



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY	
CORREÇÃO DO EFEITO DO TERRENO MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO MODELO DIGITAL DE TERRENO		Roberto Pereira da Cunha Diretor Sens. Remoto	
AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR		REVISADA POR / REVISED BY	
Luiz Alberto Vieira Dias		Pedro Hernandez Filho	
DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION		DATA/DATE	
<input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED		Junho, 1989	
CDU/UDC		ORIGEM ORIGIN	
528.711.7:634.0		DPI	
PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO		PROJETO PROJECT	
INPE-4814-RPE/590		FLOVAL	
TÍTULO/TITLE		Nº DE PAG. NO OF PAGES	
RELATÓRIO FINAL DO PROJETO FLOVAL - CORREÇÃO DOS EFEITOS DO RELEVO EM REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTUS		17	
AUTORES/AUTHORSHIP		ULTIMA PAG. LAST PAGE	
Luiz Alberto Vieira Dias - DPI Flávio Jorge Ponzoni - DPA Eni Alvim de Oliveira - CSA David Lee - DPA Maurício Marques Fernandes - IBDF/DF		14	
VERSÃO VERSION		Nº DE MAPAS NO OF MAPS	
RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES			
<p>Se o alvo estiver em uma região horizontal e plana, alvos de mesmas características espectrais terão um mesmo tipo de resposta espectral. Entretanto, se a região tiver relevo movimentado, devido à inclinação do terreno um mesmo alvo vai produzir radiancia diferente. O principal objetivo do PROJETO FLOVAL, foi desenvolver uma metodologia para o mapeamento de áreas reflorestadas em regiões de relevo movimentado, utilizando a análise digital de dados TM do LANDSAT e modelos digitais de terrenos. Para se corrigir o efeito do terreno em imagens de satélite é preciso obter um mapa topográfico do terreno em estudo, na escala adequada; preparar um modelo digital de elevação (MDE) da área em estudo; escolher um modelo de iluminação. Utilizando a informação de inclinação por meio do MDE e usando o modelo de iluminação pode-se corrigir cada pixel (elemento de imagem).</p>			
OBSERVAÇÕES / REMARKS			

ABSTRACT

If the targets are in a plane horizontal region then targets with the same characteristics will produce the same spectral response. However if the targets are located on mountainous terrain, the same targets may produce different spectral response, due to the terrain slope. The PROJECT FLOVAL objective was concerned with the development of a methodology for the mapping of artificial forest areas on mountainous regions, using LANDSAT Thematic Mapper data and Digital Elevation Models (DEM). To correct the relief effect on satellite images it is needed first to obtain a cartographic map of the region; next one should prepare a DEM of the region under study, and choose an illumination model for radiance correction. With the slope information from the DEM and the illumination model, each pixel (picture element) is then radiometric corrected.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>iv</i>
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - <u>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</u>	1
1.2 - <u>OBJETIVOS</u>	2
1.3 - <u>ESTADO DE ARTE</u>	2
2 - <u>DESCRIÇÃO DA ÁREA DE TESTE</u>	3
3 - <u>MODELO DE CORREÇÃO</u>	4
4 - <u>CONCLUSÃO</u>	11
5 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	13

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Área teste, onde aparecem as áreas amostradas para a classificação automática por máxima verossimilhança	07
2 - Resultado da classificação, onde se pode notar as 3 classes, antes da correção do relevo	08
3 - Modelo digital de elevação da região em estudo	09
4 - Os tres canais corrigidos para o efeito do relevo ..	09
5 - Resultado final. Nota-se que a região em estudo está mais uniforme do que a Figura 2, o que indica a redução do efeito do relevo	10

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Os satélites de sensoriamento remoto, especialmente os captados pelo INPE (LANDSAT e SPOT), recebem a energia radiante solar refletida pelo alvo, a radiância, na região do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Se o alvo estiver em uma região plana, alvos de mesmas características espectrais terão um mesmo tipo de resposta espectral, o que possibilita uma identificação automática nas imagens digitais, chamada de classificação. Existem vários métodos de classificação automática, sendo o mais usado o método de máxima verossimilhança (Programa MAXVER).

Usando o MAXVER, por exemplo, é possível calcular com boa aproximação a área plantada com trigo em um determinado município ou mesmo estado, através de imagens de satélite, principalmente porque o trigo é normalmente plantado em áreas planas.

Entretanto, se a região tiver relevo movimentado, devido à inclinação do terreno um mesmo alvo vai produzir radiância diferente, tornando a classificação automática praticamente inútil.

Nos casos de interesse do IBDF, florestas naturais e reflorestamentos, nota-se que esses alvos muitas vezes estão em terrenos não-planos. Obviamente ao IBDF interessa ter um método automático de cálculo das áreas destes tipos de alvos. Por outro, no caso de reflorestamentos, os alvos são relativamente homogêneos o que sugere a escolha destes alvos como áreas de teste para sistemas de classificação automática que levem em conta a inclinação do terreno.

1.2 - OBJETIVOS

O principal objetivo do **PROJETO FLOVAL**, é desenvolver uma metodologia para o mapeamento de áreas reflorestadas em regiões de relevo movimentado, utilizando a análise digital de dados TM do LANDSAT e modelos digitais de terrenos.

A fim de atingir o objetivo acima, a Diretoria de Sensoriamento Remoto do INPE - SRE, por meio de seus departamentos de Processamento de Imagens (DPI) e Pesquisa e Desenvolvimento em Sensoriamento Remoto (DPA) e o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF, juntaram esforços no sentido de testar uma metodologia para corrigir o efeito do relevo antes de se proceder à uma classificação automática das imagens digitais do satélite LANDSAT. O alvo escolhido foi um reflorestamento próximo a Jambeiro, SP.

O objetivo secundário foi disseminar esta técnica por meio de publicações nacionais e internacionais. Pode-se adiantar que ambos os objetivos foram atingidos.

1.3 - ESTADO DA ARTE

Para se corrigir o efeito do terreno em imagens de satélite é preciso obter um mapa topográfico o terreno em estudo, na escala adequada; se não houver, gerar um a partir de fotografias aéreas (foi o caso do **PROJETO FLOVAL**); preparar um modelo digital de elevação (MDE) da área em estudo; escolher um modelo de iluminação; utilizando a informação de inclinação por meio do MDE e usando o modelo de iluminação pode-se corrigir cada pixel (elemento de imagem), de forma que a radiância registrada

na imagem corresponda a um alvo que estivesse em um plano horizontal. Note-se que a área do alvo é a projeção de sua área real no plano horizontal, o que torna a área da região um pouco menor, porém a refletância fica corrigida, para efeito de identificação do alvo.

Este problema não está ainda completamente resolvido, mesmo a nível internacional (ver a bibliografia ao final deste relatório). O PROJETO FLOVAL não chegou ao máximo possível, porém como a nível nacional não haviam estudos neste sentido os progressos alcançados justificam plenamente o esforço dispendido. Nos Capítulos subsequentes será indicado o que falta adicionar para que os resultados sejam iguais aos melhores à nível mundial. Na verdade com a utilização de melhores modelos de iluminação, conhecidos pela equipe do projeto, e com a obtenção de MDE's mais precisos, os resultados obtidos são competitivos a nível mundial. Devido ao pouco tempo disponível e à pequena equipe, optou-se por atingir resultados que pudessem ser aperfeiçoados à medida que dados mais precisos para os MDE's e modelos de iluminação mais sofisticados estiverem disponíveis.

2 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE TESTE

A escolha da área de teste levou em conta os seguintes fatores:

- Alvo em região de relevo movimentado;
- Cobertura homogênea, com árvores de mesma espécie e idade aproximadamente igual;
- Área suficientemente grande para poder ser facilmente discriminada em imagens de satélite;
- Existência de imagem LANDSAT recente;
- Existência de mapas em escala 1:25.000;

- Existência de fotografias aéreas da região;
- Fácil acesso rodoviário;
- Proximidade a São José dos Campos, para minimizar gastos com trabalhos de campo.

Baseado nos critérios acima o Eng. Florestal David Lee selecionou um reflorestamento no município de Jambeiro, SP, a 50 km de S.J.Campos, SP.

Foi feito um voo de reconhecimento, por cortesia do (Centro Técnico Aeroespacial - CTA), obtidas duas imagens LANDSAT, uma no verão e outra no inverno (datas: 9 dez 85 e 6 ago 86), dois trabalhos de campo no local e obtidas fotos aéreas na escala 1:60.000, fotografias estas já existentes no INPE.

Esta área escolhida tem a qualidade de ser a primeira área florestal em latitudes tropicais a ser estudada. Na literatura pesquisada todos os testes foram feitos em florestas de latitude temperada (Estados Unidos, Japão e Canadá). Há notícias de estudos semelhantes na República Popular da China, também em latitudes temperadas, mas não se conseguiu obter a referência ainda.

3 - MODELO DE CORREÇÃO

A idéia geral é corrigir cada pixel da imagem de modo que sua reflexão fosse como se ele estivesse na horizontal. Para tal usa-se um mapa de declividade, reamostrado de modo que cada pixel do mapa corresponda a um pixel da imagem. Este procedimento de reamostragem introduz alguns erros, cuja avaliação preliminar mostrou não ser grande, porém é preciso quantificá-los.

O modelo de iluminação utilizado foi o Lambertiano, que considera que a energia incidente no alvo não depende dos ângulos de incidência e de exitância. Este modelo é relativamente simples, em termos matemáticos, mas como o objetivo do Projeto era avaliar as potencialidades da correção com o mínimo de esforço computacional, optou-se por inicialmente escolher um modelo menos sofisticado. Obviamente é possível usar outros modelos mais completos como o de Gouraud ou o de Phong, o que se espera fazer no futuro.

O LANDSAT oferece 7 canais espectrais, porém para estudos florestais os canais mais indicados são os 3, 4 e 5, que foram os utilizados no Projeto. Esses canais foram classificados automaticamente, pelo classificador de máxima verossimilhança, e o resultado mostrou que era possível identificar 3 classes bastante diferentes para o mesmo alvo. O trabalho de campo confirmou que na região a cobertura vegetal era a mesma. A diferença entre as classes é resultante da diferente inclinação do terreno em cada pixel, conhecido como efeito topográfico.

Conhecendo-se a posição do sol, em relação à normal do terreno, no momento da passagem do satélite, escolhendo-se um modelo de iluminação (o Lambertiano, por exemplo) e a inclinação do solo (obtida através do mapa de declividade que por sua vez é obtido do modelo digital de elevação), é possível corrigir a radiância do alvo. As imagens assim corrigidas são novamente classificadas e a área das diferentes classes novamente medida. A Tabela 1 abaixo mostra o resultado. As classes foram coloridas de cores diferentes, dependendo da inclinação do terreno: azul para inclinações maiores, rosa inclinações médias e branco inclinações menores.

TABELA 1

ÁREA POR CADA CLASSE (km quadrado)

CLASSES	ORIGINAL	CORRIGIDA
1.Azul	3,953	4,568
2.Rosa	8,397	7,252
3.Branco	4,548	19,349

Embora os resultados sejam ainda preliminares, nota-se que houve uma melhora na classificação, sendo os resultados na imagem corrigida mais de acordo com a realidade. Entretanto, os resultados estão longe do ideal e há muito trabalho a ser feito ainda.

As figuras seguintes apresentam os resultados obtidos. Na Figura 1 a área de estudo é mostrada, a floresta está em tom avermelhado. Os pontos coloridos são as amostras para a classificação automática: azul, inclinação elevada, rosa, inclinação média e branco, inclinação baixa. O resultado da classificação é apresentado na Figura 2. Nota-se claramente as tres classes. A Figura 3 é o modelo digital de elevação da região em estudo. Os tres canais corrigidos pelo efeito do relevo são vistos na Figura 4. Finalmente a Figura 5 mostra o resultado final, ou seja a imagem corrigida e reclassificada. Nota-se a melhora na classificação, apesar do aumento do ruído devido à saturação dos níveis de cinza e ao uso de um modelo de iluminação simples.



Fig. 1 - Área teste, onde aparecem as áreas amostradas para a classificação automática por máxima verossimilhança.



Fig. 2 - Resultado da classificação, onde se pode notar as 3 classes, antes da correção do relevo.

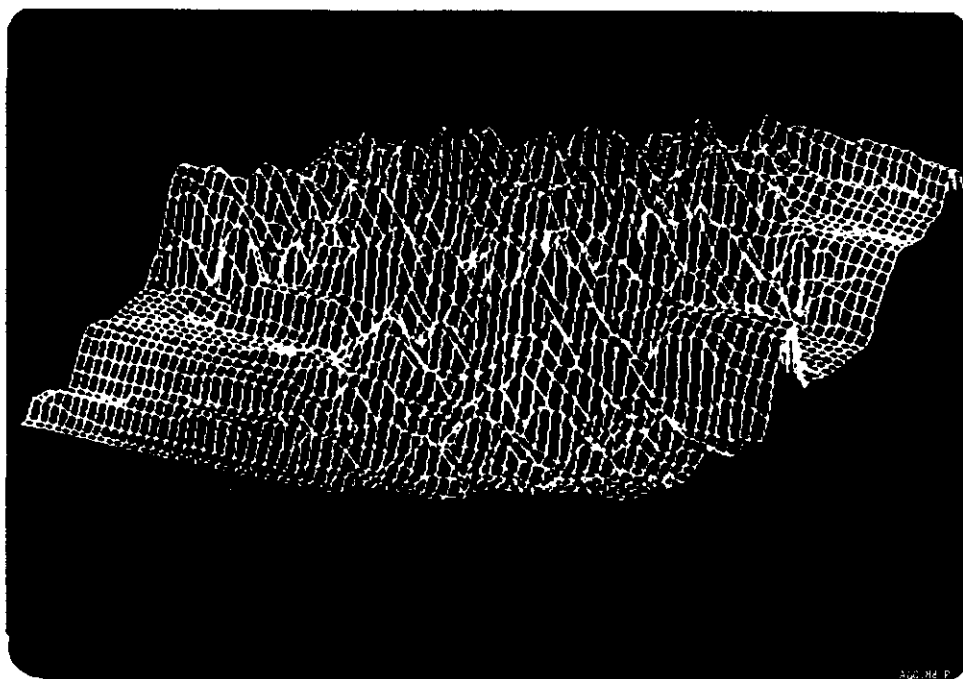


Fig. 3 - Modelo digital de elevação da região em estudo.



Fig. 4 - Os tres canais corrigidos para o efeito do relevo.

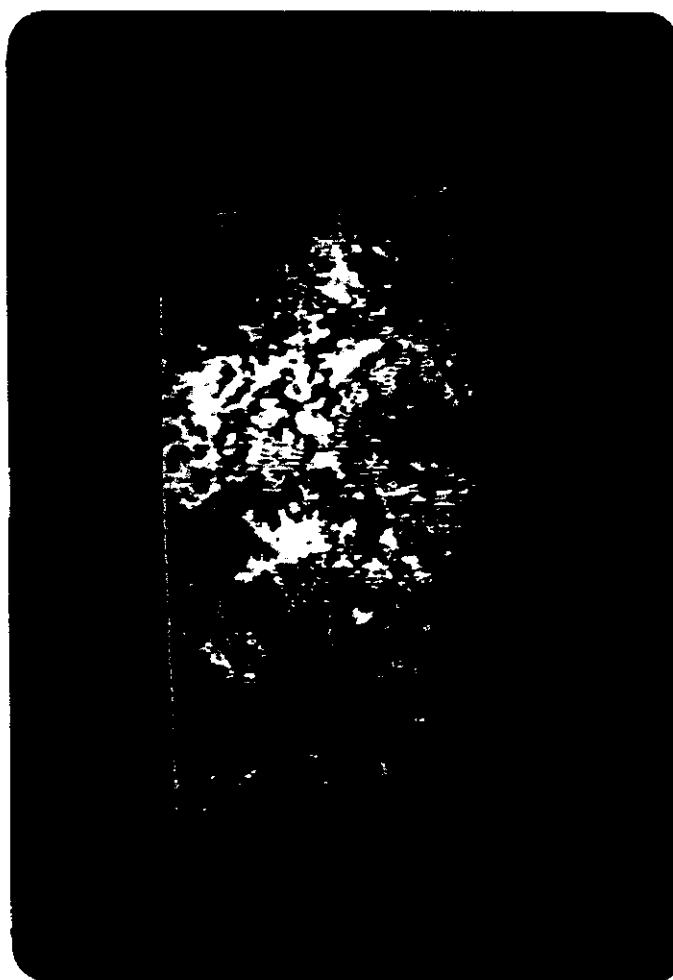


Fig. 5 - Resultado final. Nota-se que a região em estudo está mais uniforme do que a Figura 2, o que indica a redução do efeito do relevo.

Sugere-se que para o futuro deva-se tentar modelos de iluminação não-Lambertianos, melhores interpoladores para o mapa de declividade e modelo digital de elevação, e, finalmente, após a correção mudar o histograma das imagens para evitar a saturação (o que aparece como ruído nas imagens).

4 - CONCLUSÃO

Nesta parte deste Relatório Final do PROJETO FLOVAL foi descrito o trabalho feito. A parte financeira já foi enviada ao IBDF através do INPE e foi cumprida de acordo com o previsto. Deve-se ressaltar o apoio dado ao pessoal do projeto por parte do INPE e do IBDF, sem o qual os resultados finais não seriam alcançados. Como anexo, inclui-se a bibliografia utilizada e cópia de todos os trabalhos publicados (2 no país: um no I Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, Petrópolis, abril 1988 e um no V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, outubro 1988; 1 no exterior: no XVI Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Japão, julho 1988).

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANON, G.J.F. "Bases da Computação Gráfica". SBMAC, Minicurso do X Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, Gramado, RS, setembro de 1987.
- BUI-TONG, PHONG "Illumination for Computer Generated Pictures". Communications of the ACM, 18(6):311-317, June 1975.
- CAMARA NETO, G.; ERTHAL, G.J.; ALVES, D.S.; PAIVA, J.A.C.; FELGUEIRAS, C.A.; OLIVEIRA, E.A. "Especificação da versão 2.0 do SGI". INPE, São José dos Campos, publicação interna, agosto de 1987.
- FELGUEIRAS, C.A.; DIAS, L.A.V.; ERTHAL, G.J. "Geração automática de mapas isolinhas utilizando microcomputador". In: CONGRESSO NACIONAL DE INFORMÁTICA, XX, São Paulo, SP, 1987. Anais. São Paulo, SUCEU, 1987, p. 425-430.
- FOLEY, J.D.; VAN DAM, A. "Fundamentals of Interactive Computer Graphics". Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA, 1984.
- GOURAUD, H. "Continuous Shading of Curved Surfaces". IEEE Transactions on Computers, C-20(6):623-628, June 1971.
- HALL-KONYVES, K. "The Topographic Effect on LANDSAT Data in Gently Undulating Terrain in Southern Sweden". Int. J. Remote Sensing, 8(2):157-168, 1987.
- HDLBEN, B.N.; JUSTICE, C.O. "The Topographic Effect on Spectral Response from Nadir-Pointing Sensors". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46(9): 1191-1200, 1980.

- HOFFNER, R. "Natural Resources Mapping in Mountainous Terrain By Computer Analysis of ERTS-1 Satellite Data". LARS, Purdue University, W. Lafayette, Indiana:124, 1974.
- HUGLI, H.; FREI, W. "Correcting for Anisotropic Reflectances in Remotely Sensed Images from Mountainous Terrains". Anal. of the 1981 Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, W. Lafayette, Indiana, 1981.
- JUSTICE, C.O.; WHARTON, S.W.; HOLBEN, B.N. "Application of Digital Terrain Data to Quantify and Reduce the Topographic Effect on LANDSAT Data". Int. J. Remote Sensing, 2(3):213-230, 1981.
- KAWATA, Y.; UENO, S.; KUSAKA, T. "Radiometric Correction Method which Removes both Atmospheric and Topographic Effects from the LANDSAT MSS Data". Proceedings of the 1986 IGARSS Symposium, Zurich, Switzerland, 8-11, Sept., 1986.
- MINNAERT, N. "The Reciprocity Principle in Lunar Photometry". Astrophys. J., 93:403-410, 1941.
- SMITH, J.A.; LIN, T.L.; RANSON, K.J. "The Lambertian Assumption and LANDSAT Data". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46(9):1183-1189, 1980.
- TORRANCE, K.E.; SPARROW, E.M. "Theory for off-specular reflection from roughed surfaces". J. Optics Soc. of America, 57:1105-1114, Sept. 1967.