

## Utilização do algoritmo *morphing* em imagens JERS-1 SAR para visualização de um fenômeno sazonal na Amazônia

Patricia Mamede da Silva <sup>1</sup>  
Luiz Landau <sup>1</sup>  
Fernando Pellon de Miranda <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia - LAMCE/COPPE/UFRJ - CT, Bloco I-214, Cidade Universitária – 21.949-900 – Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
{landau, patmamed}@lamce.coppe.ufrj.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras - CENPES – Av. Horácio Macedo, 950, Cidade Universitária, Ilha do Fundão – 21.941-915 – Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
fmiranda@petrobras.com.br

**Abstract.** The great fluvial systems in Amazonia are constituted by extensive floodable areas. High values of precipitation in this region favour the development of a dense drainage network that, in association with large lowland areas, results in periodic inundations along river margins. One peculiar aspect of the Amazonian region is the modification throughout the year of the environmental sensitivity to oil spills. The extension of floodable areas and its corresponding social and environmental sensitivity vary continuously as a function of the water level in the floodplain. Any changes in these sensitivity indexes are strictly related to fluvial dynamics. Georeferenced mosaics of JERS-1 SAR images corresponding to dry and wet seasons, as well as to flooding and receding waters, were used in this study. They fully portray the dynamics of the hydrological cycle. These products were chosen for scientific visualization by means of the *morphing* algorithm. Such a procedure made a given mosaic morphologically suitable to the next one according to the temporal sequence of the hydrological cycle. To achieve this objective, selected characteristics of a given mosaic were linearly combined to the ones of the next mosaic. The entire process was shown as an animation. Further conversion of each frame to image format was also carried out. The image database thus formed allowed the visualization of the hydrological scenario corresponding to maximum flooding.

**Palavras-chave:** environmental modeling, oil spill sensivity, floodable ecosystem, modelagem ambiental, sensibilidade a derramamentos de óleo, ecossistema inundável.

### 1. Introdução

Áreas inundáveis são aquelas que recebem periodicamente o aporte lateral das águas de rios e lagos, da precipitação direta ou de lençóis subterrâneos, sendo de particular interesse aquelas associadas a rios e lagos na Amazônia. As variações físico-químicas resultantes do fenômeno de cheias e vazantes periódicas na região caracterizam um sistema hidrológico e geológico singularmente distinto.

Na Amazônia, as variações topográficas podem resultar em diferenças na amplitude e tempo de inundação anual, fatores determinantes nos padrões observados de riqueza, diversidade e composição das espécies (Ayres, 1986; Junk, 1989).

Estudos sobre a influência exercida pelo pulso das cheias e vazantes na constituição da paisagem limnológica são importantes para o monitoramento ambiental de tais áreas. Estas pesquisas podem ser limitadas devido à distância, tempo, custos envolvidos, escalas, segurança ou complexidade do cenário real, de forma que o emprego da visualização científica permite a criação de um laboratório de campo virtual para a investigação de propriedades ambientais.

Os possíveis danos decorrentes das atividades petrolíferas podem ser uma grave ameaça à conservação ambiental nos trechos sob a influência de tal indústria (Jensen et al., 1993). A importância do monitoramento ambiental destas áreas é realçada pelo índice de sensibilidade a derramamentos de óleo que caracteriza suas porções inundáveis. Para a Amazônia, Araújo et al. (2002) definiram o Índice de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo adaptado

às suas feições fluviais, conforme apresentado na Tabela 1. Para a definição dos índices, foram levadas em consideração as peculiaridades desse ambiente, as quais apresentem graus de sensibilidade variável dependendo da época do ano.

Na Amazônia, a sazonalidade das inundações torna essa questão sobre modo complexa, requerendo a concepção de abordagens especificamente concebidas para tratar tal fenômeno (Beisl, 2009). As imagens JERS-1 SAR são capazes de identificar vegetação arbórea alagada (índice 10b na Tabela 1), pois, quando o pulso do radar se reflete nos troncos e na superfície lisa da água, após penetrar o dossel florestal, ocorrem reflexões duplas (*double bounce*). Como resultado, o sinal de retorno é fortíssimo e a imagem de amplitude apresenta tonalidade muito clara. Ao contrário, quando não há vegetação, o solo torna-se geralmente liso no comprimento de onda de 23,5 cm do JERS-1 SAR. Nesse caso, o pulso do radar será refletido para longe da antena, o que fará com que essas áreas da imagem pareçam escuras. Pela mesma razão, rios e massas d'água como reservatórios, lagos, lagoas, dentre outros, se apresentam bem escuros nas imagens SAR, quando não há vento (Figura 1). As florestas de terra firme são usualmente caracterizadas por forte retorno, pois o pulso incidente é espalhado difusamente, com uma boa quantidade de energia voltando ao sensor. Nessa situação, a imagem assume uma tonalidade intermediária (Beisl et al., 2002).

### 1.1 Objetivo

Diante do exposto acima, o objetivo do trabalho foi criar um sistema de visualização científica 2D, utilizando o algoritmo *morphing*, com o intuito de gerar informações que pudessem dar suporte à modelagem hidrodinâmica do Rio Solimões de forma colaborativa. Tal sistema deve ao mesmo tempo, fornecer produtos temáticos diários com informações hidrológicas relevantes para subsidiar a classificação da sensibilidade ambiental da região com alta resolução temporal.

Este tipo de visualização se propõe a verificar a influência exercida pela sazonalidade do nível das águas na constituição da paisagem limnológica da Amazônia, bem como a buscar o entendimento e a caracterização do comportamento dinâmico dos ecossistemas inundáveis.

### 1.2 Localização da Área

A região investigada está inserida na planície aluvial do Rio Solimões, Estado do Amazonas, no trecho Coari-Manaus, como mostrado na Figura 2, abrangendo os municípios de Codajás, Anori, Beruri, Anamá e Coari e estando compreendida entre as latitudes 3°30' a 4°10' sul e longitudes 61° a 63°30' oeste. Esta região integra a rota de escoamento, que passa pelo Terminal do Solimões (TESOL) e segue até a refinaria da Petrobras em Manaus (REMAN), de óleo cru e GLP (gás liquefeito de petróleo) produzidos na Província Petrolífera de Urucu.

A área investigada no presente estudo abrange 126,00 km x 79,80 km e inclui as estações da Agência Nacional de Águas (ANA) intituladas Codajás, Anamá, e Beruri. As imagens JERS-1 SAR ali obtidas, foram selecionadas para visualização com o uso do algoritmo *morphing*.

## 2. Metodologia de Trabalho

O algoritmo *morphing* tem por finalidade gerar uma animação transformando sucessivamente um objeto em outro. A entrada de dados é composta por duas imagens, por um lista introduzida pelo usuário com o mapeamento das características correspondentes dos objetos nas duas imagens, e por um valor de 0% a 100%, que indica o grau de transformação do primeiro objeto no segundo. O algoritmo aplica uma distorção (*warping*) em cada imagem e promove sua combinação em um só produto (*blending*).

O processo de harmonização entre uma imagem e outra promove a fusão dos dois, de forma que a cor de um ponto da imagem final pode ser obtida como combinação linear das cores originais, proporcionalmente ao grau de transformação (Nogueira et al., 2003).

Para o estudo da dinâmica sazonal do ciclo hidrológico, foram escolhidas as imagens do satélite japonês JERS-1 (*Japanese Earth Resources Sattelite-1*), referentes ao sensor SAR (*Synthetic Aperture Radar*), correspondendo às épocas de seca, enchente, cheia e vazante do ciclo hidrológico (Figura 3). Esta decisão baseou-se nas características da faixa de microondas do espectro eletromagnético, que são adequadas para estudos ligados à área ambiental em florestas tropicais úmidas, especialmente no mapeamento de áreas inundáveis (Neves, 2005). Em tais mosaicos, foi aplicado o algoritmo de classificação intitulado *Unsupervised Semivariogram Textural Classifier* (USTC), cuja descrição encontra-se em Miranda et al. (1997). As três classes de cobertura individualizadas nesse procedimento foram água (azul), floresta inundada + vegetação flutuante (amarelo) e floresta de terra firme (verde) (Beisl et al., 2002).

A entrada de dados no *morphing* foi composta por duas imagens de satélite, seguida de um mapeamento das características correspondentes nas duas imagens introduzidas pelo usuário (Figura 4). O algoritmo aplicou uma distorção em cada imagem e promoveu sua combinação em um só produto, através da suavização da área de transição entre elas. Este procedimento foi repetido para todos os pares de imagens correspondentes a cada período do ciclo hidrológico, *i.e.*, seca, enchente, cheia e vazante.

Além da visualização, o procedimento criou uma adequação morfológica de um mosaico a outro, obedecendo a seqüência do ciclo hidrológico e combinando linearmente características selecionadas nas imagens de origem e destino. Por meio do método de interpolação linear com o qual o *morphing* trabalha, foram geradas novas imagens intermediárias no tempo às preexistentes (Figura 5). No final do experimento, por ocasião do fechamento do ciclo hidrológico anual, foram obtidas 361 imagens que, somadas às 4 preexistentes, totalizaram 365 produtos (um para cada dia juliano).

Tal seqüência de imagens pode ser obtida através de *softwares* que realizam a conversão de arquivos de vídeo em imagens sequenciais. Existem vários deles disponíveis na literatura, os quais podem ser adquiridos gratuitamente. Com essa conversão, tornou-se factível recuperar uma imagem intermediária no tempo aos mosaicos JERS-1 SAR pré-existentes, com o objetivo de estudar cenários hidrológicos de interesse.

A série histórica do nível da água na estação de Codajás, no período referente à aquisição das imagens que compõem os mosaicos JERS-1 SAR utilizados nesta pesquisa (Figura 6a), expressa didaticamente a sazonalidade que caracteriza a região amazônica. A análise do comportamento de sua derivada primeira, ilustrada na Figura 6b, indica que (1) valores máximos (positivos) indicam máximos de enchente, (2) valores nulos indicam, respectivamente, a cheia e a seca máximas e (3) valores mínimos (negativos) indicam vazante máxima. Do ponto de vista de um acidente com derramamento de óleo, o pior cenário é a enchente máxima, pois o produto será conduzido pela corrente fluvial para o interior das florestas inundadas.

A metodologia aqui proposta permite selecionar o produto intermediário, no banco de imagens gerado com o *morphing*, correspondente ao dia em que a enchente máxima ocorreu, conforme determinado na Figura 6b. Assim é possível realizar a cartografia temática do evento hidrológico ocorrido na região naquele dado momento do ciclo. Tal afirmativa é igualmente válida para os demais cenários definidos na Figura 6b.

### 3. Resultados e Discussão

Uma característica peculiar da Amazônia é a alteração da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo de acordo com a época do ano. A extensão da área inundável e sua

sensibilidade variam continuamente em função da sazonalidade do nível das águas nos rios. Considerando que qualquer avaliação dessa sensibilidade deve levar em conta tal dinâmica, procurou-se no presente trabalho representá-la utilizando técnicas de visualização científica.

Os produtos JERS-1 SAR selecionados para visualização permitem a identificação de florestas inundadas, ou seja, do ambiente com maior índice de sensibilidade fluvial da Amazônia a derramamentos de óleo (índice 10b). O algoritmo *morphing* realizou uma adequação morfológica de um mosaico a outro, obedecendo a seqüência do ciclo hidrológico e combinando linearmente características selecionadas nas imagens de origem e destino. O processo inteiro foi exibido na forma de animação, com a subsequente conversão dos arquivos de vídeo em seqüência de imagens. Tal procedimento permitiu selecionar a imagem intermediária correspondente, por exemplo, a um cenário de enchente máxima, no qual são potencialmente maiores os danos causados por um derramamento de óleo, pois a corrente fluvial conduz o poluente para o interior das florestas inundadas. Foram gerados no presente trabalho outros produtos intermediários, correspondentes à cheia, vazante e seca máximas, conforme determinados no gráfico da derivada primeira da série histórica do nível da água na estação de Codajás.

Observou-se, entretanto, o surgimento de informação cromática espúria nos produtos intermediários do *morphing*, com cores diferentes daquelas que representavam as classes temáticas nos mosaicos de imagens JERS-1 SAR classificado com o *Unsupervised Semivariogram Textural Classifier* (USTC). Ainda assim, espera-se que os produtos intermediários do algoritmo de visualização científica utilizado sejam úteis para a cartografia tentativa da distribuição no terreno dos índices de sensibilidade 10b (vegetação alagada) e 10a (banco de macrófitas aquáticas). Tal mapeamento deve se basear na interpretação visual das imagens intermediárias geradas com o *morphing*.

#### 4. Conclusões

A técnica de geração de imagens através do *morphing* envolve a interpolação simultânea da cor e da posição dos pontos correspondentes para obter as imagens intermediárias. Quando exibidas em seqüência contínua, tais produtos intermediários fornecem a animação da transformação da imagem origem na imagem destino. Porém, seus resultados remetem para a necessidade da busca de outros métodos de interpolação que não o linear, pois seus produtos não pareceram integralmente realistas na representação da região em estudo.

O que torna esse processo uma tarefa difícil é o desafio de se conseguir representar a não linearidade da elevação ou rebaixamento do nível dos rios na região amazônica. Ainda assim, espera-se que a alternativa metodológica aqui apresentada permita inspirar desdobramentos experimentais futuros para a definição e o mapeamento de áreas de grande sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Amazônia.

#### Referências Bibliográficas

Ayres, J. M. White Uakaris and flooded forests. 1986. 338f. Tese - Cambridge University, Cambridge, 1986.

Araújo, S. I.; Silva, G. H.; Muehe, D. C. E. H.; Pereira, T. A. A. Adaptação do Índice de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo da *National Oceanic and Atmospheric Administration* – NOAA às Feições Fluviais Amazônicas. Comunicação Técnica BIO No 24. Petrobras, Rio de Janeiro, 2002, 40 p.

Beisl, C. H.; Miranda, F.P.; Pedroso, E.C. Generation of Oil Sensitivity Index Information in Western Amazonia, Brazil, Using Dual Season SAR Image Mosaics of the Global Rain Forest Mapping Project. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2002, Belo Horizonte. Artigos, p. 823-830. Maio, 2002.

Beisl, C. H. Utilização de mosaicos JERS-1 SAR e de lógica *fuzzy* para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental temporal a derrames de óleo na Amazônia Central. 196 p. Tese (doutorado) - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro. 2009.

Jensen, J.R.; Murday, M.; Sexton, W.J.; Green, C.J. Coastal environment sensitivity mapping for oil spills in the United Arab Emirates using remote sensing and GIS technology. **Geocarto International**, 1993. vol. 2: p. 5-13.

Junk, W. J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonia floodplains. In: Holm-Nielsen, L. B.; Balslev, H. (eds.) *Tropical Forest Botanical Dynamics. Speciation and Diversity*. Academic Press Limited. London, 1989. Artigos, p.47-64.

Miranda, F. P.; Fonseca, L. E. N.; Beisl, C. H.; Rosenqvist, A.; Figueiredo, M. D. M. A. M. Seasonal Mapping of Flooding Extent in the Vicinity of the Balbina Dam (Central Amazonia) Using RADARSAT-1 and JERS-1 SAR Data. *Proceedings of the International Symposium Geomatics in the Era of RADARSAT (GER'97)*, 1997, paper available in CR-ROM format.

Neves, K. B. L. Avaliação da Relação entre Doenças Hídricas e Inundações por Meio de Imagens de RADAR JERS-1. Estudo de Caso: Bacia do Rio Madeira, Rondônia. Dissertação - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ. 2005.

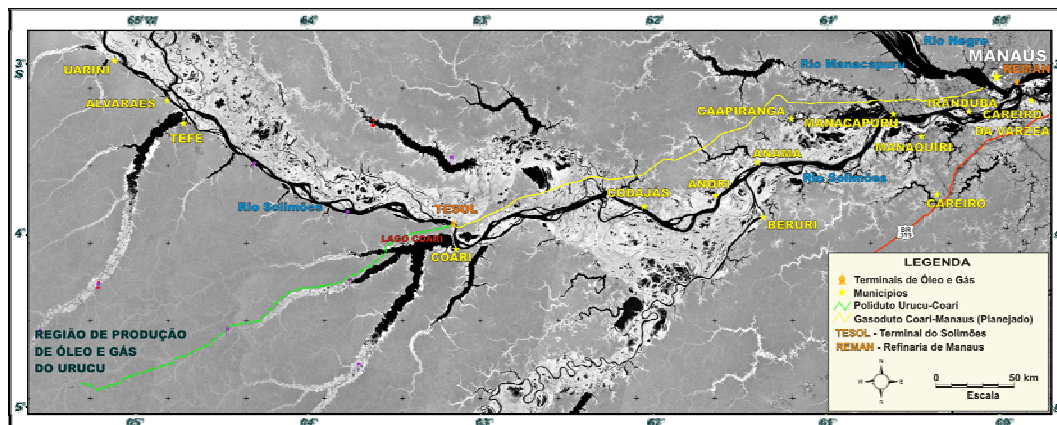
Nogueira, A.; Prata, E.; Velho, L. Visualização de Objetos Tridimensionais Baseada em Interpolação Projetiva. In: *Anais do I Workshop de Trabalhos de Iniciação Científica em Computação Gráfica e Processamento de Imagens. WICCGPI'2003*.

Silva, P. M. Visualização Científica de um Fenômeno Hidrológico na Amazônia com Variação Sazonal. Dissertação – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2006.

Tabela 1 – Índice de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo das Feições Fluviais Amazônicas. A sensibilidade é maior quanto mais elevado for o valor do índice.

ÍNDICE DE SENSIBILIDADE FLUVIAL DA REGIÃO AMAZÔNICA A DERRAMAMENTO DE ÓLEO	
Índice	Feição
1	Estruturas artificiais
2	Laje ou afloramento rochoso
3	Corredeira/cachoeira
4	Escarpa/barranco
5	Praia ou banco de areia/seixo exposta
6	Praia ou banco de areia/seixo abrigada
7	Praia ou banco de lama exposto
8	Praia ou banco de lama abrigado
9	Zona de confluência de rios e lagos
10a	Banco de macrófitas aquáticas
10b	Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo etc.)

Fonte: Araújo et al., 2002



Fonte: Beisl, 2009

Figura 1 – Mosaico de imagens JERS-1 SAR obtido pelo *Global Rain Forest Mapping Project*, no trecho que vai da província Petrolífera de Urucu a Manaus. Áreas muito claras representam vegetação alagada. Áreas escuras estão associadas a massas d'água. Áreas de tonalidade média correspondem a florestas de terra firme.

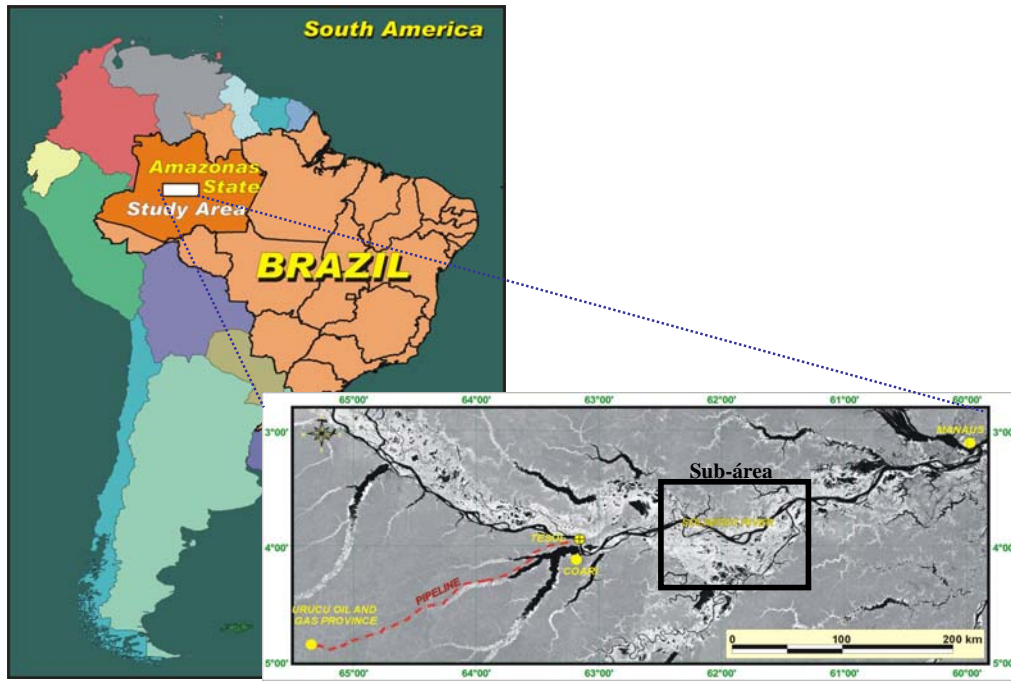
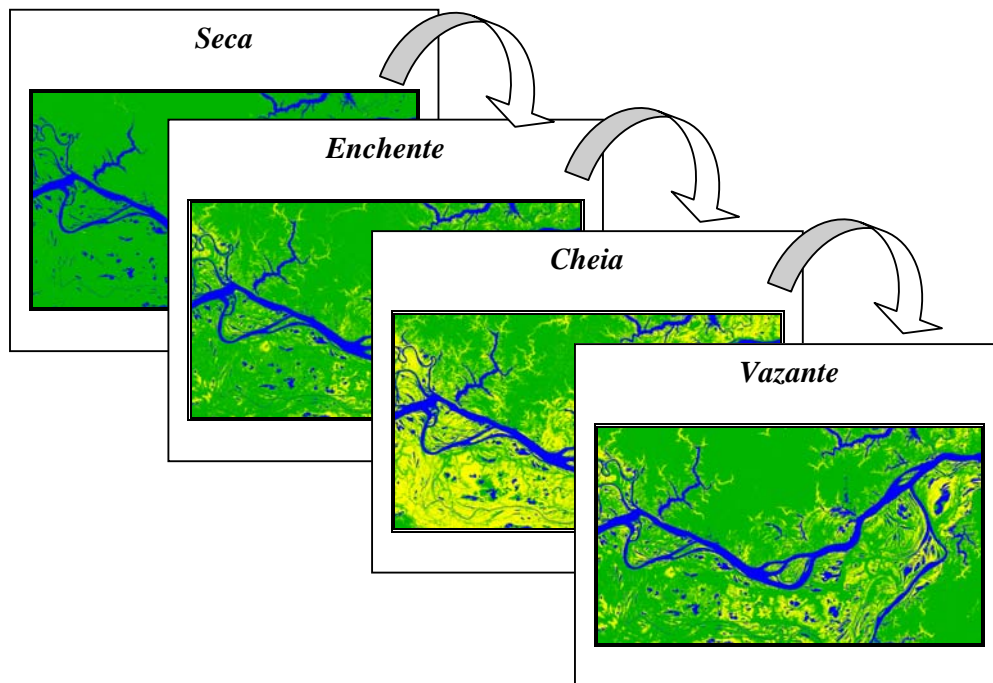


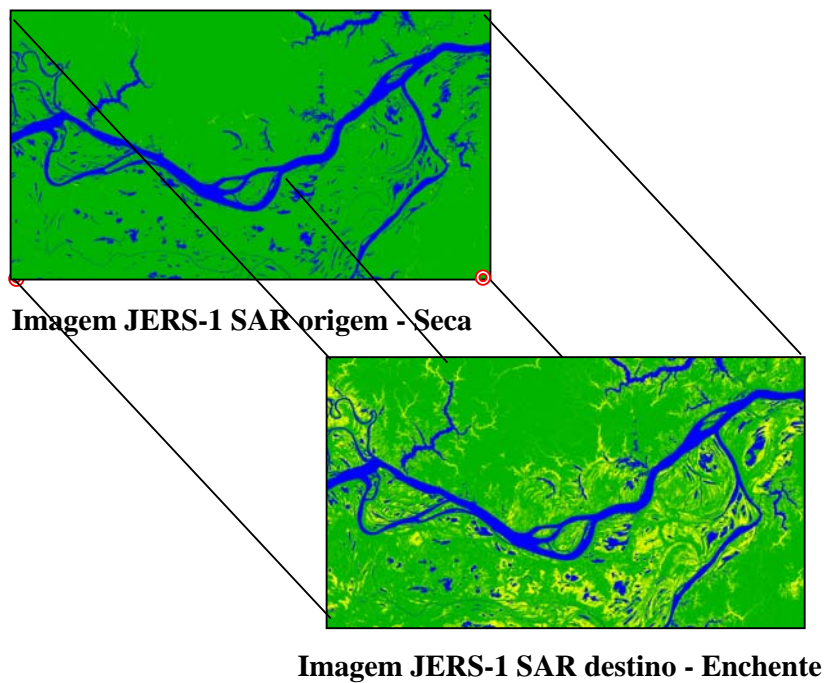
Figura 2 – Mapa de localização, no qual se identifica a sub-área submetida ao processo de visualização.



Fonte: Beisl, 2009

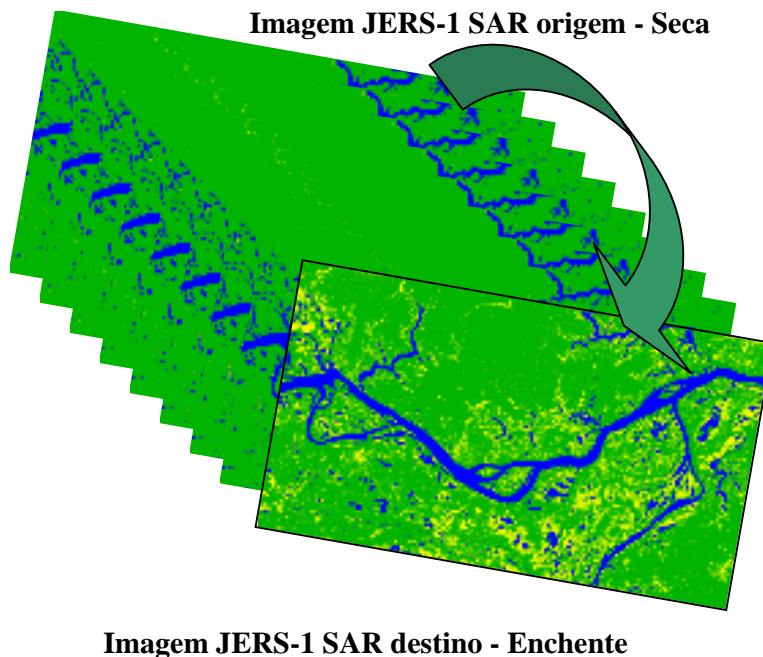
Figura 3 – *Frames* de imagens JERS-1 SAR selecionados para visualização através do *morphing*. Ver localização na Figura 2.





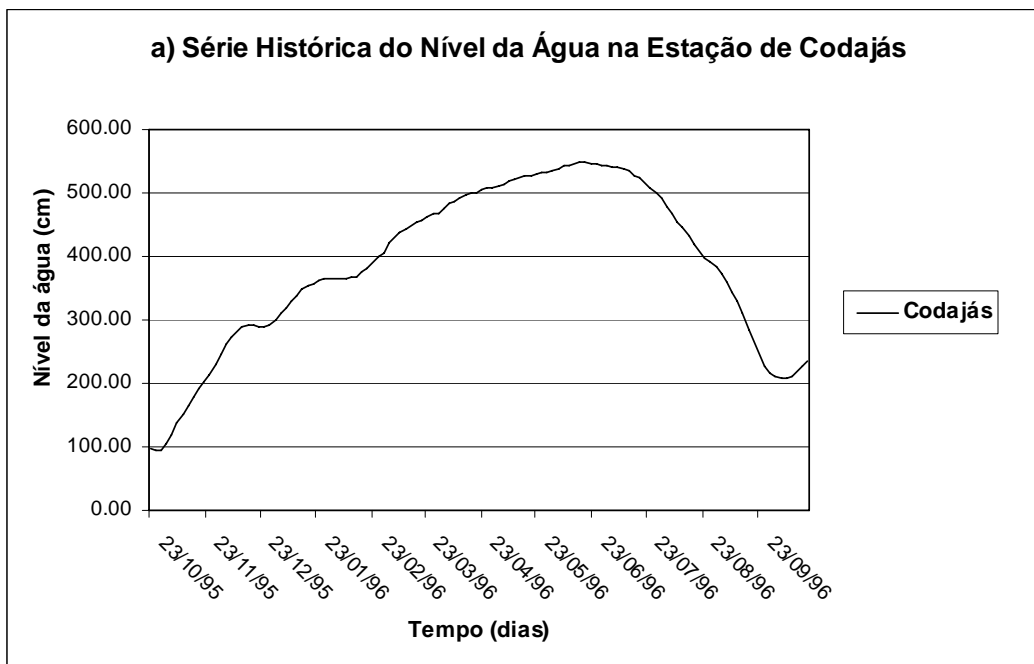
Fonte: Silva, 2006

Figura 4 - Vetores de rastreamento em cada imagem.

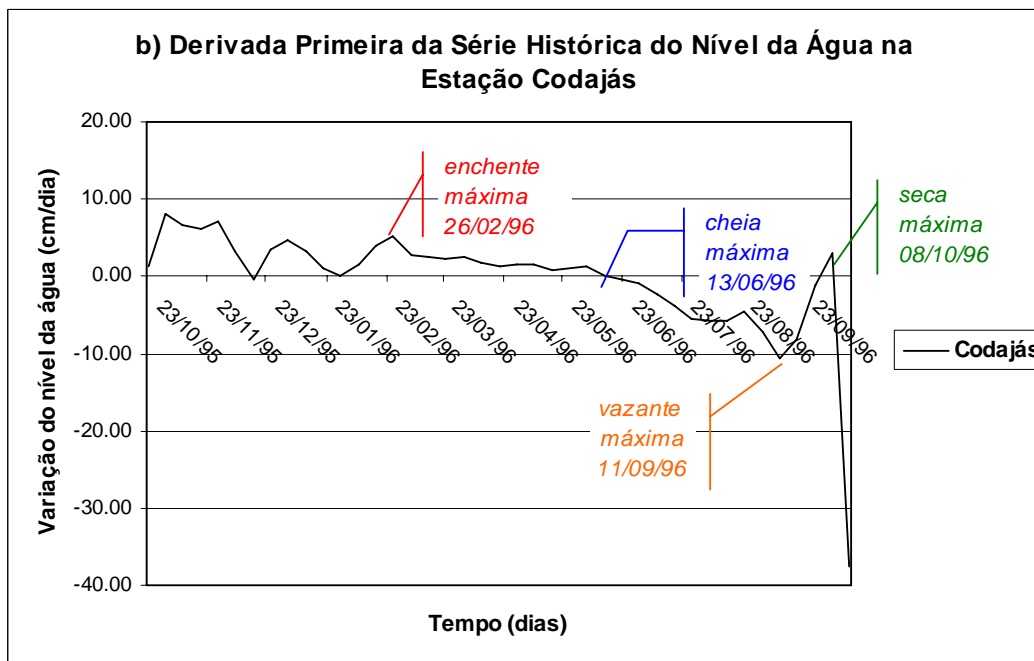


Fonte: Silva, 2006

Figura 5 - Esquema de desenvolvimento de mapas através do *Morphing*.



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)



Fonte: Silva, 2006

Figura 6 – Análise da série histórica da estação de Codajás.