

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA DEGRADAÇÃO NA PLANÍCIE ALUVIAL DO SEMI-ÁRIDO UTILIZANDO A COMBINAÇÃO DE IMAGENS DE INTERFEROMETRIA ERS COM IMAGENS ÓPTICAS LANDSAT TM.

Francisco D. Maldonado * **

Graciela Salinas de Salmuni *

Emilio D. Graffigna *

* Sector Teledetección, CEFOCCA, UNSJ (Universidad Nacional de San Juan)
Laprida 1130 Oeste, 5400 San Juan

e-mail: teledet@unsj.edu.ar, fax: 54 64 213672, tel: 211700 Int 340

** Doutorando em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MCT/INPE) Av. dos Astronautas 1758. Jd. da Granja. São José dos Campos-SP. Brasil
e-mail: francis@ltid.inpe.br

ABSTRACT

By using SAR interferometric techniques and applications, a tool is developed which combines the optical images and contours generated from an interferogram for studying the slow degradation process which affects alluvial plain areas subjected to cattle raising, with topsoil losses and/or unsustainable soil utilization.

This new product, in addition to the radiometric and spectral information from optical images, supplies the information related to the topography of alluvial plain surfaces. Generally, the available relief contours are obtained from topographic maps, which are representative of the general relief, though they do not show the detailed "micro-relief" which characterises the erosion-accumulation processes occurring on the alluvial plain. The interferometric fringe pattern is intimately associated with the landscape topography.

For this particular application, it was found more convenient to use long baseline tandem, because it allows a better altimetric resolution. Besides, the generation of contours from a co-registered interferometric image is based upon the simple digital processing of the image saturation component. As an additional advantage, to work on the interferogram avoids the annoying procedure of region growing phase unwrapping.

It is felt there is an ample potential for this product, specially if it is intended for use in multitemporal studies of land degradation and/or recovery.

1 INTRODUÇÃO

A atividade antrópica em regiões do semi-árido se desenvolve frequentemente sob formas de *manejos* não sustentáveis e produz uma reativação dos processos morfogenéticos que modelam as formas do relevo. Em alguns lugares esta reativação se remonta a 200 anos ou mais e estes fenômenos podem observar-se geralmente associados à ocupação humana. Tipicamente, nesta região, quando esta ocupação é antiga se observa uma seqüência de processos morfodinâmicos em direção do declive, segundo já apresentado por Salmuni et al. (1996).

A geomorfologia da planície aluvial, se vê refletida nas curvas de nível das cartas topográficas, quando estas contam com detalhe suficiente. Este nível de detalhe também está associado com a escala, uma menor equidistância entre curvas e a uma maior fidelidade destas, com as formas do terreno. Geralmente as curvas nas cartas são obtidas por restituição fotogramétrica e a fidelidade está em relação com a perícia do operador, o qual sempre integra visualmente os pequenos detalhes do relevo.

As características topográficas de uma planície aluvial são em geral suaves e não podem ser observadas através das curvas de nível em cartas topográficas comuns, as que em geral são pouco detalhadas e com equidistância de 100m ou mais, que são pouco apropriadas para os estudos da topografia da planície. Atualmente, o Sensoriamento Remoto oferece técnicas de interferometria radar que podem gerar curvas de nível com considerável detalhe sob condições apropriadas de geometria, atmosfera e topografia do terreno. Também em Sensoriamento Remoto tem sido desenvolvidas técnicas de interpretação de imagens que podem delimitar os fenômenos que caracterizam a geodinâmica de uma região do semi-árido através de texturas, matizes e relações horizontais entre os elementos das imagens orbitais.

No Sensoriamento Remoto já se tem demonstrado as vantagens de combinar informação de imagens radar e ópticas. Esta técnica aumenta espetacularmente a informação das imagens, este fenômeno é chamado de sinergismo. Este fato já vem sendo explorado e em alguns estudos no semi-árido, as imagens combinadas Landsat - ERS-1 tem demonstrado ser muito úteis para a delimitação da degradação no semi-árido, segundo Maldonado et al.(1997).

Também Welch & Ehlers (1988) e Bloom et al.(1988) têm observado as vantagens da sobreposição de informação proveniente de técnicas de interferometria e das imagens ópticas Landsat. E, Domik et al. (1986) aproveitando o alto grau de coerência das imagens radar nas áreas do semi-árido, apresentaram um produto secundário das técnicas interferométricas. Alguns autores como Alsdorf & Smith (1999), utilizaram estas técnicas para o estudo de ambientes muito dinâmicos com excelentes resultados.

Nos estudos geomorfológicos, os enfoques geralmente estão baseados, entre outras variáveis, na análise da configuração das curvas de nível, estas são linhas que unem pontos de igual altura, e em relevos suaves em geral são aproximadamente paralelas e apresentam as maiores separações nas planícies. Esta configuração na planície aluvial do semi-árido pode refletir o movimento do material da superfície do solo associado a fenômenos de erosão/acumulação, geralmente por efeito da alta erosão das chuvas e da drenagem que modelam as formas da planície. As curvas de nível traçadas nas cartas para descrever as formas do terreno apresentam a concavidade em direção da pendente quando o fenômeno morfodinâmico dominante é o de erosão e no caso contrário, quando apresentam a convexidade em direção da pendente ou processo dominante, é o de acumulação (Figura 1). As curvas de nível com equidistância de 1m já foram utilizadas por Perez (1988) para caracterizar formas de acumulação e evolução dos fluxos de material rochoso nas encostas das montanhas.

Os movimentos do material fino da superfície do solo das planícies, ocorrem lentamente em lapsos de tempo que podem ser observados através de análise do estado da vegetação e de outros efeitos como a base soterrada dos arbustos, etc.. Os movimentos mais dramáticos costumam estar associados a voçorocas, no entanto, os mais frequentes estão associados à lenta perda de solo que pode ser avaliada utilizando indicadores de campo ou monitorada por métodos de nivelção topográfica tradicional (Águilo Alonso, 1992). Estes fenômenos já foram delimitados utilizando

imagens ópticas e técnicas de foto-interpretação visual de imagens combinações coloridas Landsat TM.

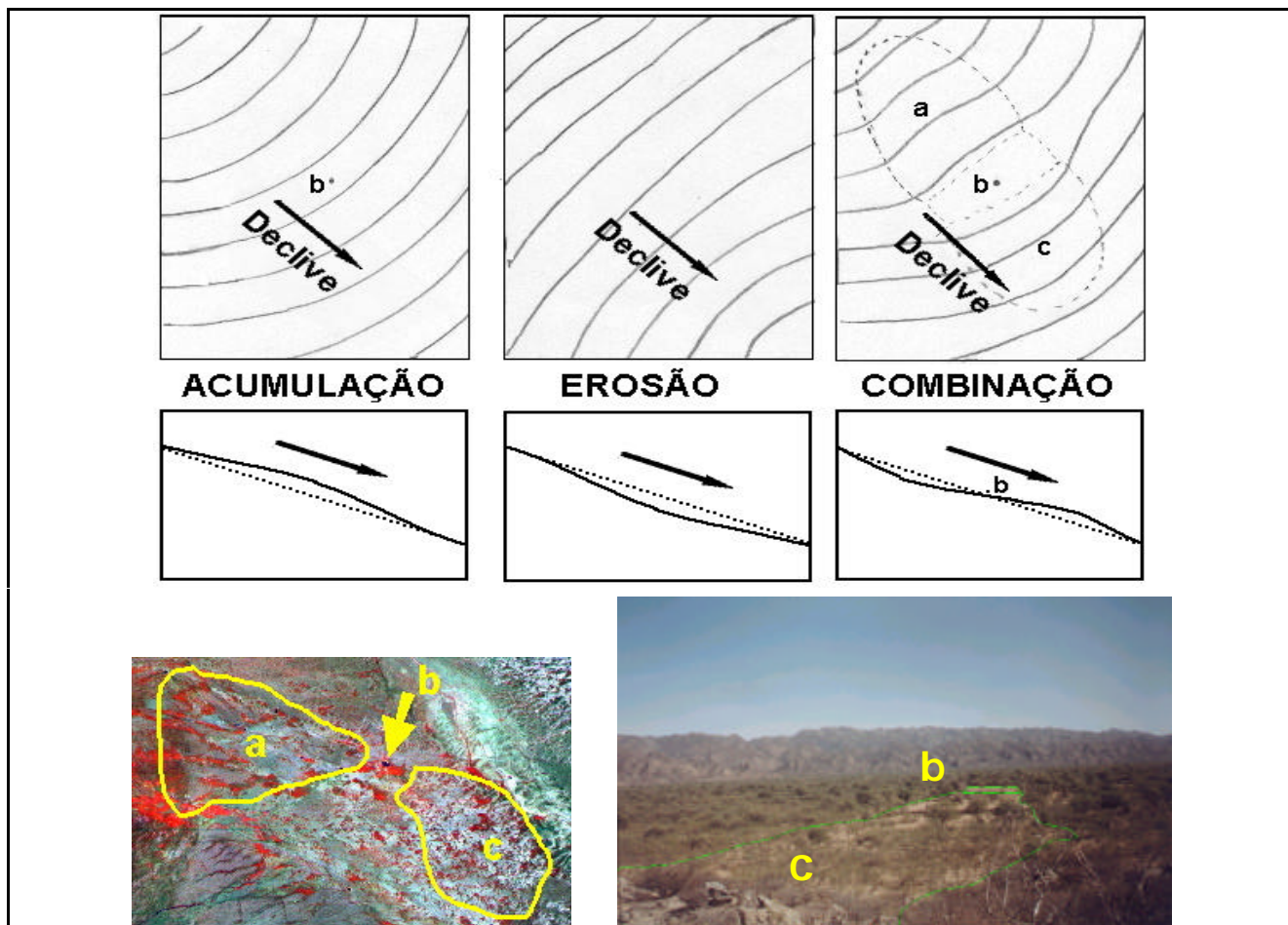


Fig. 1- Esquema da disposição das curvas de nível em relação a cada fenômeno; a) zona de erosão atual, b) ponto de ocupação humana, c) zona de acumulação do material erosionado na zona (a). Exemplo de imagem delimitada (Salmuni et al, 1996), e fotografia da zona de acumulação.

Baseados nos modelos de erosão, o objetivo deste trabalho é explorar o sinergismo de combinações de imagens produto da interferometria radar de linha de base longa e de imagens ópticas Landsat TM, para o estudo da degradação na planície aluvial do semi-árido.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada na Província de San Juan e La Rioja, na região de Los Llanos de La Rioja, ao Leste das Serras de Valle Fértil, ao Norte das Serras de Chepes e ao Sul das Serras de Paganzo, que formam parte das Serras Pampeanas Ocidentais da Província de San Juan e La Rioja, no Centro-Oeste da República Argentina (Figura 2).

A área de estudo é de aproximadamente 50 por 50 km, está situada em uma depressão tectônica com uma pente média de 1% na direção predominante SO-NE. Hidrologicamente esta área se caracteriza por pequenos ríos temporários que drenam em amplas salinas como Las Salinas grandes e ao Sul Las de Mascasin. Estes correjos somente levam água durante o curto período de chuvas e esta é acumulada em reservatórios para a pecuária. O solo é geralmente silte, mostrando características locais desde silte-argilosos até arenosos. O clima predominante é semi-árido com chuvas anuais de aproximadamente 300mm que se concentram durante o verão e com frequência torrencialmente. Por esta razão nesta área, a erosão hídrica é o processo de principal importância.

A área está localizada dentro da Formação do Bosque Subtropical Seco, Stassburger (1993), na Província Fitogeográfica do Chaco árido segundo Cabrera (1994), com atividade econômica de exploração de madeira e lenha de espécies arbóreas de regular valor. A principal atividade econômica é a pecuária de criação de bovinos e caprinos e em menor proporção, a agricultura.

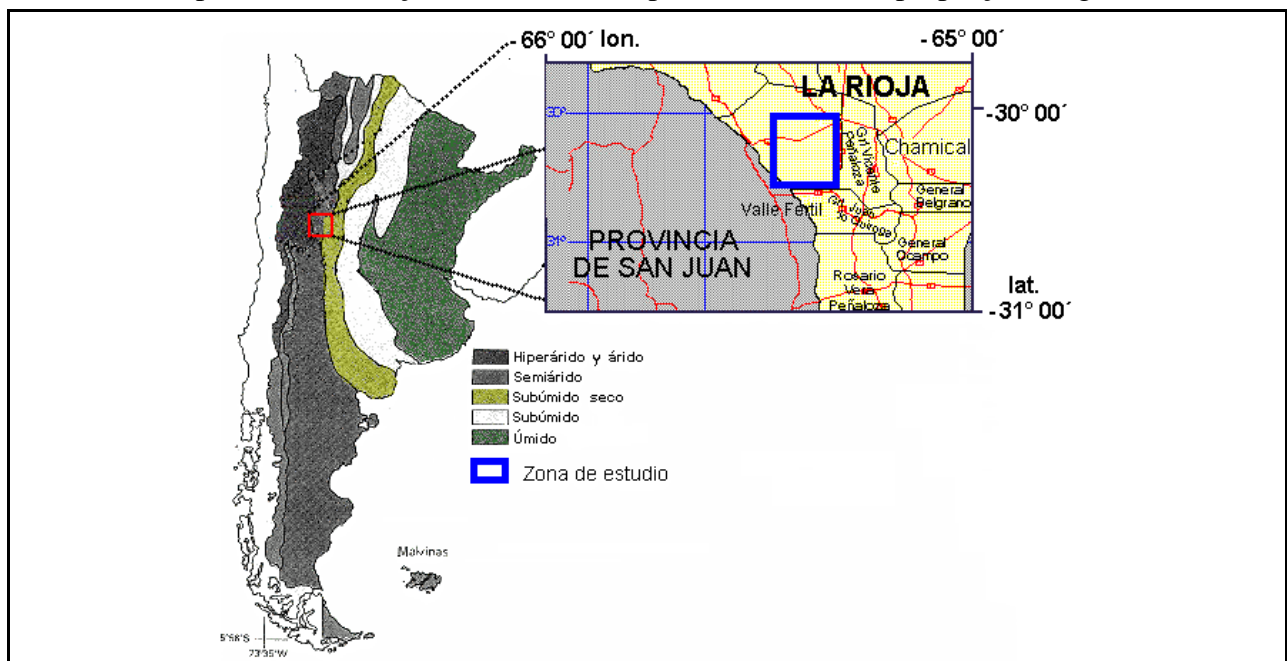


Fig. 2- Localização da área de estudo no Centro-Oeste da Argentina

3 MATERIAIS

EPSIE 2.0. Software processador de dados brutos SAR para gerar Imagens SLC e PRI a partir dos hologramas ou dados desfocados. (Carrasco, 1999)

ERDAS Imagine 8.3 processador de imagens digitais.

Imagens tandem ERS-1 SLCI 19/10/1998 ORBIT:32749 Descending e ERS-2 SLCI 20/10/1998 ORBIT:13076 Descending, órbita CEOS definindo 300m de linha de base.

Imagem Landsat TM formato digital, órbita 231 ponto 081 de março, época de máxima cobertura vegetal.

4 METODOLOGIA

A interpretação visual das imagens é aplicada através de um modelo sucessional de segunda ordem (Salmuni et al., 1996) no que se distinguem três zonas, começando com uma zona de erosão, geralmente profunda (zona a), seguindo com uma zona de exploração agrícola (zona b) com açudes e zonas de sacrifício onde a degradação por pastoreio e pisoteio é máxima, e terminando com zonas de acumulação, onde se produz a assoreamento de ríos temporarios e do pequeno micro-relevo (zona c)(Figura 1). Abaixo, o diagrama geral do trabalho, detalhando os caminhos convergentes para as imagens radar e Landsat TM.

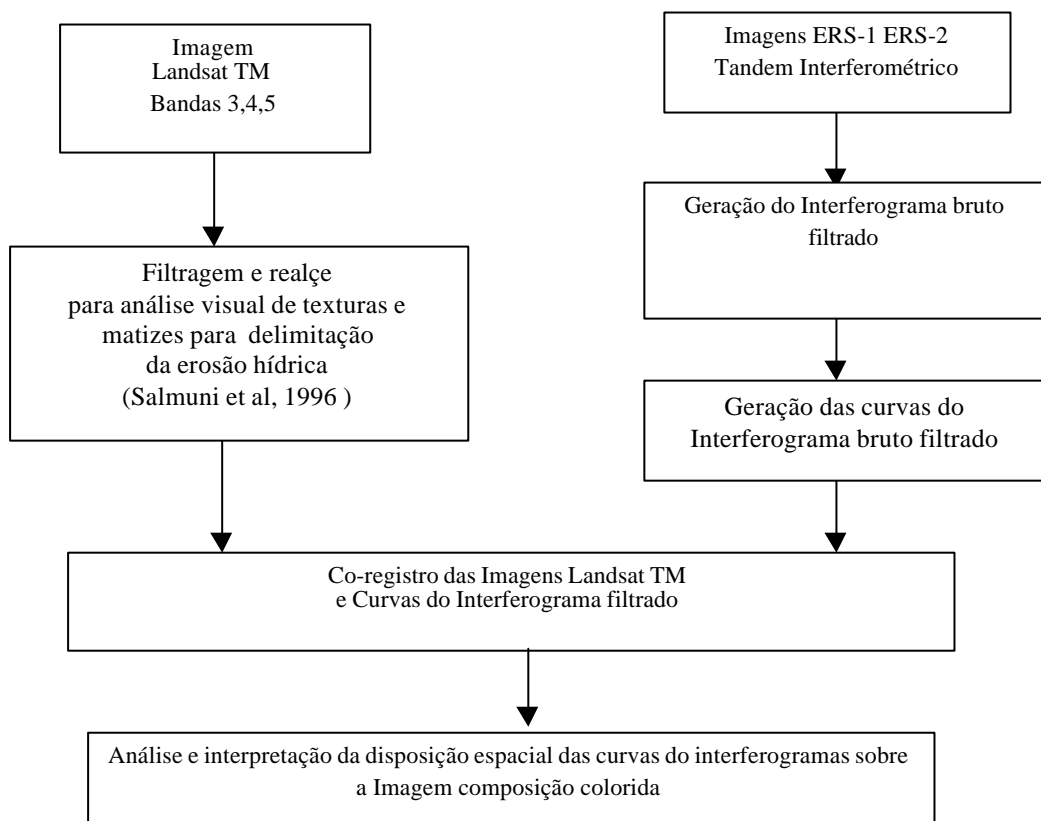


Fig. 3 – Fluxograma geral do trabalho. Note-se que o produto final para a combinação de dados é o interferograma bruto.

IMAGENS ERS, TANDEM INTERFEROMÉTRICO: As imagens ERS 1 e 2 são a base para o processo de processamento interferométrico. Este se baseia na diferença das fases das duas imagens SAR. A fase de cada imagem está associada ao número de longitudes de onda contidas no trajeto recorrido pelo sinal radar (parâmetro geométrico) e pelo atraso de fase introduzido por cada objeto da cena (desconhecido). A combinação coerente das duas imagens, elimina –mediante interferência destrutiva- a fase devida à própria cena e destaca, a fase devida à diferença de orbitas e geometria entre o solo e cada um dos dois satélites, o que permite gerar um efeito estéreo que permite obter o relevo.

A qualidade do processo vem condicionada pela geometria orbital, linha de base ou separação entre os satélites, e o tipo de relevo, sendo tanto mais eficaz quanto mais suave seja a topografia. Mesmo assim, existe um condicionante associado à “estabilidade radiométrica” do terreno, já que as imagens não são adquiridas simultaneamente; neste sentido, são preferíveis as áreas secas que as úmidas, já que estas conservam melhor a reflectividade radar entre os dois imageamentos (Carrasco, 1998).

GERAÇÃO DO INTERFEROGRAMA: Nesta fase se produz a combinação coerente de pares de imagens para a geração de padrões de interferência de fase ou imagens interferométricas que refletem a topografia da cena. O interferograma mostra um padrão de franjas de cores que estão intimamente associadas à topografia da paisagem segundo Gabriel (1988). Muito embora o interferograma pode ter sobrepostas rampas sistemáticas nas direções range e azimuth, em condições normais utilizando órbitas CEOS estandar, estes erros podem ser da ordem de um ciclo de fase. Neste caso não são críticos, já que estes erros se manifestam em grandes escalas e não afetam as análises locais. Em relação aos erros por efeitos atmosféricos, ainda que possam ser da ordem de um ciclo de fase, estão associados ao conteúdo em vapor de água, o que é comumente baixo em razão de ser zona muito árida.

OBTENÇÃO DO INTERFEROGRAMA FILTRADO: Foi usado um filtro adaptativo linear para adequar o interferograma bruto aos posteriores processamento para a geração das curvas.

GERAÇÃO DAS CURVAS: As curvas do interfereograma são traçadas a partir das franjas no limite da imagem componente de saturação, no limite entre a máxima e a mínima (limite entre o vermelho e azul). A proporcionalidade entre a fase e a altura, somente é uma boa aproximação e ainda que não se mantêm constante com as variações horizontais e as altimétricas, não é crítico porque a zona é plana e trata-se de uma pequena extensão 50x50km. Assim, os erros não são importantes para um estudo altimétrico mais qualitativo que quantitativo. Sendo que neste trabalho não está-se procurando a geração do DEM, senão algo muito mais simples que se extrai diretamente das curvas geradas a partir das franjas do interfereograma. Para isto, se programou um módulo de ERDAS 8.3, para traçar as linhas usando a componente saturação da imagem interferométrica, traçando a linha sobre a descontinuidade de saturação da franja vermelha (saturação máxima) com a franja azul (saturação mínima).

Posteriormente, foram co-registradas as imagens ERS e Landsat TM. **CO-REGISTRO DAS IMAGENS:** Para obter a máxima qualidade, são necessários pontos de controle para o ajuste do modelo orbital. O interfereograma está em geometria “Slant range” e apresenta deformações locais associadas à topografia. Estas deformações são pequenas e não afetam o registro em razão de estar trabalhando com uma zona muito plana utilizando pontos de controle bem distribuídos em toda a cena em range e em azimuth.

ANÁLISE E INTERPRETACÃO da Disposição Espacial das Curvas do Interferograma sobre a Imagem combinação Colorida: esta análise está baseada na Análise Morfodinâmica das Formas da Planície Aluvial (Figura 1) e em trabalhos anteriores de estudo da erosão hídrica na mesma área por Salmuni et al. (1996).

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Obteve-se a Imagem interferométrica (Figura 4), na que se observa boa coerência em todas as franjas da planície aluvial e a falta de coerência nas zonas de serras. Estes valores altos de coerência, estão relacionados com a pouca cobertura vegetal e a pouca variabilidade diária de umidade como já tem sido referido por Domik et al. (1986). Este alto grau de coerência permitiu obter bons resultados nos processamentos posteriores.

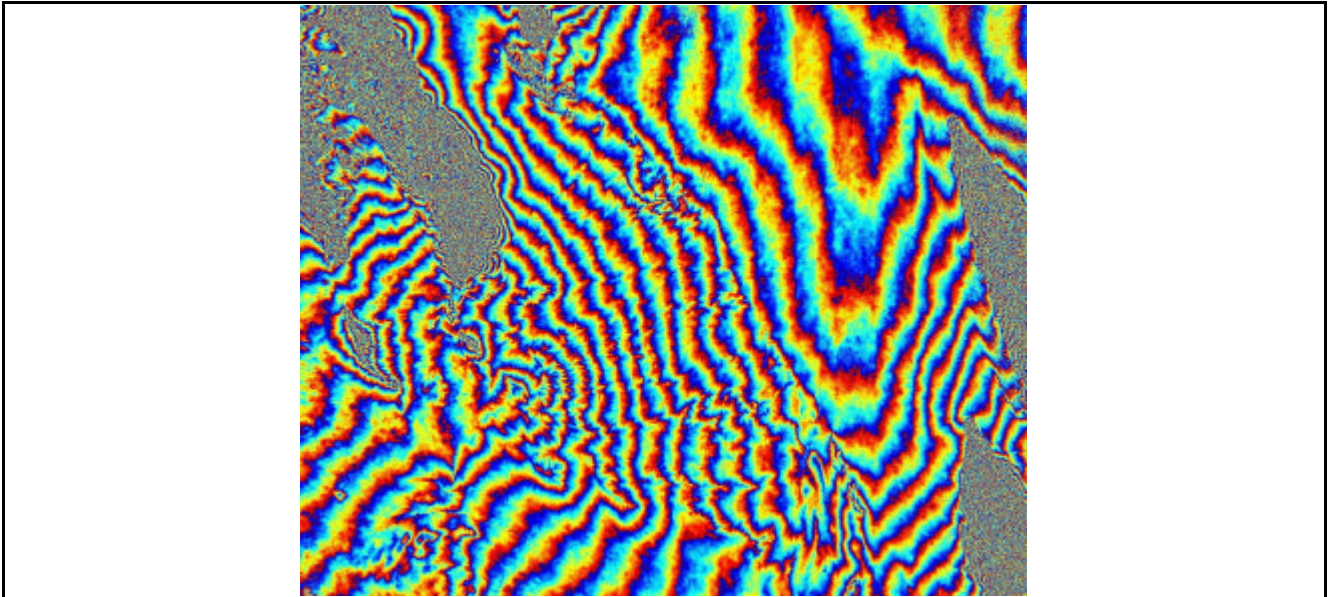


Fig. 4 – Interferograma bruto filtrado

Não se observaram artefatos atmosféricos (bolhas de umidade, nevoeiros, etc.) ou configurações das franjas do intrerferograma que não puderam ser explicadas pela topografia. A probabilidade de encontrar estas anomalias é, em geral baixa, em relação à baixa umidade do ar do semi-árido como comentado na metodologia.

Depois de sobrepor as curvas geradas pelo interferograma sobre a composição colorida LandsatTM, observou-se que, em geral, a maior separação das curvas se encontra na vizinhança das zonas interpretadas na imagem óptica como: zona b e a configuração das curvas na vizinhança destas zonas mudava de paralelas ao apresentar a concavidade até ambos lados da pendente na proximidade do ponto b. A esta configuração das curvas pode ser chamada de ‘configuração entre parêntesis’, sendo que as áreas de maior pressão antrópica ficam com as curvas de nível próximas formando parêntesis em volta (Figura 5).

Os lugares identificados como áreas pressionadas, em geral, coincidem com a disposição das curvas fornecidas pelo interferograma. Este procedimento pode ser aproveitado como subsídio aos estudos da degradação lenta que afeta as áreas da planície aluvial submetidas à pecuária e ao uso não sustentável com perda de solo. Nestas áreas de semi-árido, encontramos ocupação humana histórica contínua pontual de 200 anos ou mais, estes são os chamados postos nos quais se encontram um pequeno açude onde se acumula a água para o cuidado da pecuária.

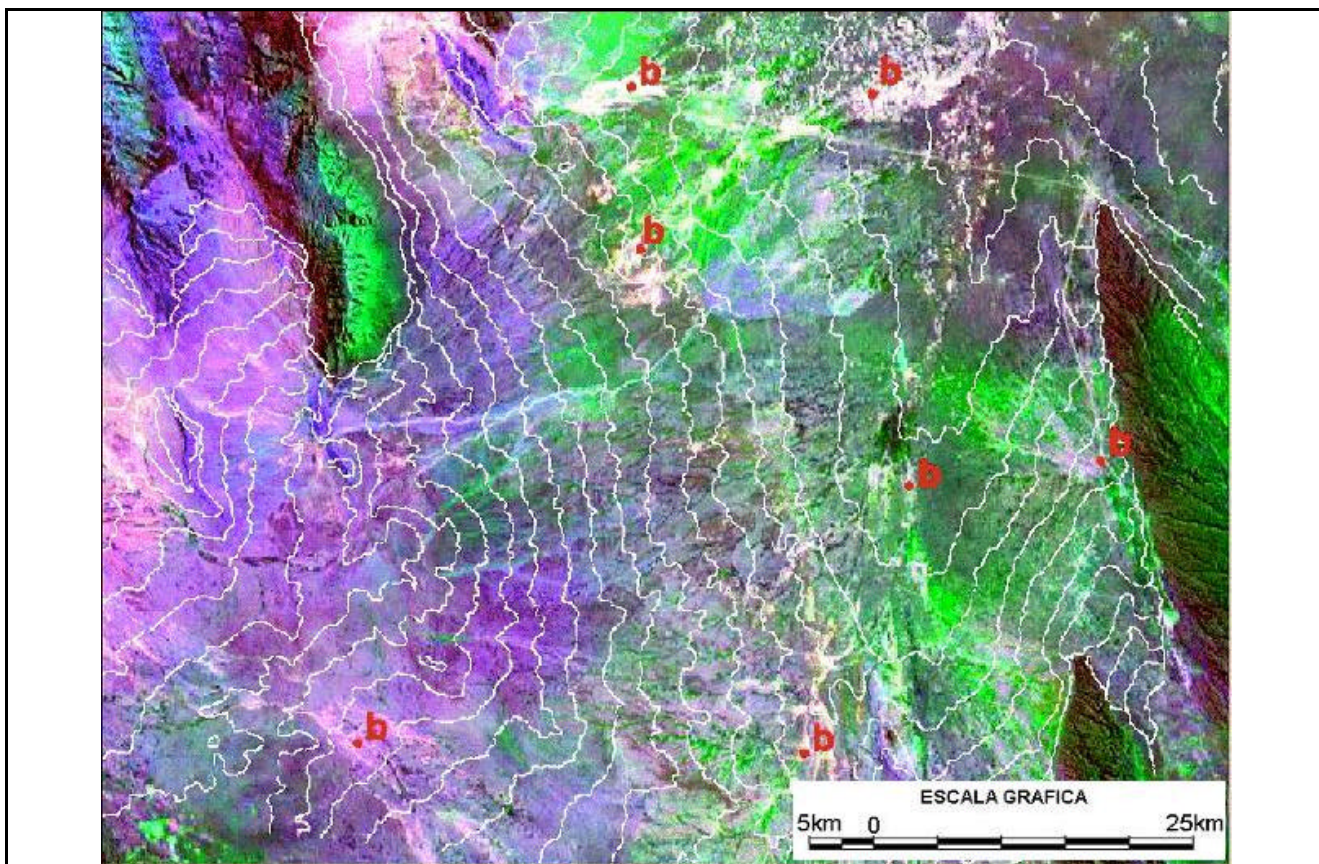


Fig. 5 - Mostra os lugares interpretados como áreas submetidas à intensa degradação pelo modelo, e identificados na imagem Landsat TM; Observe a mudança na forma das curvas do interferograma na proximidade dos pontos(b).

6 CONCLUSÕES

As potencialidades da análise sobre estas imagens combinadas aumentam espetacularmente nas áreas de interpretação geomorfológica, dinâmica ambiental, desertificação, etc. No presente trabalho, a análise se centralizou com bons resultados sobre um Modelo de Segundo Grau de Evolução das Áreas e o nível de análise não esgotou as possibilidades deste tipo de produto.

Esta imagem combinação é de fácil obtenção e em geral os processamentos posteriores para obter produtos mais elaborados por interferometria, são onerosos e não são obtidos facilmente os resultados, especialmente no desenvolvimento de fase (unwrapping) para a obtenção dos modelos de elevação do terreno. Os produtos da interferometria usados no presente trabalho, podem ser obtidos facilmente com pouco gasto computacional, e com grandes potencialidades para o estudo das planícies aluviais em regiões semi-áridas.

A grande quantidade de informação contida neste produto, está relacionada à observação das relações horizontais entre as zonas da degradação, zona de maior pressão, açudes, etc. das imagens Landsat simultaneamente à informação qualitativa das formas do terreno, fielmente representadas pelas curvas através das franjas interferométricas.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilo Alonso M., et al, 1992. **Riesgos Derivados de los procesos naturales**. En: Guía para la elaboración de estudios del Medio físico. Pag.556-585. Sec.Est.Polit.de Agua y Medio Amb. Min.Obr.Public.y Transp. Centro de Public. España.
- Alsdorf, D.E. and Smith, L.C. 1999. Interferometric SAR observation of ice topografy topography and velocity changes lated to the 1996, Gjal subglacial eruption, Iceland. IJ&RSensing. v.20, n.15&16, p.3031-3050.
- Bloom, A.L.; Fielding, E.J.; Fu, X. A demostration of stereophotogrametry with combined SIR-B and Landsat TM images. Int.Journal of Remote Sensing. 1988, v.9, n.5, pp.1023-1038.
- Cabrera A.L., 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. Fascículo 1. Editorial ACME S.A.C.I.
- Carrasco Díaz, D. E. 1998. **SAR Interferometry for digital elevation model generation and differential applications**. Tesis Doctoral. Univ. Politècnica de Catalunya.
- Carrasco, D., Fernandez, J., Romero, R., Martinez A., Moreno, V., Araa, V. 1999. **Operational volcano monitoring for decision support demonstration**. Proc. FRINGE'99. ESA conference on Interferometry, Liege (Belgium). (en prensa)
- Domik, G.; Leberl, F.; Cimino, J. 1986. Multiple incidence angle SIR-B experiment over Argentina: Generation of secondary Image Products. Int.Journal of Remote Sensing. 1986, v.4, n.1, pp.602-638.
- Gabriel, A.K. and Goldstein, R. M. 1988. Crossed orbit interferometry: theory and experiment result from SIR-B. Int.Journal of Remote Sensing. 1988, v.9, n.5, pp.657-872.
- Maldonado F., Salinas de Salmuni G., Maraz J. y C. Puigdengolas. 1997. **Aplicación de Imagenes ERS-1 al estudio de la Degradacion de Tierras en el Gran Bajo Oriental de Valle Fértil San Juan Argentina**. The Use and application of ERS in America Latina. ESA publication division, The Nederlands. p.77-82.
- Perez, F.L. Debris transport over a snow surface: a field experiment. Revue de Geomorphologie Dynamique. ano XXXVII, n.3, pp. 81-101, 1988.
- Salinas de Salmuni G., Maldonado F., Lund M. I. y M. C. Puigdengolas, 1996. **Delimitation of the hydric erosion using Digital image processing of Landsat TM, in the aluvional plain of Valle Fértil Dept. - San Juan. Argentine**. Memorias [CD-ROM]. VIII Simposio Brasileiro de sensoramiento remoto. Salvador. Brasil.
- Strassburger E. et al., 1993. **Tratado de Botánica**. 32º edición. 348-349. Ed Omega. Barcelona. 1993.
- Welch, R. and Ehlers, M. 1988. Cartographics features extraction with integrated SIR-B and Landsat TM Images. **International Journal of Remote Sensing**. 1988, v.9, n.5, pp.873-889.

Agradecimientos: A Maurizio Fea (ESA Esrin), Teresa Gallotti Florenzano (DSR INPE), à ESA (Agencia Espacial Européia), à Nações Unidas (UN) e o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).