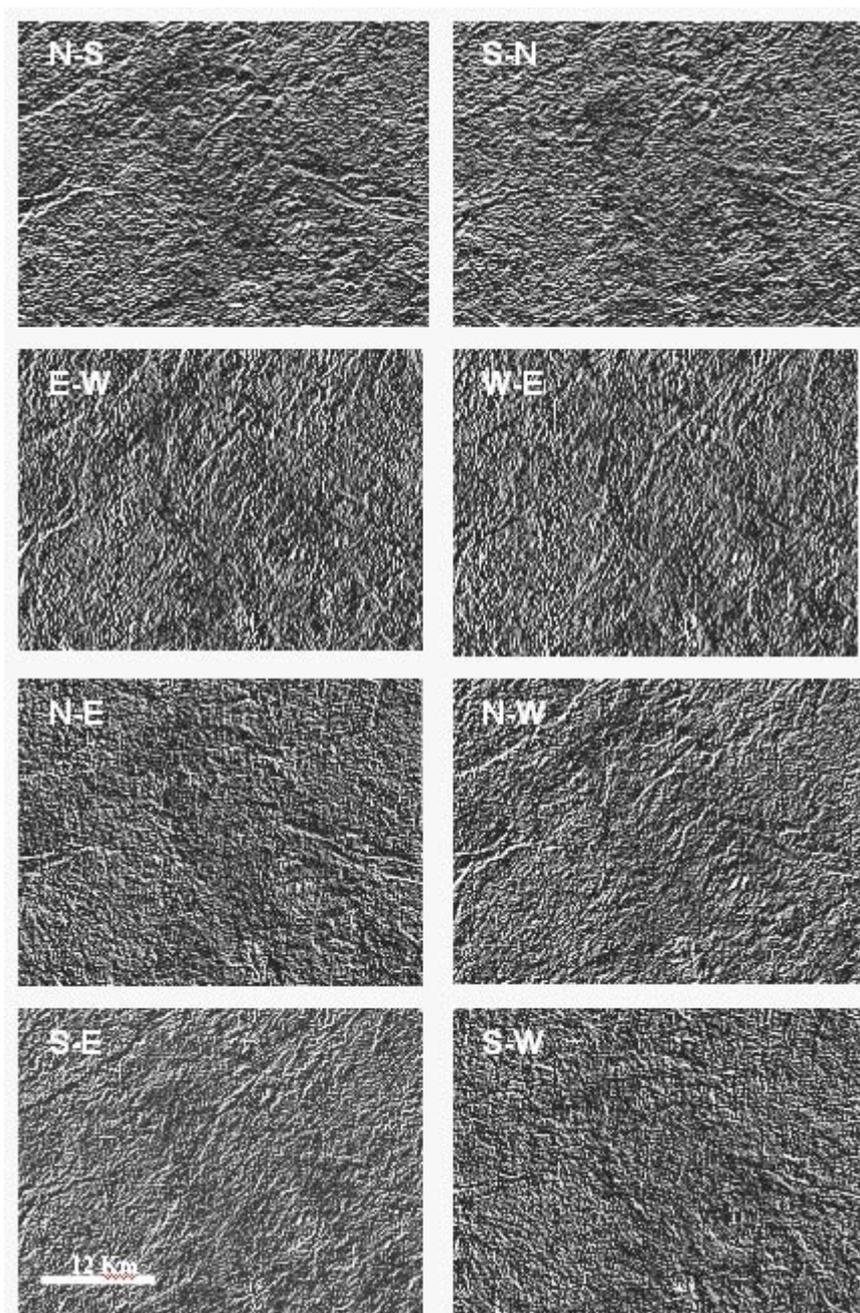


Figura 7 – Aplicação de filtros direccionais (N-S, S-N, E-W, W-E, N-E, S-E, N-W e S-W) sobre a banda TM5 da imagem de Inverno.

Figure 7 – Application of directional filters (N-S, S-N, E-W, W-E, N-E, S-E, N-W and S-W) to TM5 band of winter image.

Um incremento no número de classes possibilita a avaliação de um maior número de detalhes como é o caso do zonamento interno dos corpos graníticos. Por uma questão de melhoria na visualização de conjunto são apresentadas imagens filtradas, por utilização de um filtro 5×5, e consequente aglomeração de pixeis isoladamente classificados (Fig. 6b). Esta aplicação permite um mapeamento mais eficaz com a linearização dos contornos das diferentes classes consideradas.

3.2 Avaliação dos principais alinhamentos estruturais

Da aplicação de filtros direccionais à imagem de Inverno, ressaltam as principais estruturas do tipo fractura, existentes na região, segundo as direcções e sentidos de realce dos diferentes filtros.

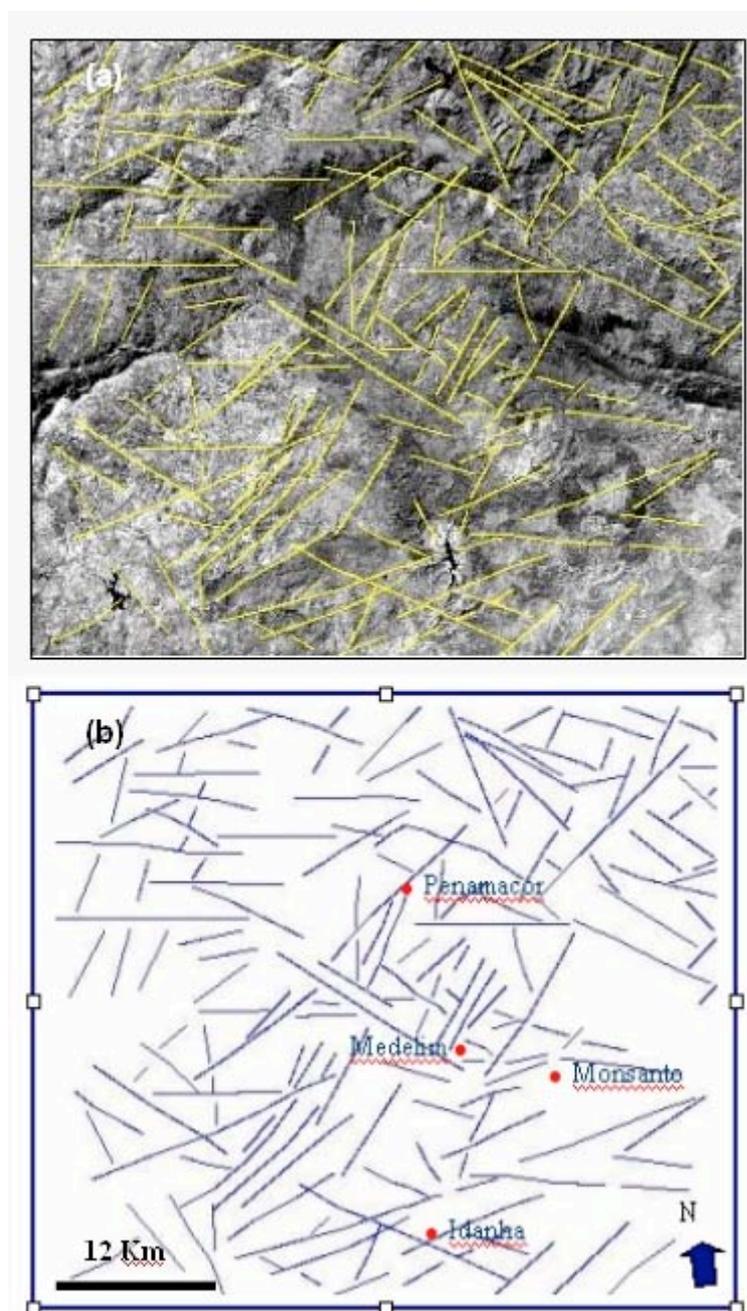


Figura 8 – Principais falhas da região de Penamacor-Idanha sobre a banda TM5 da imagem de Inverno (a); proposta cartográfica (b) (Rabaça, 2001).

Figure 8 – Main fractures of Penamacor-Idanha region on TM5 band of winter image (a); cartographic proposal (b).

Esta aplicação tornou-se especialmente eficaz quando considerada a banda espectral TM5 de forma isolada. Tornam-se evidentes os contornos intrusivos por acção de falha e as tendências espaciais de distribuição das fracturas de maior porte (Fig. 7).

A delimitação da crista quartzítica de Penha Garcia é facilmente conseguida utilizando os filtros N-S e N-E. A maioria das grandes fracturas evidencia-se por aplicação dos filtros com direcção E-W, W-E e S-E, fazendo sobressair as direcções preferenciais do padrão de fracturação existente na região. Observam-se ainda alguns pormenores de interesse estrutural como é o caso de auréolas circulares no interior do plutonito de Penamacor, especialmente evidenciadas pelos filtros S-W, N-E e N-W.

À escala considerada, foram marcadas as principais fracturas resultantes da análise da aplicação dos filtros direccionais, das imagens correspondentes a transformadas, a composições coloridas, a quocientes e a bandas espectrais inalteradas, obtendo-se a distribuição espacial representada na figura 8.

Da análise da referida distribuição, destacam-se duas orientações preferenciais: uma, mais frequente, NE-SW, e uma segunda NW-SE (Fig. 9). A análise da distribuição das fracturas por

sub-regiões definidas aleatoriamente não revela alterações relativamente ao comportamento geral.

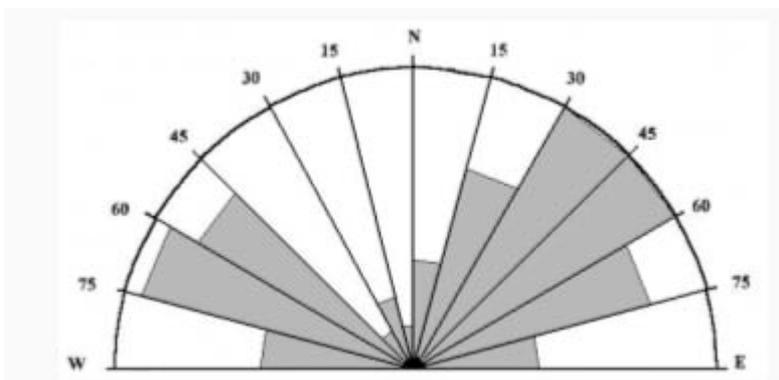


Figura 9 – Representação, em diagrama de roseta, dos principais lineamentos.

Figure 9– Diagram representation of the main lineaments.

4. CONCLUSÕES **4. CONCLUSIONS**

A aplicação de técnicas da detecção remota a imagens Landsat Thematic Mapper de uma região com geologia previamente reconhecida permitiu evidenciar as potencialidades e as limitações destas técnicas na individualização e mapeamento das diferentes unidades líticas aflorantes, bem como na revelação de aspectos estruturais, em particular no que respeita às principais fracturas.

As técnicas utilizadas revelaram-se eficazes na discriminação dos corpos graníticos das rochas envolventes de natureza metassedimentar, assim como no reconhecimento de sub-unidades no interior dos corpos graníticos; pelo contrário, foram menos eficientes na individualização das rochas granitóides dos sedimentos de natureza arcósica ou dos metassedimentos predominantemente quartzíticos, assim como na discriminação de unidades diferenciadas no Complexo Xisto-Grauváquico. Do conjunto de técnicas testadas os melhores resultados foram obtidos a partir das composições coloridas RGB541, RGB741, RGB: PC1, PC2, PC3, do factor “brilho” e “intensidade” da transformada “Tasseled Cap”, do factor “intensidade” da transformada HSI, da PC1 e PC2 da análise de componentes principais e ainda da classificação digital supervisionada.

A aplicação de filtros direccionais permitiu o reconhecimento das principais estruturas do tipo fractura que intersectam as diferentes unidades líticas.

A caracterização litológica mostrou-se mais eficiente por utilização das imagens de Verão devido a uma menor interferência do coberto vegetal e às condições de iluminação, enquanto que a caracterização estrutural se mostrou mais facilitada por utilização das imagens de Inverno, devido à inclinação dos raios solares e ao efeito sombra resultante.

Quando integrada com os dados de campo a informação colhida através do satélite LANDSAT e as técnicas de processamento de imagem ensaiadas no presente trabalho podem constituir, de facto, uma mais valia na caracterização geológica de uma região. A maior limitação prende-se com a resolução espacial e espectral das imagens usadas que não permitem a sua utilização em trabalhos de pormenor.

Agradecimentos / Acknowledgements

Ao Departamento de Ciências da Terra da FCT da Universidade de Coimbra pela cedência de instalações e recursos.

À Rede de Observação da Terra (ROT) do Serviço Nacional de Informação Geográfica (SNIG) pela cedência das imagens de satélite utilizadas.

À Escola Superior de Tecnologia de Viseu, pelo apoio logístico e facilidades concedidas.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto PRAXIS XXI (2/2.1/CTA/81/94).

Referências / References

- Chuvieco E. (1996) - *Fundamentos de Teledetección Espacial*, Tercera edición revisada, ediciones Rialp, S.A., Madrid, 568pp.
- Fraser S.J. (1991) - Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: A Newman case study, *Int. J. Remote Sensing*, **12 (3)**, 635-641.
- García A.R. (1994) - *Reflectancia en Rocas en Función de su Litología y Fábrica Interna*, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 100 pp.
- Goetz A.F.H. & Rowan L.C. (1981) - Geologic Remote Sensing, *Science*, **211**, 781-791.
- Goetz A.F.H., Rock B.N., Rowan L.C. (1983) - Remote Sensing for Exploration: An Overview, *Economic Geology*, **78 (4)**, 573-590.
- Gupta R.P. (1991) - *Remote Sensing Geology*, Springer - Verlag, Berlin Heidelberg, 356 pp.
- Hunt G.R. & Salisbury J.W. (1970) - Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: I Silicate Minerals, *Modern Geology*, **1**, 283-300.
- Hunt G.R., Salisbury J.W., Lenhoff C. J. (1974) - Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: IX. Basic and Ultra basic Igneous Rocks, *Modern Geology*, **5**, 15-22.
- Hunt G.R. & Salisbury J.W. (1976^a) - Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: XI. Sedimentary Rocks, *Modern Geology*, **5**, 211-217.
- Hunt G.R. & Salisbury J.W., (1976^b) - Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: XII. Metamorphic Rocks, *Modern Geology*, **5**, 219-228.
- Labrandero J.L., García M.P., Carlevaris J.J., Lera O. (1993) - Análisis de las interacciones roca-suelo-cobertura superficial en imágenes Landsat TM. *2ª Reunión del Cuaternario Ibérico*, ITGME-AEQUA, Madrid, vol. 2, 889-895.
- Pinto A.F.F., Sousa M.B., Conde, L.E.N., Macedo, C.A.R., Pratas, J.S., Gomes E.M.C., Oliveira J.M.S., Farinha J.A.L., Martins L.P., Rodrigues L.V., Reis M.L.C., Shepherd T.J., Naden J., Matos C.A.A.R., Rachinhas P.R.S., Rabaça T.J.L. (2000) - *Aspectos metalogénicos da região de Castelo Branco: parâmetros controladores das mineralizações e abordagem dos impactes ambientais*, PRAXIS XXI, projecto 2/2.1/CTA/81/94.
- Rabaça T.J.L. (2001) - *Caracterização Geoambiental da região de Penamacor-Idanha por Aplicação de Técnicas de Detecção Remota*, Dissertação para obtenção do grau de mestre, Departamento de Ciências da Terra, FCT, Universidade de Coimbra, 226 pp.
- Rigol J.P. & Chica-Olmo M. (1998) - Merging remote-sensing images for geological-environmental mapping: application to the cabo de Gata-Níjar Natural Park, Spain, *Environmental Geology*, **34**, 194-202.

Sabins F.F. (1996) - *Remote Sensing, principles and interpretation*, W.H.Freeman and company, New York, 494 pp.

Siegal B.S. & Goetz A.F.H. (1977) - Effect of Vegetation on Rock and Soil Type Discrimination, *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, **43 (2)**, 191-196.

Wester K. (1992) - *Spectral signature measurements and image processing for geological remote sensing*, Doctoral dissertation, Department of Physical Geography, Stockholm University, 130 pp.

Recebido em 30-Junho-2004 / Received 30 June 2004

Revisto em 21-Dezembro-2004/ Revised 21 December 2004

Publicado em 30-Dezembro-2004 / Published 30 December 2004