

Análise da Dinâmica Geomorfológica da Planície do Rio Solimões, próximo a Manaus, através do Processamento Digital de Imagens de Sensores Ópticos e de Microondas¹

AILTON ANTONIO BAPTISTA DE OLIVEIRA

IBGE- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Av. Brasil, 15671, 21241-051 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Abstract. This paper presents preliminary results of a research project to assess the suitability of remote sensing data for studying the fluvial geomorphology of a small segment of Solimões river (Amazonas) floodplain, near Manaus. The remote sensing data available were SAR-X band obtained during the 1971 RADAM project overflight in Amazonia, TM-Landsat data obtained in 1991 and orbital SAR-L band data provided by the Japanese Earth Resources Satellite (JERS-1) acquired in 1993. These data were digitally processed using the SITIM system in order to analyse the performance of the different remote sensing products and the synergism of microwave and optical sensors in terms of their ability to discriminate floodplain features and geomorphological units. The time difference between RADAM data and TM and SAR-L data allowed to assess the erosion and the deposition processes that took place in the last 20 years.

Keywords: Digital Image Processing, Fluvial Geomorphology.

1 Introdução

Englobando o estudo dos rios e das bacias hidrográficas, a Geomorfologia Fluvial coloca-se, atualmente, entre os setores mais dinâmicos da ciência geomorfológica. A dinâmica e as formas topográficas resultantes da ação fluvial sempre chamaram a atenção dos pesquisadores, porém, foi a partir da década de 70 que os estudos de Geomorfologia Fluvial passaram a dar maior ênfase aos processos e mecanismos observados no canal fluvial e adquiriram uma visão mais abrangente ao envolverem outras áreas do conhecimento, além de adotarem uma perspectiva temporal para as mudanças fluviais [Cunha (1994)].

Este trabalho contextualiza-se na análise temporo-espacial da dinâmica geomorfológica da planície de inundação, esta definida e delimitada pelo critério geomorfológico segundo o qual apresenta configuração topográfica específica, com formas de relevo e depósitos sedimentares relacionados com as águas fluviais, na fase do canal e na fase do transbordamento, não devendo ser confundida nem caracterizada pelos processos e formas de relevo desenvolvidas no canal fluvial [Christofoletti (1981)].

Considerando a rápida dinâmica e a expressiva velocidade das alterações que se processam através da sedimentação e da erosão recentes ao longo da planície de inundação, bem como a carência de documentação cartográfica sistemática e atualizada que registre as modificações operadas tanto ao longo do canal fluvial quanto na faixa de planície, os produtos de sensoriamento remoto ao nível orbital, dado o seu caráter sinótico, multitemporal e multiespectral e ao seu baixo custo em relação aos levantamentos aerofotogramétricos, constituem-se em instrumento de grande valia para a realização de estudos de detecção e monitoramento das alterações que ocorrem na superfície terrestre.

A exigência de dados multitemporais que caracterizassem a dinâmica da evolução geomorfológica recente da planície de inundação do rio Solimões fez com que se resgatasse a cobertura radargramétrica levada a efeito no início da década de 70, em toda a extensão da Amazônia Brasileira, através do sistema de radar de visada lateral aerotransportado (SLAR-Side Looking Airborne Radar) utilizado pelo Projeto RADAM (Radar na Amazônia). Desta forma, pôde-se efetuar as comparações com as imagens de satélite

¹Pesquisa realizada no INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, durante o VIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto, no período de maio a outubro de 1994, sob a orientação da Dr^a Evelyn Márcia Leão de Moraes Novo e com auxílio financeiro da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

obtidas nas faixas óptica e de microondas no princípio dos anos 90, resultando em um intervalo de cerca de 20 anos entre os dados multisensores/multitemporais.

Também através deste resgate tornou-se possível o estabelecimento de sinergismo de dados dos diversos sensores utilizados, permitindo a comparação entre bandas diferentes na faixa das microondas, como é o caso das bandas X do RADAM e L do satélite japonês JERS-1, assim como a complementariedade entre os produtos destes sensores e aqueles obtidos na faixa óptica pelo sensor TM do satélite Landsat.

A partir desta base de dados oriundos de SR e através de técnicas de processamento e análise digitais de imagens, este trabalho se propõe a:

a) comparar o desempenho das bandas X e L dos sensores de microondas, bem como das bandas 3, 4 e 5 do sensor óptico TM, quanto ao seu poder de discriminação de feições de interesse geomorfológico;

b) avaliar as composições multisensores e sua capacidade para discriminar feições de interesse geomorfológico;

c) estudar os processos de agradação e de erosão fluviais de um segmento da planície de inundação do rio Solimões a partir do uso de dados multitemporais e multisensores.

2 Área de Estudo

Como área de estudo foi escolhido o trecho do rio Solimões situado aproximadamente entre a cidade de Manacapuru e a foz do rio Negro, devido ao expressivo estreitamento verificado neste segmento da planície, em relação ao trecho a montante, que é bem mais largo, o que permitiu uma melhor observação e controle das alterações através da delimitação de uma área relativamente pequena, porém sujeita à mesma intensidade dos processos atuantes nos demais segmentos da planície fluvial do rio Solimões.

A área estudada está posicionada entre as coordenadas 3°00' e 3°30' de latitude sul e 60°00' e 60°30' de longitude oeste, localizando-se a sudoeste da cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, e incluindo parte de sua área urbana.

Topograficamente a área se caracteriza por apresentar pequena variação altimétrica, com cotas entre 50 e 100m na porção norte/nordeste e entre 25 e 50m nas partes sul e oeste, nas quais se inclui a planície de inundação do rio Solimões. O relevo é constituído, além das planícies fluviais e fluviolacustres, por modelados de dissecação em topos convexos, com densidade de drenagem muito fina e aprofundamento de drenagem muito fraco, e em topos tabulares, com densidade de

drenagem fina a média e aprofundamento de drenagem muito fraco a fraco [Projeto RADAMBRASIL (1978)].

Quanto aos aspectos geológicos, são encontradas aluviões fluviais holocênicas nas faixas de planície, enquanto nas áreas dissecadas verificam-se os sedimentos terciário-quadernários da Formação Solimões e os sedimentos cretáceos da Formação Álder do Chão [Projeto RADAMBRASIL (op. cit.)].

Os solos existentes nas áreas de planície são os Solos Aluviais eutróficos e os Gleissolos eutrófico e álico. Na área de dissecação em interflúvios tabulares elaborados sobre os sedimentos cretáceos encontra-se o Latossolo Amarelo álico, ao passo que no trecho correspondente aos dissecados em sedimentos plio-pleistocênicos verificam-se o Plintossolo álico nos topos tabulares e o Podzólico Vermelho-Amarelo álico nos topos convexos [Projeto RADAMBRASIL (op. cit.)].

A cobertura vegetal compõe-se principalmente pela Floresta Ombrófila Densa nos dissecados em topos tabulares e pelo Contato Floresta Ombrófila Densa Aluvial/Formações Pioneiras nas áreas de planícies fluviais e fluviolacustres. Nos topos convexos o predomínio é da Vegetação Secundária com palmeiras, enquanto que na faixa de planície entre os rios Solimões e Negro verifica-se a Vegetação Secundária sem palmeiras, em ambos os casos associadas a atividades agropecuárias [Projeto RADAMBRASIL (op. cit.)].

3 Fundamentação Teórica

A partir do entendimento de Sensoriamento Remoto como sendo “a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do Planeta Terra em suas mais diversas manifestações” [Novo (1989)], fica evidente a importância desta tecnologia vista como um sistema de coleta de dados voltado primordialmente para o levantamento e o monitoramento de recursos naturais e de alterações ambientais, principalmente de extensas áreas florestadas de difícil acesso e reconhecida insalubridade, como é o caso dos frágeis e diversificados ecossistemas que compõem a Amazônia brasileira, vitimados nas últimas décadas por um rápido, descontrolado e predatório processo de ocupação.

Considerando os sistemas orbitais, foi a partir de 1972, com o lançamento do primeiro satélite da série Landsat que o monitoramento de recursos terrestres, através de plataformas espaciais utilizadas como base para coleta de dados, tomou grande impulso e, com isso,

permitiu o rápido desenvolvimento das técnicas de SR nas mais diferentes áreas de aplicação e nos mais diversos campos do conhecimento.

O sistema Landsat compõe-se, até o momento, de uma série de 5 satélites, estando ainda em operação o último deles, lançado há mais de 10 anos, que corresponde à segunda geração da série, cujo sensor mais moderno a bordo é o Thematic Mapper (TM). Trata-se de um sensor óptico que opera nas faixas do visível e do infravermelho através de 7 bandas espectrais.

Nesta região do espectro eletromagnético as bandas referentes ao infravermelho proporcionam maior separabilidade das feições geomorfológicas, devido ao efeito de sombreamento que pode ser observado principalmente em regiões florestadas [Verstappen (1977)]. Através destes padrões de sombra e iluminação produzido pelas ondulações verifica-se uma melhor discriminação da rede de drenagem e, por conseqüência, uma melhor interpretação das formas de relevo. Neste sentido a banda TM-4 é freqüentemente utilizada para o mapeamento das feições geomorfológicas. A banda TM-5 também pode ser utilizada, pois realça a presença de corpos d'água e áreas úmidas.

Os instrumentos de SR adquirem informação sobre um objeto de interesse pela detecção e mensuração das mudanças que o mesmo impõe ao campo eletromagnético ao seu redor. Diferentemente dos sensores que operam no visível e no infravermelho próximo, onde a luz solar refletida é usada para adquirir informação sobre a composição química e a estrutura física do objeto que está sendo observado, os sensores radar que operam no microondas ativo adquirem a informação sobre a composição e as propriedades elétricas do objeto através da análise do sinal refletido quando o sensor ilumina este objeto com um feixe de ondas eletromagnéticas bem definido. Neste sentido as interações das ondas de radar com a superfície são dirigidas principalmente pelas características físicas (declividade, morfologia, rugosidade, heterogeneidade etc.) e elétricas (constante dielétrica, absorção, condutividade) da superfície, da subsuperfície e da cobertura da superfície [Elachi (1987)].

O ângulo de incidência dos pulsos de radar é uma variável importante no realçamento das feições de superfície. Quanto menor o ângulo de incidência maior é o retroespalhamento derivado da rugosidade da superfície dos alvos imageados. Na medida em que o ângulo de incidência aumenta, a rugosidade da superfície deixa de ser tão relevante e a topografia passa a modular o retroespalhamento. Assim sendo, radares orbitais, como o do ERS-1, com ângulo médio de

incidência de 23°, são principalmente úteis para o estudo da circulação oceânica porque são sensíveis à rugosidade da superfície do mar.

Já sensores como o SAR (Synthetic Aperture Radar) do JERS-1, devido ao maior ângulo médio de incidência (33°), são, teoricamente, mais adequados ao realce da topografia. Apesar disto, por se tratarem de sensores orbitais, o intervalo de ângulos de incidência proporcionados por esta geometria de aquisição é muito menor do que o encontrado em radares aerotransportados. Estes, devido à menor altitude, permitem o imageamento do terreno com ângulos de incidência menores, sendo, portanto, mais adequados à extração de informações sobre o relevo.

Por não depender do Sol como fonte de iluminação e pela capacidade de penetrar nuvens — e, por extensão, chuvas — é que os dados de sensores que operam na região das microondas vêm sendo cada vez mais utilizados para o levantamento de recursos naturais das regiões tropicais que apresentam intensa e freqüente cobertura de nuvens.

Outra forte razão para se optar pela utilização de dados obtidos por imageamentos feitos por radar de abertura sintética (SAR) seria sua penetração mais profunda na vegetação e no solo, o que por sua vez depende do conteúdo de umidade presente nos alvos, bem como do comprimento de onda das microondas.

Comprimentos de onda longos, como o da banda L (25 cm), têm um alto grau de penetração, o que resulta em uma imagem representando o retroespalhamento de um componente da subsuperfície. Já pequenos comprimentos de onda, como o da banda X (3 cm), geralmente dão um efeito de rugosidade mais pronunciado, resultando em imagens brilhantes, quase não-interpretáveis, nas áreas com textura excessivamente rugosa. Por isso, nas áreas mais planas é fundamental que se empreguem pequenos comprimentos de onda se alguma característica da superfície tiver de ser expressa na imagem [Trevett (1986)].

A informação obtida pelas microondas é diferente daquela obtida nas regiões do visível e do infravermelho, recomendando, sempre que as condições forem favoráveis, a utilização conjunta das três regiões, na medida em que os sensores que nelas operam são complementares entre si.

4 Materiais e Métodos

Foram utilizados os seguintes materiais: a) mosaico semi-controlado de radar da Folha SA.20-Z-D (Manaus), escala 1:250.000, banda X, obtido em 1971 pelo Projeto RADAM, através do sistema GEMS, com

resolução de 10 x 12m; b) imagem digital de radar, obtida em 01/10/93 pelo satélite JERS-1, banda L, com resolução de 18 x 18m; c) imagem digital do sensor óptico TM, obtida em 08/08/91 pelo satélite Landsat-5, bandas 3,4 e 5 da órbita 231 ponto 62D, com resolução de 30 x 30m; d) carta planimétrica da Folha SA.20-Z-D (Manaus), escala 1:250.000, editada em 1978 pelo Projeto RADAMBRASIL.

Os principais equipamentos e sistemas utilizados foram: a) *scanner* de mesa para digitalização do mosaico de radar; b) SITIM - Sistema Interativo de Tratamento de Imagens, criado e desenvolvido pelo INPE para manipulação e tratamento de imagens de sensoriamento remoto e imagens temáticas.

As técnicas de processamento digital de imagens podem ser classificadas em três conjuntos: pré-processamento, realce e classificação [Novo (op. cit.)]. Neste estudo foram aplicadas técnicas relativas apenas aos dois primeiros conjuntos. O pré-processamento correspondeu à correção das distorções geométricas existentes entre as imagens e os mapas, através da técnica denominada registro. A aplicação da técnica de registro imagem-imagem é importante quando se deseja avaliar as alterações espectrais sofridas por determinado alvo dentro de um espaço de tempo [Mascarenhas-Velasco (1989)].

Ainda na etapa de correção geométrica efetuou-se o registro imagem-mapa visando reorganizar os pixels das imagens em relação a um determinado sistema de projeção cartográfica, de modo que estas pudessem ser corretamente sobrepostas a outros dados da área.

Dentre as técnicas de realce de imagens utilizou-se a manipulação de contraste, visando melhorar a visualização da imagem através do realce de feições que apresentem baixo contraste.

Quanto às técnicas de processamento digital de imagens que permitem a detecção de alterações de alvos e a integração de dados multisensores, gerando produtos multitemporais, utilizou-se primeiramente a razão de bandas, entre as bandas L e X dos sensores SAR, visando avaliar o efeito conjunto das informações contidas nas bandas multitemporais da faixa de microondas, quando combinadas com as bandas da faixa óptica referentes ao sensor TM, bem como detectar as mudanças ocorridas entre imageamentos separados por um intervalo de mais de 20 anos.

Uma outra técnica utilizada foi a transformação IHS, tendo como finalidade a fusão dos dados TM com os dados SAR. Partiu-se de uma composição colorida formada pelas três bandas do sensor TM para fazer a transformação RGB→IHS, substituindo-se a componente I por uma imagem pancromática,

correspondente à banda L do sensor radar, e procedendo-se a transformação inversa para o domínio RGB.

O passo seguinte foi dado com a utilização do recurso das composições coloridas, obtidas através da combinação de dados multisensores/multitemporais, objetivando realçar e melhor visualizar as alterações ocorridas na planície de inundação. As diferentes bandas do TM foram conjugadas às bandas L e X do SAR, procurando-se sempre associar a banda X, ou a razão de bandas que incluía esta banda, devido ao interesse multitemporal envolvido na análise em curso.

5 Resultados Obtidos

Da análise comparativa entre as bandas X e L das imagens SAR, visando avaliar seu poder de discriminação de feições de interesse geomorfológico, fica evidenciado que a banda X, por ter um menor comprimento de onda e um maior ângulo de incidência, devido ao caráter aerotransportado e, portanto, à baixa altitude do levantamento radargramétrico, apresenta nítida superioridade em relação à banda L.

A imagem SAR-X revela com extrema nitidez a rugosidade tanto da cobertura vegetal quanto das formas de relevo, sejam elas relativas à planície de inundação ou aos modelados de dissecação. O efeito de sombreamento é bastante pronunciado, permitindo o delineamento dos canais de drenagem, principalmente os que cortam as áreas dissecadas em interflúvios tabulares, bem como destacando os feixes de diques aluviais.

Os corpos d'água aparecem de forma bem destacada em ambas as bandas, porém, devido ao maior poder de penetração da banda L e, conseqüentemente, sua maior capacidade de detectar áreas úmidas, as superfícies dos lagos são sensivelmente maiores nesta banda. Ressalva-se que esta imagem foi tomada no auge da época de vazante, o que descarta um possível erro de interpretação por ter havido elevação do nível da lâmina d'água. A banda X, por sua vez, permite uma melhor definição da vegetação pioneira que acompanha a deposição dos deltas localizados no interior dos lagos, colocando em evidência estas feições através da vegetação que coloniza os depósitos marginais aos furos que levam a água dos rios para os lagos e vice-versa.

A razão entre as bandas L e X dos sensores SAR, devido ao seu caráter multitemporal, ressalta as modificações ocorridas nas feições geomorfológicas entre duas épocas distintas, permitindo a identificação dos trechos da planície de inundação onde houve acréscimos por agradação (tons claros) ou desaparecimento por erosão (tons escuros) (Figura 1). Nos lagos observa-se os deltas internos em tons escuros,

sugerindo que houve uma diminuição da sua área, porém, conforme explicado anteriormente, trata-se apenas de uma maior sensibilidade da banda X em detectar estas feições.

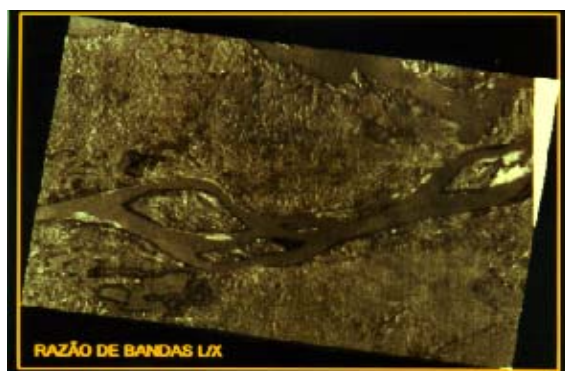


Figura 1 - Razão de bandas SAR - L e X

Na faixa óptica, representada pelas bandas 3, 4 e 5 do TM, confirma-se o melhor desempenho da banda 4 para a discriminação de feições geomorfológicas de modo geral, seguida da banda 5 que, assim como a 4, possibilita uma excelente visualização dos corpos d'água, permitindo o delineamento dos cordões arenosos, entremeados por lagos de forma alongada, que definem o padrão de evolução recente da planície. A banda 3, por se situar na região do visível, permite a discriminação das diferentes colorações de água existentes entre os rios Solimões e Negro e entre o Solimões e os lagos adjacentes a ele.

Quanto às composições coloridas multisensores e multitemporais observa-se uma maior capacidade de discriminação das formas de relevo quando é colocada a imagem SAR-X, ou a razão de bandas SAR, como uma das bandas que compõem o triplete (Figura 2). Embora tenha se verificado uma boa discriminação topográfica na composição feita unicamente com as bandas do TM, é nas composições em que a estas bandas foi associada a banda SAR-X que se verifica uma melhor definição e interpretabilidade das formas de dissecação e uma boa separabilidade entre a faixa de diques ou cordões aluviais e a faixa da planície de inundação, correspondente à textura mais fina na imagem. Esta textura foi definida como pertencente à uma fase de decantação homogênea de aluviões, relativamente mais antiga que a fase de diques aluviais e mais recente que as fases relativas aos lagos e aos terraços fluviais [Costa et al. (1978)].

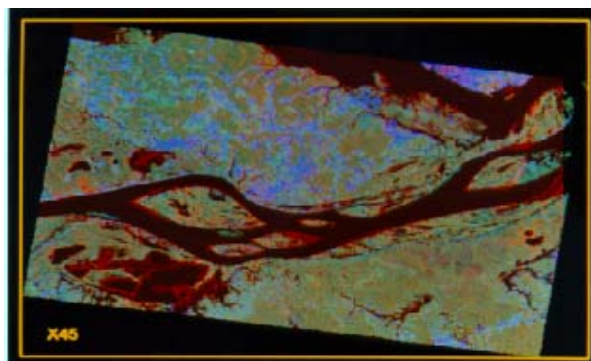


Figura 2 - Composição de bandas SAR-X e TM 4 e 5

A composição feita através da substituição da componente I da transformação IHS pela banda SAR-L, sem a transformação inversa para o domínio RGB, demonstrou possuir uma boa capacidade de discriminação apenas das feições correspondentes aos diques aluviais e aos corpos d'água, sendo mais adequada à separação das áreas agrícolas ocupadas com culturas anuais, devido ao realce dado a estas feições por este tipo de transformação [Pereira et al. (1994)].

A utilização de composições de bandas multisensores/multitemporais permitiu que fossem visualizados, em uma só imagem, dois momentos, separados por um intervalo de duas décadas, na evolução de um pequeno trecho da planície do rio Solimões. Isto possibilitou a definição de algumas tendências em relação aos processos de agradaciação e erosão fluviais recentes, cujo resultado na geometria do canal e das ilhas são alterações que podem ser consideradas como de grande magnitude em relação ao curto período de tempo em que as mesmas ocorreram.

A mais expressiva alteração observada neste segmento da planície foi a que se verificou na ilha Marchantaria, ou ilha dos Mouras, localizada ao sul de Manaus, a montante da foz do rio Negro. Esta ilha aparece na imagem SAR-X de 1971 com cerca de 19,5 km², ao passo que na imagem TM obtida em 1991 sua área passa a ter aproximadamente 27,5 km², correspondendo a um crescimento de cerca de 8 km² em apenas 20 anos. Salienta-se aqui que a banda TM refere-se a uma passagem efetuada no mês de agosto, portanto no início do período correspondente à vazante, quando a lâmina d'água ainda não havia chegado ao seu nível mais baixo, o que só acontece nos meses de outubro e novembro [Soares (1977)]. Isto descarta, portanto, uma possível interferência da variação do nível das águas na constatação acima.

Ressalta-se também que, simultaneamente ao crescimento da ilha Marchantaria, as margens contíguas ao trecho onde ocorreu o processo de agradação, principalmente a margem direita, passaram por intenso processo de erosão, tendo a geometria do canal se alterado para se ajustar às novas condições do fluxo d'água imprimidas pela recente configuração espacial da ilha.

Contraopondo-se ao processo de agradação acima referido, observou-se uma expressiva redução no tamanho da ilha Jacurutu, mais precisamente no seu trecho a jusante, enquanto que na ilha Paciência verificou-se uma ligeira atuação dos processos erosivos no segmento a montante. Entre estas duas ilhas foi detectado o aparecimento de uma nova ilha, bem como ficou nítida a tendência de unificação das ilhas Muratu e Jacurutu, dado o processo de sedimentação que se observa estar ocorrendo entre ambas.

Quanto aos depósitos tipo deltáicos que ocorrem no interior dos lagos, não foi possível estabelecer uma seqüência evolutiva para este tipo de sedimentação, desde que, como já foi visto, na imagem SAR-X estas feições ocupam áreas muito maiores do que aquelas mostradas nas imagens mais recentes, seja na faixa óptica ou na de microondas. Descarta-se, mais uma vez, uma possível influência da variação do nível das águas, desde que todas as bandas foram registradas e a banda SAR-L foi obtida no período em que o rio Solimões normalmente atinge o seu nível mais baixo.

Conforme trabalhos de campo realizados na área em 1976, verificou-se que, através de um intenso processo de colmatagem, havia muita rapidez na evolução dos deltas internos e que sua formação seria concomitante à instalação da vegetação pioneira, composta por gramíneas, que contribuiria no processo de colmatagem de modo a fixar os sedimentos [Costa et al. (op. cit.)].

Aliada ao maior poder da banda SAR-X em discriminar os deltas internos, uma outra provável explicação para a diminuição ou o desaparecimento das feições deltáicas nas imagens recentes é o fato de que quando o nível das águas torna-se mais baixo e o fluxo passa a se dar no sentido lago-rio, pode ocorrer o desaparecimento da vegetação flutuante que acompanha os canais formados pela entrada, no período das cheias, do fluxo proveniente dos rios para os lagos, desde que este tipo de vegetação se alimenta dos nutrientes contidos nas águas carregadas de sedimentos em suspensão.

6 Conclusão

O trabalho desenvolvido em um pequeno recorte espacial da vasta Região Amazônica revelou que, a despeito do enfoque geomorfológico e do exíguo tempo disponível para sua realização, a utilização dos recursos e das técnicas de SR pode contribuir para um melhor e mais detalhado conhecimento científico de uma região ainda bastante carente de pesquisas multi e interdisciplinares que possam vir a melhor explicar o funcionamento e as tendências evolutivas dos seus sistemas naturais.

O conhecimento e a espacialização destes sistemas naturais requerem as visões sinótica, multitemporal e multiespectral proporcionadas pelos produtos de SR. Estes, na medida em que auxiliam no levantamento e na análise das características dos componentes que, de forma integrada, compõem a estrutura e definem os processos atuantes no meio físico, permitem, em última instância, definir a composição e compreender o funcionamento dos sistemas ambientais.

Referências

- Christofolletti, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo, Edgard Blücher, 1981. 313p.
- Costa, R.C.R.; Natali-Filho, T.; Oliveira, A.A.B. *Geomorfologia*. Folha SA.20 Manaus. In: Brasil. DNPM. Projeto RADAMBRASIL. *Folha SA.20 Manaus: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1978. p.165-244. (Levantamento de Recursos Naturais, 18).
- Cunha, S.B. *Geomorfologia fluvial*. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. (org.) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1994. p.211-252.
- Elachi, C. *Spaceborne radar remote sensing: applications and techniques*. New York, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, 1987. 255p.
- Mascarenhas, N.D.A.; Velasco, F.R.D. *Processamento digital de imagens*. São Paulo, 4ª Escola de Computação/IME-USP, 1984. 235p.
- Novo, E.M.L.M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo, Edgard Blücher, 1989. 308p.
- Pereira, M.N.; Kurkdjian, M.L.N.O.; Pinto, S.A.F. *Técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para mapeamento e análise do uso da terra*. São José dos Campos, INPE, 1994, 19p.

Projeto RADAMBRASIL. *Folha SA.20 Manaus: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, 1978. 623p. (Levantamento de Recursos Naturais, 18).

Soares, L.C. Hidrografia. In: *Geografia do Brasil: região norte*. Rio de Janeiro, IBGE, 1977. p.95-166.

Trevett, J.W. *Imaging radar for resources surveys*. London, Chapman and Hall, 1986. 313p.

Verstappen, H.T. *Remote sensing in geomorphology*. Amsterdam, Elsevier, 1977. 214p.