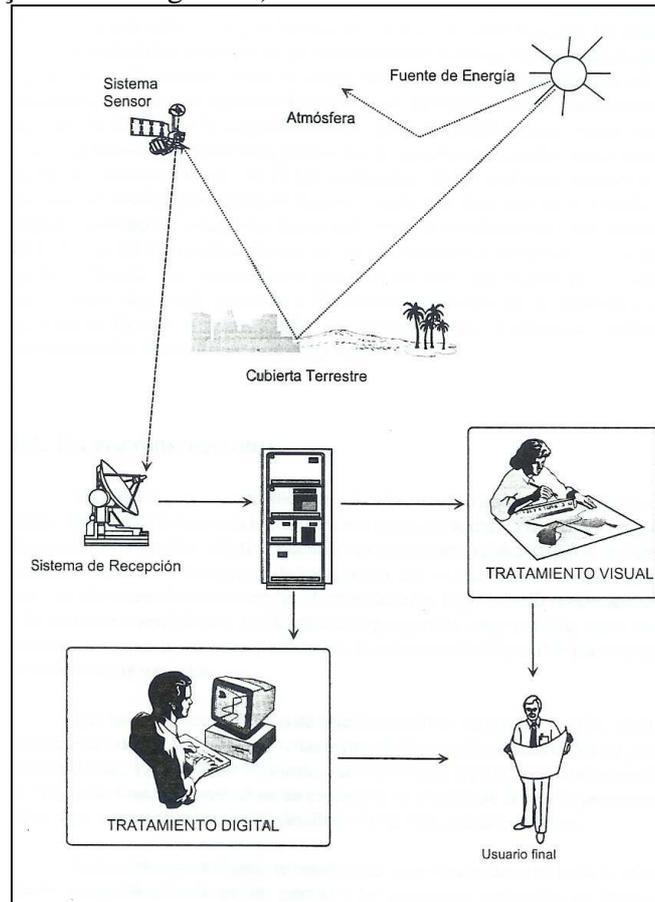


## Anexo 9.5-1

### **Técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento e análise temporal e espacial de cursos d'água e de ambientes aquáticos**

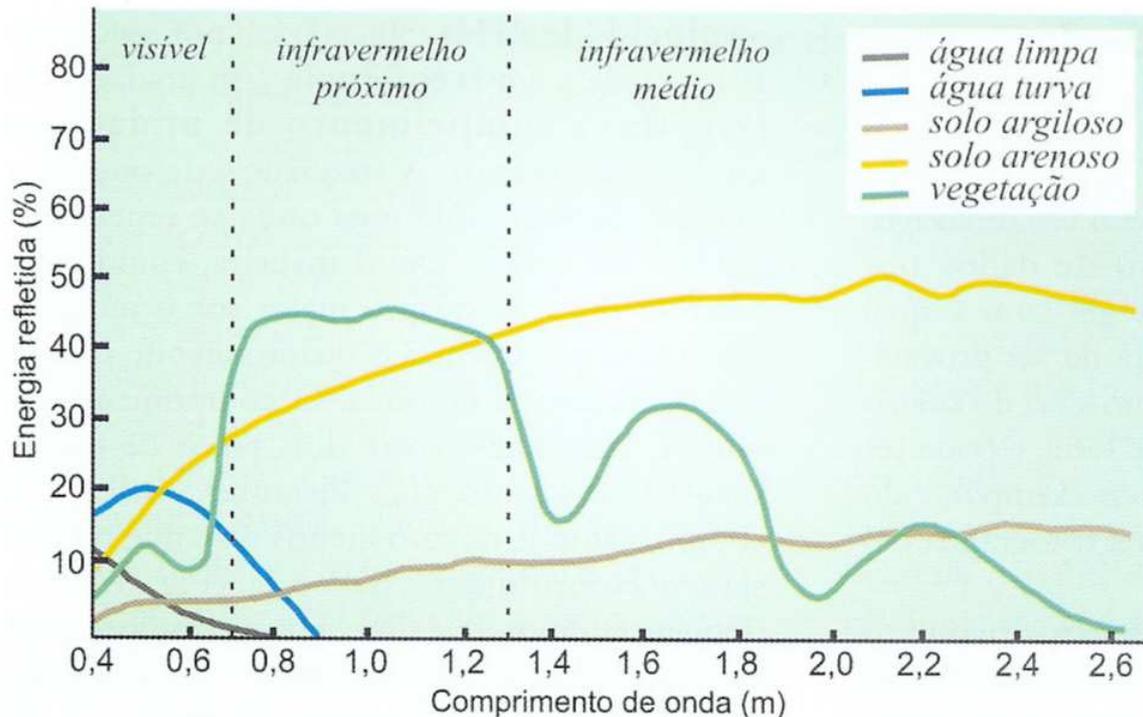
**Técnicas de sensoriamento remoto para mapeamento e análise temporal e espacial de cursos d'água e de ambientes aquáticos**

Sensoriamento remoto pode ser conceituado como o conjunto de tecnologias voltadas para a obtenção de informações de alvos ou de fenômenos na superfície da terra através da detecção, registro e análise da radiação eletromagnética refletida por eles. No âmbito deste trabalho considera-se a variação espacial natural do nível água do rio Xingu, associada às suas variações volumétricas, como alvo de investigação. A **Figura 1** ilustra o processo de obtenção de informações da superfície terrestre via sensoriamento remoto passivo (dependente da radiação eletromagnética).



**Figura 1** – Processo de obtenção de informações da superfície terrestre via sensoriamento remoto (Fonte: Chuvieco, 1996).

Diversas pesquisas básicas avaliaram, em campo e laboratório, os padrões de reflexão da água pura e natural ao longo do espectro eletromagnético, bem como de outros alvos naturais (vegetação, rochas, solos, etc) ou antrópicos (pastagens, culturas, áreas urbanas, etc), visando determinar o seu comportamento espectral para subsidiar a concepção e criação de novos sensores remotos bem como o embasamento teórico para o desenvolvimento e aplicação de metodologias de mapeamento visual ou automático da água e dos ecossistemas associados. A **Figura 2** ilustra padrões de reflexão de alguns alvos da superfície terrestre ao longo de parte do espectro eletromagnético.



**Figura 2** – Padrões de reflexão de alvos terrestres obtidos em laboratório. (Fonte: Florenzano, 2007)

Os padrões de reflexão da água em ambientes naturais dependem de uma série de variáveis, tais como a presença de sedimentos e matéria orgânica em suspensão, pigmentos fotossintetizantes nas algas, geometria de aquisição dos dados, dentre outros (Barbosa et. al., 2003). Essas variáveis, que integram o comportamento espectral da água no seu estado natural, variam ao longo do tempo e do espaço, pois estão relacionadas com eventos climáticos (total e distribuição da precipitação, em especial) e características morfológicas, físicas e de ocupação humana da bacia hidrográfica de contribuição, tais como área, forma, tipo de uso do solo e cobertura vegetal, geologia, pedologia e processos geomorfológicos associados.

Sioli (1984), citado por Barbosa et. al. (2003), propôs um sistema geral de classificação das águas em três tipos com base na relação entre suas propriedades ópticas e suas propriedades físicas, químicas e biológicas, expressas através de suas cargas sólidas e dissolvidas. Os rios de água turva, barrenta e amarela foram chamados por ele de **rios de água branca**; rios de água limpa e transparente, de cor verde, verde amarelo, verde oliva são chamados de **rios de água clara** e os rios de água transparente, de cor verde escuro, marrom, são chamados de **rios de água preta**. Quando essas águas atingem as planícies de inundação elas se espalham pelos diferentes ecossistemas alagáveis tornando-se um importante componente dos processos biológicos, físicos e biogeoquímicos que ali ocorrem. Com base nesses critérios as águas do rio Madeira poderiam ser então classificadas como de água branca, as águas do rio Xingu como de água clara e as águas do rio Negro como de água preta.

As fotografias aéreas, as imagens de radar e as imagens do espectro ótico são os únicos produtos comerciais de sensoriamento remoto disponíveis no mercado e indicados para investigações e mapeamentos regionais dos corpos d'água e dos seus ambientes aquáticos. As características técnicas desses produtos e do fenômeno a ser avaliado determinam a escolha mais adequada para determinado tipo de aplicação. Dentre essas características destacam-se a

resolução temporal (repetitividade de obtenção das imagens), resolução espacial (tamanho do pixel que compõe a imagem digital), resolução radiométrica (número de níveis de cinza da imagem) e a resolução espectral (largura e faixa espectral de obtenção da imagem).

Para o estudo do processo de variação do pulso de inundação em grandes rios, tal como o Xingu, as características mais importantes destes produtos são as suas resoluções espectral e temporal.

Imagens obtidas em faixas espectrais adequadas permitem o mapeamento dos corpos hídricos e a caracterização de alguns dos seus elementos, tal como a presença de sedimentos em suspensão.

As imagens registradas na faixa espectral do infravermelho próximo e médio apresentam-se com baixo nível de reflexão para a água sendo utilizadas para o delineamento dos corpos d'água. Nessas imagens os corpos d'água absorvem grande parte da radiação e aparecem em tonalidades escuras. Por outro lado, a vegetação lindeira aos corpos d'água reflete essas radiações eletromagnéticas (**Figura 2**), em especial na faixa espectral do infravermelho próximo, apresentando-se nessas imagens com tonalidades claras. Portanto, o contraste entre a vegetação e a água é aumentado nessas imagens facilitando a discriminação entre esses alvos.

Na faixa espectral do visível, que abrange a região do azul (0,4 a 0,5 m), verde (0,5 a 0,6) e vermelho (0,6 a 0,7), a reflexão da radiação eletromagnética da água é maior e é influenciada pela presença de sólidos em suspensão. A vegetação apresenta picos de absorção nas faixas espectrais do azul e do vermelho devido aos pigmentos fotossintetizantes presentes nas folhas (**Figura 2**). Portanto, o contraste entre a água e a vegetação é menor nessas faixas espectrais diminuindo o poder de discriminação entre esses alvos.

Imagens obtidas em períodos distintos durante as etapas de enchimento, cheia, vazante e seca permitem, em tese, avaliar, em conjunto com dados hidrométricos, o comportamento espacial de um rio (pulso de inundação) ou reservatório (deplecionamento ou *drawdown*) para diferentes vazões e a sua interação com os ambientes aquáticos. Entretanto, na prática, diversas variáveis limitam ou impedem a obtenção de informações precisas sobre o deplecionamento de reservatórios e o pulso de inundação de rios, dentre as quais destacam-se:

a) A inexistência ou restrita disponibilidade de imagens de satélite do espectro ótico no período de cheia é o principal fator limitador para o estudo da real magnitude desses fenômenos. Geralmente o pico da cheia coincide com o período de maior nebulosidade o que impede a obtenção de imagens da superfície terrestre e dos corpos d'água. Para contornar o problema da nebulosidade a utilização das imagens de radar tem sido proposta e utilizada, na Amazônia em especial, para o estudo de ecossistemas aquáticos e delineamento das planícies de inundação de rios e lâminas d'água de reservatórios. Entretanto, o imageamento por radar é realizado, geralmente, sob encomenda específica e nem sempre coincide com o pico máximo das cheias subestimando, portanto, a sua magnitude espacial.

b) A disponibilidade de imagens de satélite do período seco é maior devido a ausência de nuvens, mas nem sempre coincide com o período de menor vazão dos rios ou do menor volume de armazenamento dos reservatórios, subestimando também a sua magnitude espacial.

c) Na região Amazônica a fumaça, originada das queimadas no período seco, degradam a qualidade das imagens obtidas para os menores comprimentos de onda (azul e verde da faixa espectral do visível, em especial).

d) A alta variabilidade temporal e espacial do comportamento espectral da água decorrente da modificação sazonal de alguns fatores ambientais, tal como o teor de sólidos em suspensão.

e) A presença de vegetação, tais como as florestas aluviais, os campos inundáveis e as macrófitas, sobre a lâmina d'água depositada nas planícies aluviais dos rios dificulta ou impede a detecção e a precisa espacialização dessa lâmina nas imagens de satélite do espectro ótico.

Diversos estudos científicos de investigação de características espaciais dos corpos d'água e dos ecossistemas aquáticos foram conduzidos nos últimos anos para ambientes lênticos (reservatórios e lagos) e lóticos (rios) utilizando diversos tipos de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de interpretação e processamento digital de imagens e de geoprocessamento.

A grande maioria dos trabalhos utiliza imagens do sensor TM e ETM+ da série Landsat e são quase sempre pontuais em área de abrangência. Esses sensores geram imagens de média resolução espacial nas faixas espectrais do azul (TM1), verde (TM2), vermelho (TM3), infravermelho próximo (TM5 e TM7) e infravermelho distante (TM6 ou termal). As características técnicas dessas imagens que disseminam o seu uso é a existência de imagens pretéritas e da repetitividade de imageamento a cada 16 dias. Essas características facilitam a aquisição de imagens nos períodos de seca e de enchente ou vazante. Imagens de radar também são frequentemente utilizadas e testadas.

As técnicas de mapeamento utilizadas nos trabalhos analisados baseiam-se nos princípios tradicionais da interpretação visual de imagens coloridas ou monocromáticas (bandas do infravermelho próximo e médio, em especial) e nas metodologias digitais de realce (índices de divisão de bandas ou subtração) ou de classificação automática (supervisionada e não supervisionada) de imagens obtidas em períodos secos e úmidos.

Marini (2003) mapeou, na escala de 1:250.000, os cursos fluviais permanentes e áreas de inundação de parte do complexo fluvial Solimões/Amazonas. Para isso utilizou da técnica de interpretação visual das imagens Landsat-5, obtidas, em períodos de cheia e seca, na faixa espectral do infravermelho próximo.

Corrêa, A. et al, (2006) utilizaram imagens multiespectrais do sensor TM para mapear o traçado de um trecho do rio Tapajós e as suas margens, ilhas e bancos de areia emersos e submersos.

Freitas e Novo (2005) apresentaram os resultados preliminares da utilização de imagens do sensor MODIS para o mapeamento de áreas alagáveis na região do Lago Curuaí situado na planície do rio Amazonas. Esse sensor apresenta uma baixa resolução espacial (entre 250m e 1000m de tamanho do pixel) e uma alta resolução espacial (1 dia de revisita).

Novo, et AL (1998) avaliaram o uso de medidas de textura na discriminação de ambientes aquáticos do reservatório da UHE Tucuruí a partir de imagens RADARSAT. Concluíram que

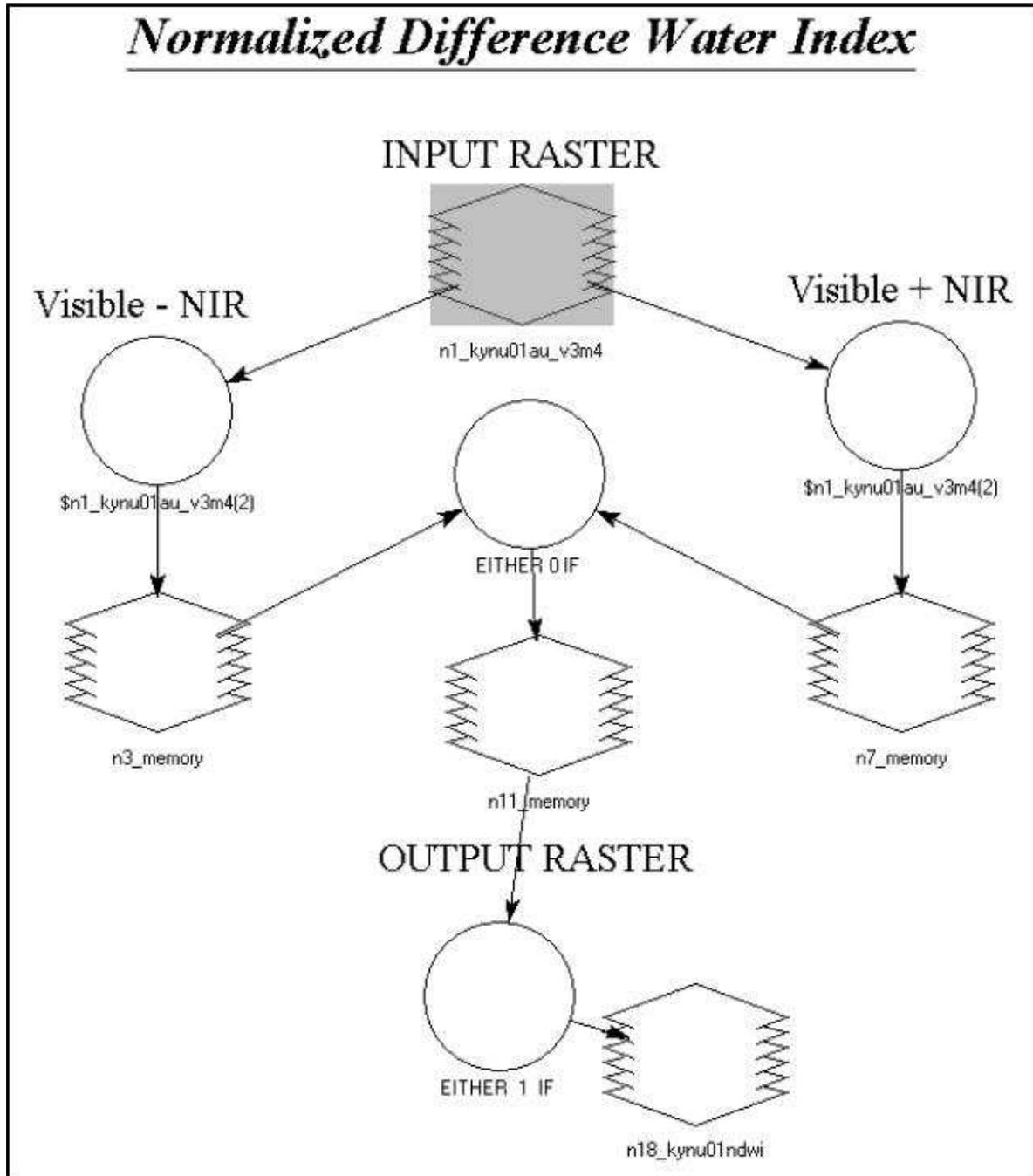
o uso de medidas de textura não aumenta a discriminação entre os diferentes ambientes aquáticos presentes num dos seus braços.

Jardim-Lima, et al. (2005) avaliaram e quantificaram, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, a dinâmica do pulso de inundação na área de águas abertas e dos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, situada na Amazônia Central. Para isso utilizaram imagens Landsat-5, obtidas nos períodos de seca e cheia, e aplicaram técnicas de restauração de imagens, geração e fatiamento das imagens NDWI e posterior aplicação de processos manuais de pós-processamento.

De acordo com esses autores o Índice de Diferença Normalizada da Água ( $NDWI = (TM2+TM4)/(TM2-TM4)$ ) foi concebido com a finalidade de delinear ambientes de águas abertas, automatizando a determinação do limiar entre água e terra (vegetação terrestre e solo). Essa técnica possui as seguintes vantagens:

- a) Maximiza a reflectância típica da água utilizando o comprimento de onda da luz verde (TM2)
- b) Minimiza a baixa reflectância dos corpos d'água no infravermelho próximo (TM4)
- c) Realça o contraste entre a água e a superfície terrestre proporcionada pela banda infravermelha.
- d) Maximiza a alta reflexão do infravermelho pela vegetação terrestre e solos expostos (EPA, XXX)

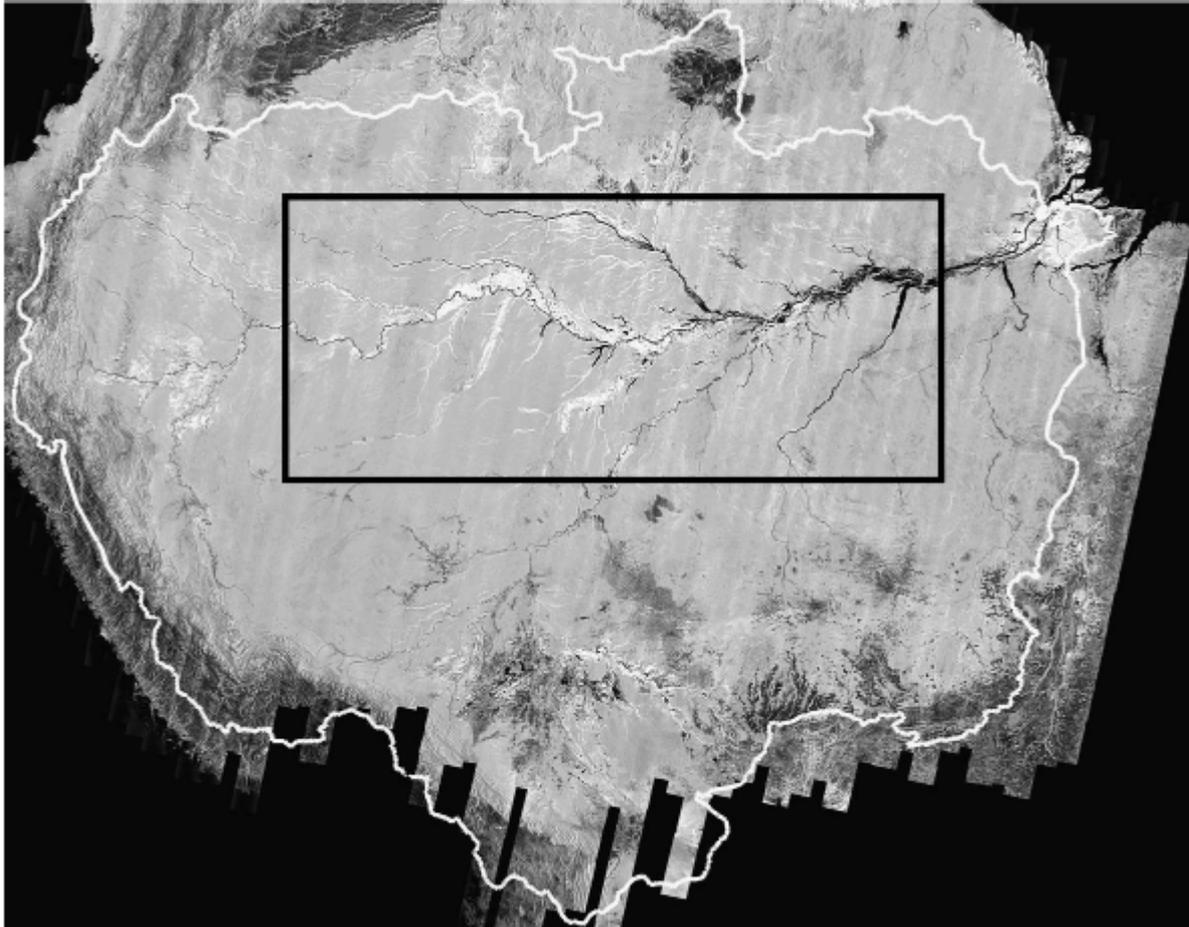
A técnica NDWI é derivada dos princípios básicos da técnica NDVI (Índice de Vegetação Diferença Normalizada) amplamente utilizada em estudos de vegetação. No NDVI a presença de vegetação terrestre e solos são realçadas em detrimento da água devido a reflexão dessas feições. No NDWI a substituição da banda do vermelho pela banda do verde o princípio é invertido. A água é realçada em detrimento da vegetação. Essa técnica foi proposta originalmente por McFeeters, S.K. (1996) e a sua implementação computacional no software Erdas Imagine pode ser visualizada na **Figura 3**.



**Figura 3** – Modelo computacional de implementação da técnica de realce NDWI (Fonte: EPA, 2005)

Hess, L, et. al. (2003) fizeram o primeiro mapeamento dos habitats aquáticos nas planícies aluviais da Amazônia Central, em escala regional, a partir do mosaico de imagens dos períodos de vazante (setembro/novembro de 2005) e de cheia (maio/junho de 2006), adquiridas pelo radar de abertura sintética-SAR, na banda L com resolução de 100m, a bordo do satélite japonês JERS-1. A **Figura 4** mostra o mosaico e a área de mapeamento (1.77 milhões de km<sup>2</sup>) onde foram aplicadas técnicas de processamento digital de imagens (técnicas de segmentação e agrupamento). Essa área não abrange a bacia hidrográfica do rio Xingu. Para a validação dos resultados utilizaram imagens georreferenciadas de vídeo obtidas em sobrevôo. A exatidão de mapeamento foi estimada em 95% apresentando diferenças de exatidão para as classes de vegetação quando avaliadas separadamente. Aproximadamente

17% da área de estudo foi mapeada como planícies aluviais sendo que 96% dessa área são inundadas na época da cheia e 26% permanecem inundadas no período seco.



**Figura 4** – Área de mapeamento das planícies aluviais da Amazônia Central (Fonte: Hess et al, 2003)

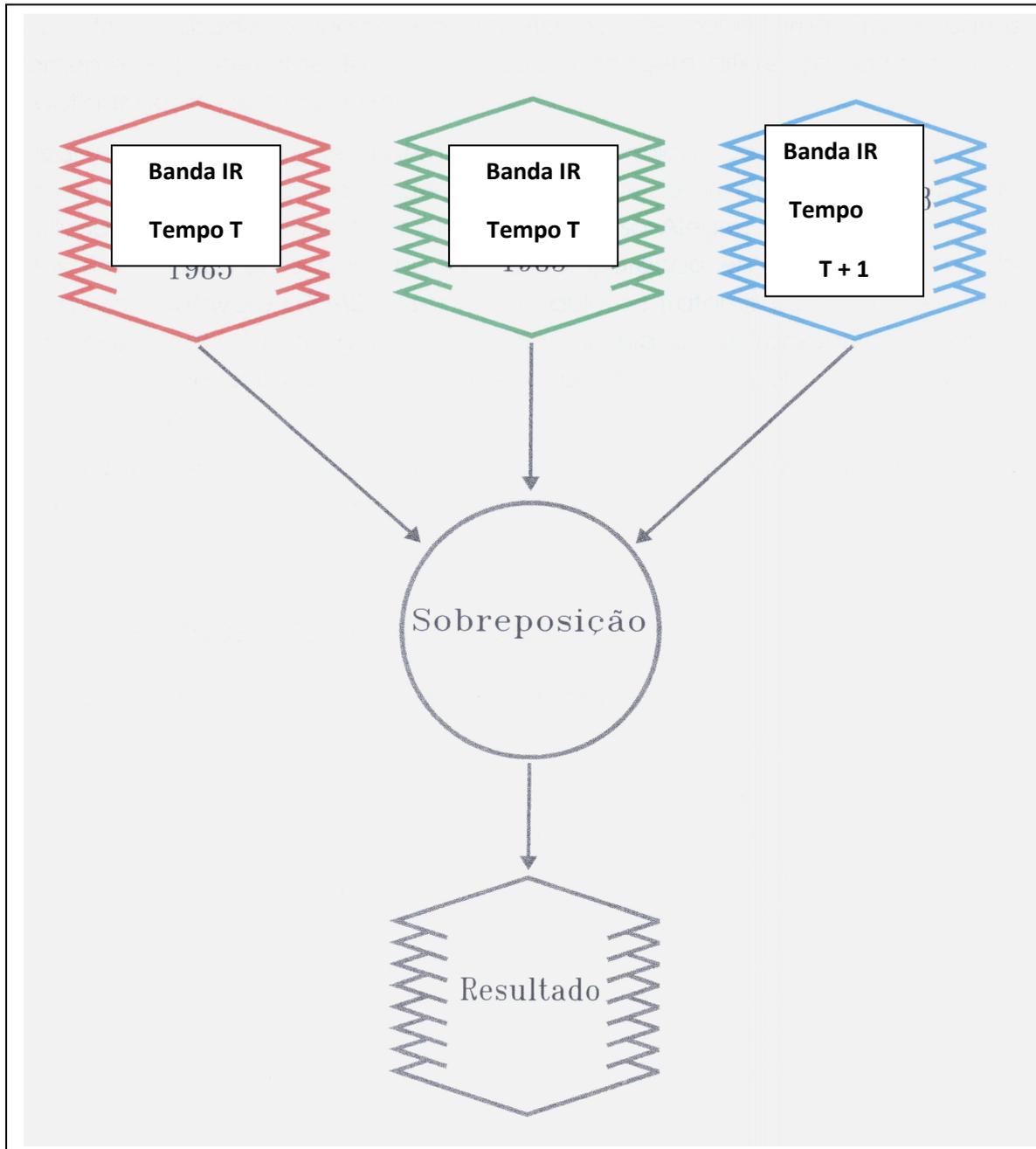
Palha, W. et al. (2003) fizeram o mapeamento e estimativa de cobertura da terra e de habitats aquáticos de várzea, na região da Amazônia Central utilizado mosaico de imagens TM/Landsat-5 e o mosaico SAR/JERS-1.

Assis, F e Matos, F. (2001) utilizaram imagens TM/Landsat-5, na forma de composição colorida das bandas 3,4 e 5, para a análise multitemporal do lago da UHE Balbina período de 1994 a 1999.

Feitosa, G.S, et al (2007) estimaram a zona de deplecionamento da hidrelétrica de Balbina a partir da utilização da técnica de subtração dos valores de nível de cinza de imagens do sensor TM/Landsat 5 . As imagens utilizadas, obtidas na faixa espectral do infravermelho médio (1,55 a 1,75 micrometros), representaram os períodos de estiagem e enchente do reservatório e foram previamente intercalibradas nos aspectos geométricos (registro imagem – imagem) e radiométricos. A imagem de detecção de mudança resultante foi posteriormente classificada através da técnica de fatiamento determinando as mudanças ocorridas. O resultado da exatidão do mapeamento foi considerado bastante satisfatório.

UFMG/SECTS/CETEC 2007 utilizaram uma adaptação da técnica de Composição Colorida Multitemporal (CCM) para o mapeamento do deplecionamento dos reservatórios de Furnas e Três Marias visando a identificação de locais propícios à instalação de tanques rede para piscicultura. Essa técnica consiste na análise simultânea de dados pela sobreposição de imagens

de uma mesma banda pré selecionada, referente a datas distintas, no sistema RGB. O funcionamento desta técnica pode ser visualizado na **Figura 5** que representa a estrutura do modelo de sobreposição de apenas duas imagens multitemporais. No caso desse trabalho utilizaram-se as imagens do infravermelho próximo (IR) dos sensores TM, MSS e CCD/CBERS obtidas em períodos de cheia e seca. A grande vantagem dessa técnica é a possibilidade de análise simultânea de duas imagens num único produto onde as alterações de cores indicam alteração da lâmina d'água.



**Figura 5** – Modelo computacional de implementação da técnica de realce CCM (Fonte: CETEC, 1997)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, F. P.; MATOS, F. D. A. Análise Multitemporal do lago de Balbina através de imagens de sensoriamento remoto orbital. In: **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2001, Foz do Iguaçu. Anais X SBSR. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 527 – 529.

BARBOSA, C. C.; NOVO, E. M. L. M.; CARVALHO, J. C.; PEREIRA FILHO, W.; MANTOVANI, J. E. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte. Anais XI SBSR. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2419-2425.

BARBOSA, Keillah Mara N. KIRCHNER, Flávio Felipe; PIEDADE, Maria Teresa Fernandez et al. Detecção de mudanças entre os anos de 1989 e 2003 em uma ilha de várzea da Amazônia Central. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis. Anais XIII SBSR. São José dos Campos: INPE, 2007. p.6867-6874.

CETEC. Implantação de um sistema de avaliação da dinâmica do crescimento urbano em cidades de médio porte através de séries temporais de imagens de satélite. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais**. Relatório técnico final, Belo Horizonte, 1997. 41 p.

CETEC.. Geração de imagens de satélite e estudo de dinâmica de ocupação da Área de Influência do aproveitamento hidrelétrico de queimado. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais**. Relatório técnico final, Belo Horizonte, 2006. 41 p.

CHAVES, M.A **Monitoramento da dinâmica de ocupação do uso do solo do entorno do reservatório da UHE Aimorés**. Programa de Monitoramento do entorno do reservatório do EIA. Holos Engenharia, 2007.

Chuvieco, E. **Fundamentos de Teledeteccion Espacial**. 3 ed. 1996.Madri Ediciones RIALP S.A

CORRÊA, A. C.; DA SILVA, G. P.; CORRÊA, A. C. A aplicação do Landsat-TM no balizamento de parte da hidrovia do rio Tapajós, estado do Pará. In: **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 1996, Salvador. Anais VIII SBSR. São José dos Campos: INPE, 1996. p. 103 – 105.

Environmental Protection Agency. A method to provide baseline mapping and classification for wetlands in Queensland. **Queensland government parks and wildlife service**. Wetland mapping and classification, Overall Framework, 2005 , 6p..

FEITOSA, G. S.; Graça, P. M. A.; Fearnside, P. M. Estimativa da zona de deplecionamento da hidrelétrica de Balbina por técnica de sensoriamento remoto. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis. Anais XIII SBSR. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6713-6720.

FLRORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. Oficina dos Textos, 2 ed. 102 p. SP, 2007.

FREITAS, R. M. ; NOVO, E. M. L. M. . Mapeamento de Áreas Alagáveis na Planície do Rio Amazonas a partir de Dados do Sensor MODIS Região do Lago Curuaí PA. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia. Anais XII SBSR. São José dos Campos : INPE, 2005. p. 533-540.

HESS, L. **Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for central Amazon basin**, Remote Sensing of Environment 87 (2003) 404-428.

JARDIM-LIMA, D. ; PIEDADE, M. T. F. ; QUEIROZ, H. L. ; NOVO, E. M. L. M. ; RENNO, C. D. . A dinâmica do Pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na avaliação da área de águas abertas e morfologia dos lagos de várzea da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá - Amazônia Central. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia. Anais XII SBSR. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3069-3076.

MARINI, Salua Saldanha. Mapeamento da Hidrografia da Amazônia por Meio de Imagens Orbitais Após Estudo Hidrológico Preliminar do Complexo Fluvial Solimões/Amazonas. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte. Anais XI SBSR. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2541 – 2548.

NOVO, E. M. L. M.; COSTA, M. P. F.; MANTOVANI, J. E. Avaliação do uso de medidas de textura na discriminação de ambientes aquáticos do reservatório da UHE Tucuruí a partir de dados RADARSAT. In **IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, SP, 11-18 setembro 1998. Anais em CD-ROM. Artigos Técnico-Científicos. São Paulo, SP, 1998. . In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1998, Santos. Anais do IX SBSR. São José dos Campos: INPE, 1998.

PALHA, Willian Sérgio Marques; NOVO, Evlyn Márcia Leão Moraes; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria, et al. Mapeamento e estimativa de cobertura da terra e de habitats aquáticos de várzea, na região da Amazônia Central utilizando imagens TM/LANDSAT-5 e SAR/JERS-1. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte. Anais XI SBSR: São Jose dos Campos: INPE, 2003. p. 2853-2860.

UFMG; SECTS-MG; CETEC. **Estudo Técnico-Científico visando a delimitação de parques aquícolas nos lagos das Usinas Hidroelétricas de Furnas e Três Marias**, Belo Horizonte, julho de 2007.