

USO DE IMAGENS DE RADAR COMO FERRAMENTA AUXILIAR NA IDENTIFICAÇÃO DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS NA REGIÃO DO CERRADO

Joselisa Maria Chaves*

Edson Eyji Sano**

Paulo Roberto Meneses***

RESUMO — Desde a década de 70, as imagens de radar vêm sendo intensamente utilizadas para o reconhecimento e mapeamento geológico, especialmente em regiões de difícil acesso como a Amazônia. A principal vantagem do radar é a sua capacidade em adquirir imagens independentemente da presença de nuvens ou de fumaça. Especificamente para a região do Cerrado brasileiro, cuja área representa $\frac{1}{4}$ do território nacional, poucos trabalhos com radar têm sido desenvolvidos até o momento. Na primeira parte deste trabalho, são descritos os aspectos gerais sobre os princípios físicos e o processamento de imagens de radar, além de possíveis aplicações em Geologia. Na segunda parte, são mostrados os primeiros resultados da análise dos dados de radar de visada lateral (banda C, satélite RADARSAT) para aplicação em mapeamento geológico, numa área-teste situada próximo a Brasília, DF.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto; Cerrado; Radar.

ABSTRACT — Since the 1970s, radar remote sensing has been an important tool for geological mapping and reconnaissance, especially in remote regions such as the Amazon. The major advantage of radar is its capacity to acquire data regardless of cloud or smoke cover. In the savannah (Cerrado) region of Brazil, which represents about $\frac{1}{4}$ of the national territory, little research using radar data has been conducted up to now. In the first part of this study, we describe general aspects of radar principles, image processing and their possible applications in geology. In the second part, we discuss the first results of the C-band, RADARSAT data analysis for geological mapping over a test site near the Federal District of Brasilia.

* Prof. Assistente do Dep. de Exatas (UEFS). Pós-Graduanda/ (UnB). Mestre em Geociências (UFBA). E-mail: joselisa@unb.br

** Doutor em Ciência do Solo - University of Arizona, UOFA (EUA). Pesquisador (EMBRAPA). E-mail: sano@cpac.embrapa.br

*** Prof. Adjunto (IG/UNB). Doutor em Geociências (USP). E-mail: lsrunb@unb.br

KEY WORDS: *Remote Sensing; Tropical Savannah; Radar.*

INTRODUÇÃO

Neste final de milênio, uma das áreas mais pesquisadas pelos geocientistas diz respeito ao maior conhecimento sobre o meio ambiente, seja na avaliação e magnitude dos impactos ambientais causados pelo homem, seja na área da educação ambiental. Em ambos os casos, o pesquisador ou o professor precisa adquirir uma compreensão precisa do meio ambiente, que é composto de diferentes componentes físicos e biológicos da paisagem, tais como, uso antrópico, geologia, geomorfologia, vegetação natural, solos etc.

Dentre os componentes físicos, as rochas e seus produtos de alteração constituem o substrato da paisagem (BIGARELLA *et al.*, 1994). Nesse substrato, ocorre uma série de processos naturais que conduzem à formação da paisagem atual. Portanto, a aquisição de dados geológicos de uma determinada área é fundamental para o entendimento da dinâmica da paisagem ou do meio ambiente da região.

Uma das ferramentas mais utilizadas para o mapeamento e reconhecimento geológico é o Sensoriamento Remoto. Em países tropicais como o Brasil, as imagens de radar são particularmente importantes, pois a aquisição de dados independe das condições climáticas. Devido à intensa cobertura de nuvens durante a maior parte do ano e devido à presença de importantes províncias minerais, grande parte da pesquisa em prospecção mineral e mapeamento geológico no Brasil, utilizando-se de dados de radar, têm sido realizados na região amazônica (CUNHA, 1988; LIMA, 1988; LIMA *et al.*, 1990).

O potencial deste tipo de dados para estudos geológicos no Cerrado, com aproximadamente 200 milhões de hectares (1/4 do território brasileiro), também precisa ser avaliado. Assim como na Amazônia, essa região contém importantes depósitos minerais, a maioria associados a *greenstone-belts* (por exemplo, Crixás, em Goiás), além de apresentar problemas de cobertura de nuvens e de fumaça nas épocas chuvosa e seca, respectivamente. Esse estudo mostra os primeiros resultados obtidos da análise dos dados de radar de visada lateral (banda C, satélite RADARSAT) para aplicação em mapeamento geológico, numa área-teste situada próximo a Brasília, DF.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Aspectos gerais

O termo RADAR é um acrônimo da expressão inglesa *Radio Detection And Ranging* e refere-se a um dispositivo sensor que é capaz de detectar alvos através da indicação da sua posição e distância (SABINS, 1996). Por definição, é um sistema ativo, isto é, o sensor emite uma energia eletromagnética que é retroespalhada por um alvo e registrada pelo sistema.

Existem dois tipos de radar: os aerotransportados de visada lateral (*side-looking airborne radar* – SLAR) e os de abertura sintética (*synthetic aperture radar* – SAR). No primeiro caso, uma antena fixa é propagada por meio de uma plataforma móvel, isto é, por um avião. A direção de visada é lateral, em relação à direção de voo da aeronave. Nos radares de abertura sintética, uma antena longa é sintetizada artificialmente através do registro seqüencial de amplitudes e fases do sinal retroespalhado por uma antena de dimensões reduzidas.

Os imageadores SAR operam em comprimentos de ondas (λ) que vão de 1mm a 1m. Segundo RANEY (1998), muitos detalhes estruturais associados a feições geológicas são realçados nesta faixa espectral de microondas. As suas principais bandas são: X, C, S, L e P (Tabela 1). Essas denominações não possuem nenhum significado lógico e foram definidas por militares nos estágios iniciais da pesquisa por razões de segurança. A título de curiosidade, pode-se mencionar que nenhum sensor de radar para coleta de dados em Recursos Naturais e Meio Ambiente opera atualmente na faixa espectral do rádio ($\lambda > 1\text{m}$).

Tabela 1 – Principais comprimentos de onda e freqüências (valores aproximados), utilizados por sistemas de radar de abertura sintética.

Denominação da Banda	Comprimento de Onda (cm)	Freqüência (GHz)
X	3,0	9,50
C	5,7	5,25
S	10,0	3,00
L	23,5	1,27
P	68,0	0,44

Sendo um sensor ativo, os imageadores de radar independem do Sol ou das condições solares e podem operar durante o dia ou à noite. No entanto, é importante ter em mente que as condições da superfície terrestre são influenciadas pelo ciclo diurno. Na realidade, quando se pretende extrair informações de uma imagem SAR, é necessário considerar que a mesma possui dois tipos de propriedades (OLIVER & QUEGAN, 1998). A primeira está relacionada com as características do alvo. Os parâmetros do alvo que influem no sinal de retorno estão diretamente relacionados com as suas propriedades geométricas e dielétricas: umidade do solo, rugosidade do terreno, relevo, estrutura da vegetação e quantidade de água presente nas folhas verdes. Os sistemas SAR constituem-se num complemento importante dos sensores ópticos, que operam nas faixas espectrais do visível e do infravermelho, cujos dados estão diretamente relacionados com as características físico-químicas do alvo. Sugere-se então, o uso integrado de ambas as informações (sinergismo).

A segunda propriedade está relacionada com as características instrumentais do sistema. Nesse caso, os parâmetros mais importantes do sensor são: frequência ou comprimento de onda, polarização, ângulo de incidência e direção de visada. Dependendo da configuração, a capacidade de discriminação de um determinado alvo na imagem pode ser melhor ou pior.

PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE RADAR

Um dos processamentos mais comuns praticados em imagens digitais de radar é a redução do *speckle* (ruído). Tal fenômeno refere-se às variações no retroespalhamento, que ocorrem em áreas aparentemente homogêneas e que provocam um aspecto granular nas imagens. Isso ocorre porque o retroespalhamento referente a um pixel corresponde à somatória dos retroespalhamentos provocados pelos objetos individuais presentes no terreno. Dependendo do posicionamento destes objetos, a intensidade do sinal de retorno pode apresentar variações significativas e “aleatórias”. Esse tipo de ruído depende ainda da configuração do sensor, mais especificamente da relação entre o número de

“looks” utilizado para se formar a imagem e as suas resoluções espacial e radiométrica. A redução do *speckle* é obtida através de filtros passa-baixa ou filtros adaptativos. Exemplos de filtros adaptativos são os de Lee, Frost e Gamma, os quais estão disponíveis na maioria dos *softwares* comerciais de processamento de imagens, tais como, PCI, ENVI e ERDAS/IMAGINE.

Composições coloridas RGB de imagens SAR também são freqüentemente utilizadas como uma técnica de realce visual. Essa técnica associa três imagens digitais às cores primárias, vermelha (R), verde (G) e azul (B) em um processo de combinação aditiva em que as cores são relacionadas aos valores triestímulos dos monitores através das intensidades de energia geradas no tubo de imagem (MENESES *et al.*, 1991). Esse tipo de realce funciona bem para dados oriundos de um mesmo sistema sensor, por exemplo, três imagens multitemporais do satélite ERS-2. Porém, quando se trata de dados multisensor, geralmente não é aplicável.

A combinação ou o sinergismo dos dados multisensor tem sido feita através da composição colorida IHS. Atualmente, existe um consenso de que o sinergismo entre imagens obtidas por diferentes sensores constitui uma técnica imprescindível na melhoria da interpretação geológica de uma determinada área. Pesquisas como as de HARRIS *et al.* (1990) e FRANKLIN & BLODGETT (1993) têm explorado as vantagens da complementariedade de diferentes sistemas sensores, em termos de resolução espectral e/ou espacial.

A transformação no espaço IHS envolve: a) o cálculo dos componentes: intensidade (I), matiz (H, hue) e saturação (S), a partir de três bandas espectrais de um mesmo sistema sensor (por exemplo, Landsat/TM); b) a substituição do componente I pela imagem de um outro sistema sensor (por exemplo, banda C do RADARSAT); e c) a aplicação da transformação inversa IHS $\rightarrow$ RGB. Desse modo, é possível a obtenção de uma composição colorida com a resolução espectral correspondente às três bandas do sistema óptico (Landsat/TM) e a resolução espacial e espectral da imagem de radar.

O InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*, LIN *et al.*, 1992), que corresponde a uma das tecnologias mais recentes na área de Sensoriamento Remoto por radar, parece que irá

constituir uma das mais promissoras ferramentas em geologia. Essa técnica consiste em subtrair as informações referentes à fase obtidas ou por antenas localizadas em diferentes posições ou por duas imagens multitemporais de uma mesma região. A sua habilidade em quantificar movimentos da crosta terrestre com acurácia milimétrica pode fornecer importantes subsídios para monitorar rupturas provocadas por falhas associadas a terremotos ou deslizamentos de terrenos em regiões montanhosas e instáveis.

RADAR EM GEOLOGIA

Os dados de radar têm se mostrado uma ferramenta valiosa no reconhecimento geológico, prospeção mineral, e estudos geotécnicos e geoambientais (SINGHROY, 1992). A intensidade de retroespalhamento em áreas geológicas é basicamente controlada pelas variações decimétricas de declividade e variações centimétricas de rugosidade superficial do terreno, além das propriedades dielétricas de cada unidade litológica (FORD *et al.*, 1998). Tais variações topográficas e texturais aparecem com maior nitidez em imagens SAR, em comparação com aquelas obtidas em comprimentos de ondas menores.

Uma outra característica importante do radar em Geologia é a visada lateral. Além de eliminar ambigüidades causadas por pontos situados simetricamente à direita e à esquerda da antena, possibilita a geração de sobreamento, dando um aspecto tridimensional (sensação de relevo) às imagens. PARADELLA (1993) citou cinco motivações para o uso de dados SAR em investigações geológicas no Brasil: a) possibilidade de imageamento em locais com recobrimento de nuvens; b) geometria de iluminação controlada; c) maior sensibilidade do radar às variações da morfologia da superfície, em comparação com o espectro óptico; d) possibilidade de variações na polarização; e e) imageamento independente de iluminação solar.

Dados de radar para fins de mapeamento geológico regional começaram a ser utilizados com sucesso no final da década de 60, em regiões anteriormente não-mapeadas devido à freqüente

cobertura de nuvens. Nesse contexto, destacam-se os levantamentos geológicos regionais na Província de Darien, Panamá, numa área estruturalmente complexa de aproximadamente 17 000 km² (Projeto RAMP – Radar Mapping in Panama, VISKNE *et al.*, 1970) e na Amazônia (Projeto RADAM), que posteriormente passou a se chamar Projeto RADAMBRASIL (LIMA, 1995).

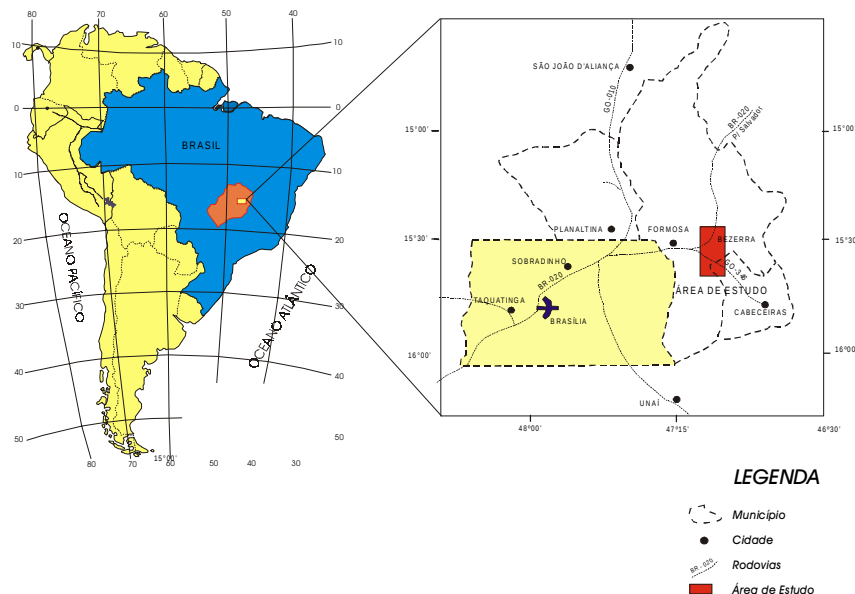
Desde então, vários trabalhos têm sido desenvolvidos tanto no âmbito nacional como no âmbito mundial. No Brasil, destacam-se os trabalhos de integração de dados de radar com dados geológicos, geofísicos e geoquímicos, desenvolvidos principalmente na Amazônia (PARADELLA *et al.*, 1997; CARVALHO, 1997).

A montagem de um mosaico de imagens do JERS-1 SAR (banda L, resolução espacial reescalada de 18 para 100m) da Amazônia e a sua disponibilização para o público, via Internet, também é um outro trabalho de grande importância. Este trabalho vem sendo conduzido pela Nasa, em conjunto com NASDA e Inpe, com previsão de término para 2001.

Na região do Cerrado, poucos trabalhos de mapeamento geológico utilizando-se dados de radar foram realizados até o momento. A exceção é a pesquisa desenvolvida por PINHEIRO (1999), que analisou o potencial das imagens do JERS-1 para mapeamento de feições geológicas numa área-teste situada a norte do Parque Nacional de Brasília, em Brasília, DF.

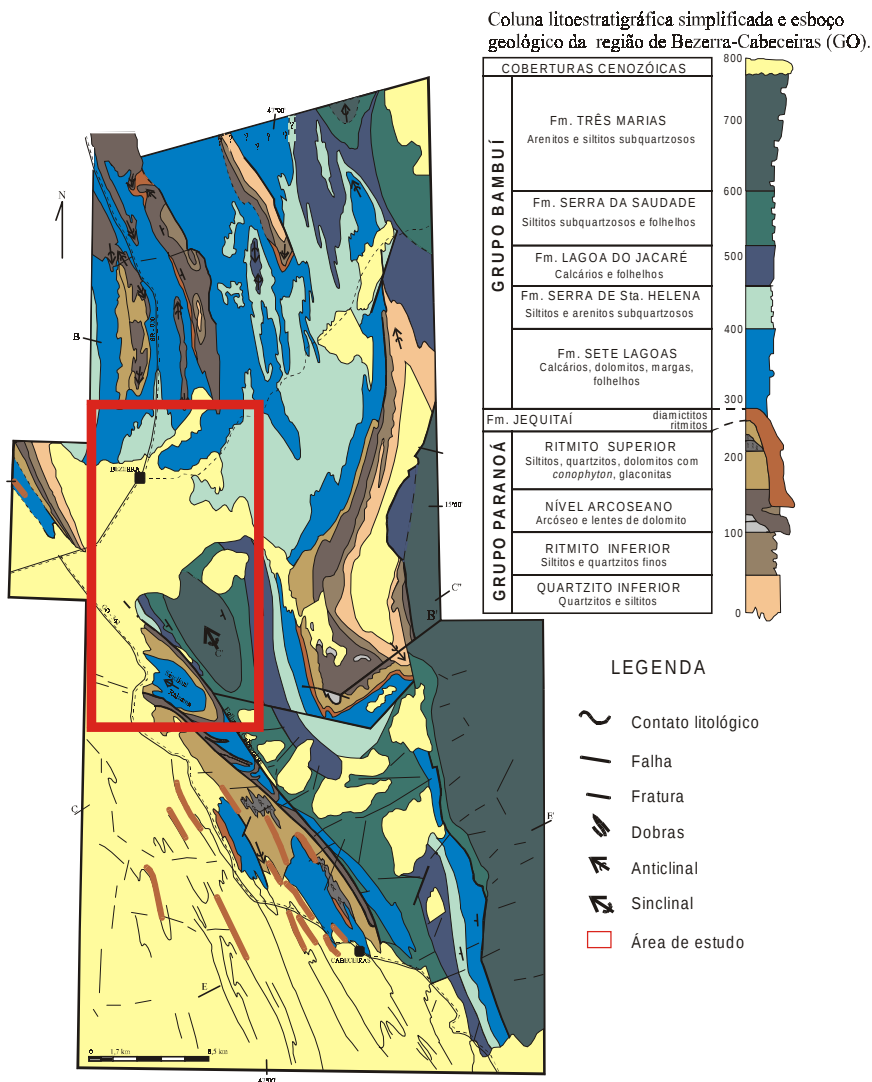
ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi selecionada considerando-se a disponibilidade de mapeamento geológico prévio e sua importância para o entendimento da geologia regional do Cerrado. Nesse sentido, optou-se pela região de Bezerra-Cabeceiras, mapeada por GUIMARÃES (1997). Tal área situa-se entre as coordenadas 15°25' e 15°40' de latitude sul e 47°00' e 47°15' de longitude oeste, entre a vila de Bezerra e a cidade de Cabeceiras, ambas no município de Formosa, GO (Figura 1). A área é bem servida por estradas pavimentadas, cascalhadas e carroçáveis. As principais vias de acesso são as rodovias BR-020, GO-10 e GO-342.

Figura 1 - Localização da área de estudo

Em termos geológicos, a região de estudo situa-se a oeste do Cráton São Francisco e a leste do Maciço de Goiás, na zona externa da porção nordeste da Faixa Brasília. Segundo GUIMARÃES (1997), as unidades aflorantes mais antigas são os quartzitos, ritmitos, arcóseos e, subordinadamente, carbonatos pertencentes ao Grupo Paranoá. Essas unidades são recobertas, em discordância erosiva, por rochas da Formação Jequitaí, formada tanto pelos níveis delgados e descontínuos de diamictitos, como por ritmitos, margas e arenitos. Sobre essa formação ou sobre as rochas do Grupo Paranoá, repousam as rochas pelíticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, onde os termos psamíticos encerram a seqüência (Figura 2).

Figura 2 - Mapa geológico da região Bezerra-Cabeceiras, GO.Fonte: GUIMARÃES (1997).



As estruturas sedimentares e as relações de fácies definidas por GUIMARÃES (1997) possibilitaram inferir que os sedimentos do Grupo Paranoá se acumularam em área tectonicamente estável, circundada por áreas de relevo relativamente baixo, em condições de inter a infra-maré, enquanto os sedimentos do Grupo Bambuí foram depositados predominantemente sobre plataforma, em uma bacia com taxas de subsidência e de sedimentação relativamente altas, limitada, em parte por relevo relativamente alto. Quanto à rocha fonte, GUIMARÃES (*op. cit.*) sugeriu uma fonte cratônica para o Grupo Paranoá. O Grupo Bambuí, por possuir sedimentos terrígenos altamente imaturos, são originários de áreas-fontes formadas por rochas metassedimentares, ígneas (ou metaígneas) de composição intermediária a básica. A composição química de rocha total indicou sedimentação sobre margem continental passiva para o Grupo Paranoá, e para as rochas do Grupo Bambuí, uma composição compatível com margem continental ativa.

DADOS DO RADARSAT

Para esta pesquisa, foi utilizada uma imagem de época chuvosa do satélite canadense RADARSAT, adquirida em 13 de janeiro de 1999. A imagem foi adquirida no modo “standard”, com resolução espacial de 25 metros, ângulo de incidência entre 24 a 31°, órbita descendente e 4 “looks”.

A imagem foi georreferenciada tendo como base uma cena do Landsat/TM, com 10 pontos de controle e uma acurácia de 20 metros. Para minimização do ruído, utilizou-se um filtro adaptativo de Frost (máscara de 5x5). A interpretação da cena do RADARSAT foi realizada através do pacote de sistema de processamento de imagens ENVI. Nesse sistema, o mapa geológico no formato vetorial foi sobreposto na imagem para auxiliar na interpretação visual.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A imagem do RADARSAT correspondente à região do Bezerra-Cabeceira é mostrada na Figura 3. A comparação

dessa imagem com o mapa geológico da área (Figura 2) indica alguns aspectos interessantes do sistema canadense para discriminação litológica. Na parte central da imagem, as tonalidades mais escuras (pontos 1 e 2, Figura 3) correspondem às Formações Três Marias e Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí, os quais ocorrem predominantemente nas encostas. Presume-se que os efeitos de sombreamento de relevo provoquem a tonalidade mais escura nas imagens. A Formação Três Marias representa a unidade superior do Grupo Bambuí e é constituída por intercalações de siltitos e arenitos subquartzosos de granulação fina a média. Possui alta resistência físico-química ao intemperismo. A Formação Lagoa do Jacaré é composta por folhelhos e calcários, com níveis oolíticos.

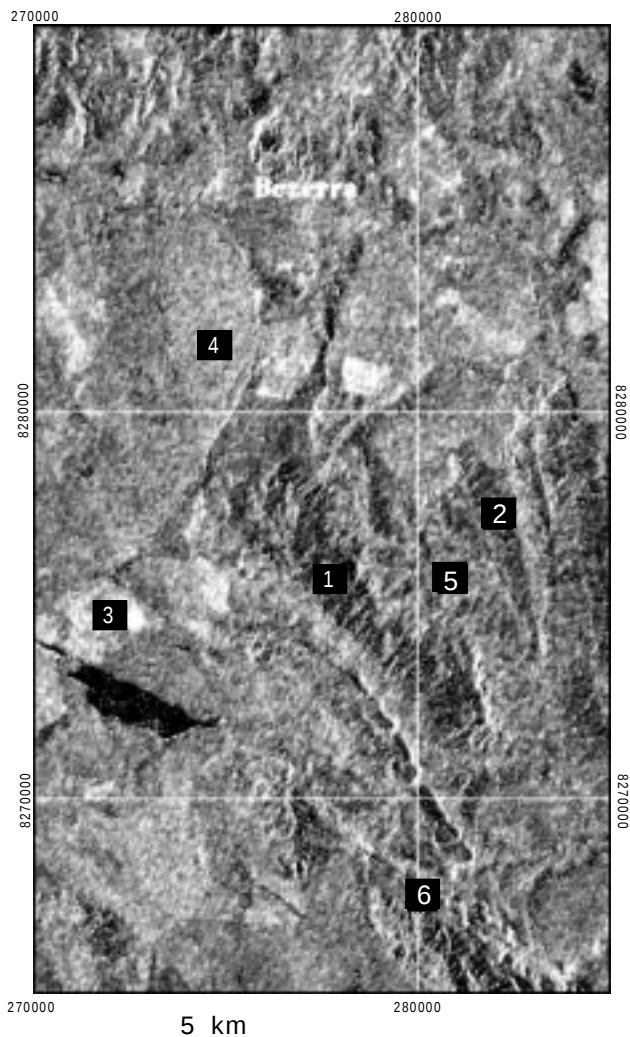
Nas áreas pediplanizadas e com cobertura Cenozóica (Pontos 3 e 4, Figura 3), a tonalidade de cinza pode variar de intermediária a clara. O ponto 3 localiza-se em áreas agrícolas. A princípio, poderíamos associar este retroespalhamento mais acentuado com uma maior umidade de solo (por exemplo, áreas irrigadas) e maior rugosidade superficial de terreno (por exemplo, áreas gradeadas e aradas). Já o Ponto 4 localiza-se na Reserva Ecológica do Exército Brasileiro, coberta pela vegetação natural do Cerrado. Neste caso, o retroespalhamento é menos acentuado em comparação com as áreas agrícolas (maior atenuação da radiação pelos arbustos e árvores distribuídas aleatoriamente no substrato herbáceo).

A Formação Serra da Saudade do Grupo Bambuí apresenta tonalidade cinza intermediária a escura (Ponto 5, Figura 3). Esta formação é constituída predominantemente por material pelítico, com pequenas lentes carbonáticas, formando um ritmo fino, onde se alternam lâminas siliticas subquartzosas e argilosas de coloração cinza escuro e esverdeada. Esta unidade também ocorre em áreas relativamente acidentadas, com um sistema de drenagem do tipo paralelo (orientação aproximada E-W). A presença de sombreamentos de relevo provoca o predomínio da tonalidade acima mencionada.

Além dos aspectos litológicos apresentados acima, a imagem de radar analisada apresenta algumas feições estruturais nítidas e que não constam no mapa geológico da área. Por exemplo, o Ponto 6 (Figura 3), localizado na porção sul da área - teste, mostra um sistema de dobramentos com eixo principal aproximadamente

NNW-SSE e uma série de lineamentos oblíquos a esse eixo, sugerindo um movimento aparentemente transcorrente.

Figura 3 - Imagem RADARSAT realçada com o filtro Frost (máscara 5X5 contendo a região de Bezerra-Cabeceiras, GO. Ponto 1 = Formação Três Marias; Ponto 2 = Formação Lagoa do Jacaré; Ponto 3 = Cobertura Cenozóica em área agrícola; Ponto 4 = Cobertura Cenozóica em área de vegetação remanescente; Ponto 5 = Formação Serra da Saudade; Ponto 6= Área de deformação tectônica.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação da imagem do RADARSAT realçada pelo filtro Frost com o mapa geológico da área de estudo mostrou a utilidade dos dados SAR para discriminação litológica em áreas de relevo acidentado no Cerrado. A análise visual da imagem de radar, baseada nas diferenças de tons de cinza, possibilitou a identificação de três formações do Grupo Bambuí (Formações Três Marias, Lagoa do Jacaré e Serra da Saudade), além das áreas com Coberturas Cenozóicas.

Considerando-se que a rugosidade da superfície do terreno, a forma do relevo e o tipo de cobertura vegetal (biomassa e estrutura) são alguns dos parâmetros que controlam a intensidade do sinal retroespalhado, os autores pretendem, como uma das próximas etapas do trabalho, analisar a possível correlação entre esses parâmetros e as unidades litológicas da área-teste. A etapa futura deste trabalho é a análise da confiabilidade das imagens do RADARSAT, não só para a discriminação litológica do Grupo Paranoá, mas, também, para uma caracterização estrutural mais detalhada, incluindo controle de campo.

Conforme discutido neste estudo, os diferentes sistemas sensores apresentam informações que muitas vezes são complementares. Sugere-se, então, avaliar o potencial do sinergismo entre dados ópticos e de radar ou entre dados obtidos por radar em diferentes bandas ou ângulos de incidência para mapeamento geológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; SANTOS, G.F.; PASSOS, E. ; SUGUIO, K. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. UFSC, 1994. v.1, 425p.

CARVALHO, A.S. **Integração de imagens de Radar/JERS-1, TM/Landsat-5 e geofísicas para o mapeamento geológico da porção nordeste de Roraima, Brasil**. Brasília, 1997. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, UnB, Brasília, 1997.

CUNHA, F.M.B. Controle tectônico-estrutural na hidrografia da região do Alto do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1988 Belém. **Anais ...** Belém: SBG, 1988, v.5, p.2267-2277.

FORD, J.P.; BLOM, R.G.; COLEMAN JR., J.L.; FARR, T.G.; PLAUT, J.J.; POHN, H.A.; SABINS Jr., F.F. Radar geology. In: HENDERSON, F.M.; LEWIS, A.J. (eds.), **Principles & Applications of Imaging Radar** - Manual of Remote Sensing. 3.ed. New York : John Wiley & Sons, 1998, p. 511-565.

FRANKLIN, S.E.; BLODGETT, C.F. An example of satellite multisensor data fusion. **Computers & Geoscience**, v.19, n 4, p.577-583, 1993.

GUIMARÃES, I. **Estudos de proveniência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos Grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra-Cabeceiras (GO)**. Brasília, 1997. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, UNB, Brasília, 1997.

LIMA, M.I.C. de. Lineamentos estruturais na sequência Cenozóica Solimões e suas relações com o craton Amazônico e bacia do Alto Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1988, Belém. **Anais ...** Belém: SBG, 1988. v.6, p. 2396-2406.

_____. **Introdução à interpretação radargeológica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. Série de Manuais Técnicos em Geociências, n.3, 124p.

LIMA, M.I.C.; MONTEIRO, N.; SILVA, L.Z.; MARINHO, D.A. Identificação de morfoestruturas anômalas na porção centro-oriental da bacia do Maranhão (Brasil), através de imagens SLAR e Landsat-TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, 1990, Manaus. **Anais ...** Manaus, 1990. v.3, p.663-670.

LIN, Q.; VESECKY, J.F.; ZEBKER, H.A. New approaches in interferometric SAR data processing. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.3, p.560-567, 1992.

MENESES, P.R.; ASSAD, E.D.; SANO, E.E. Introdução ao processamento de imagens de satélites de sensoriamento remoto. **Textos Universitários**. Brasília, Universidade de Brasília. 1991. 96 p.

OLIVER, C.; QUEGAN, S. **Understanding synthetic aperture radar images**. Norwood, MA: Artech House, 1998. 479 p.

PARADELLA, W.R. Radar em aplicações geológicas: os experimentos sarex na província mineral dos Carajás (Pará) e Airsar no Vale do Rio Curaçá (Bahia). In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993. Bahia. **Anais ... Bahia**. 1993. v.3, p.282-294.

PARADELLA, W.R.; BIGNELLI, P.A.; VENEZIANI, P.; PIETSCH, R.W.; TOUTIN, T. Airborne and spaceborne synthetic aperture radar (SAR) integration with Landsat TM and gamma ray spectrometry for geological mapping in a tropical rainforest environment – The Carajás mineral province. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.7, p.1483-1501, 1997.

PINHEIRO, G.G.C. Análise dos dados digitais de imagens de radar (Satélite JERS-1, Banda L) para estudos de vegetação, solos e geologia na região do cerrado. Brasília, 1999. **Dissertação (Mestrado)**, Instituto de Geociências, UNB, Brasília, 1999.

RANEY, R.K. **Radar fundamentals: technical perspective**. In: HENDERSON, F.M.; LEWIS, A.J. (eds.), **Principles & applications of imaging radar** - manual of remote sensing, ASPRS, 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. Chap. 2, p.9-130.

SABINS, Jr., F.F. **Remote sensing: principles and interpretation**. 3.ed. New York: W.H. Freeman and Company. 1996. 494 p.

SINGHROY, V.H. Radar geology: techniques and results. **Episodes**, v.15, n. 1, p.15-20, 1992.

VISKNE, A.; LISTON, T.C.; SAPP, C.D. SLR reconnaissance of Panama. **Photogrammetric Engineering**, v.36, n.3, p.253-269, 1970.