



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca - PE Através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez

Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva<sup>1</sup>, José Gustavo da Silva Melo<sup>2</sup>, Josicléda Domiciano Galvêncio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduada em Geografia pelo Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Avenida Professor Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco. CEP 50670-901. (bellhannover@hotmail.com).

<sup>2</sup> Graduado em Geografia pelo Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Avenida Professor Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco. CEP 50670-901. (bellhannover@hotmail.com).

<sup>3</sup> Professora adjunta do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Avenida Professor Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco. CEP 50670-901 (josicleda@hotmail.com)

Artigo recebido em 30/08/2011 e aceite em 15/09/2011

### RESUMO

Este trabalho procura identificar as áreas mais susceptíveis a processos de desertificação na região correspondente ao médio trecho da Bacia do Ipojuca – PE, localizado no agreste do estado de Pernambuco, tomando como base dados obtidos de postos pluviométricos num período amostral de trinta anos com a finalidade de estimar o índice de aridez na área de estudo. Esse índice buscará complementar os resultados obtidos pelo índice de aridez através da utilização do índice de água por diferença normalizada (NDWI) e do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI). Os resultados obtidos indicam que há um alto estresse hídrico na Bacia em questão e esse resultado é corroborado pelo índice de aridez da área.

Palavras-chaves: Suscetibilidade, mudanças climáticas, impactos ambientais, transposição do Rio São Francisco.

## Identification of Areas Susceptible to Desertification in the Ipojuca Middle River Basin by Mapping of Vegetation Water Stress and Aridity Index

### ABSTRACT

This paper seeks to identify areas more susceptible to desertification in the region corresponding to the middle portion of the Basin Ipojuca - PE, located in the rugged state of Pernambuco, based on data from climatic stations in a sample period of thirty years for the purpose to estimate the index of aridity in the study area. This index will seek to complement the results obtained by the index of aridity by using the water content normalized difference (NDWI) and the vegetation index adjusted for soil (SAVI). The results indicate that there is a high water stress in the basin in question and this result is confirmed by the index of aridity of the area.

Keywords: Susceptibility, climate change, environmental impacts, transposition of Rio São Francisco.

### 1. Introdução

As modificações nos padrões climáticos que estão sendo apresentados pelos relatórios do IPCC podem acarretar o desencadeamento ou a aceleração de

processos de desertificação em áreas mais vulneráveis. Segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) entende-se a desertificação como “a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas

\* E-mail para correspondência: [bellhannover@hotmail.com](mailto:bellhannover@hotmail.com) (Silva, E. R. A. C.).

secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas”, considerando áreas susceptíveis aquelas com índice de aridez entre 0,05 e 0,65.

Indicadores de desertificação incluem processos físicos, biológicos e sócio-econômicos como erosão, salinização, uso da terra (Mouat et al., 1997). Para Conti (1998) a desertificação pode ser avaliada pelo índice de aridez e seus indicadores são: elevação da temperatura média, agravamento do déficit hídrico dos solos, aumento do escoamento superficial, intensificação da erosão eólica, redução das precipitações, aumento da amplitude térmica diária e diminuição da Umidade Relativa (UR) do ar, tendo como causas as mudanças nos padrões climáticos (Nolêto, 2005).

Atualmente, 1.340.000 km<sup>2</sup> do território brasileiro são áreas suscetíveis à desertificação e abrangem o trópico semiárido, subúmido seco e áreas de entorno, atingindo diretamente 30 milhões de pessoas. De acordo com o Atlas das Áreas Susceptíveis à Desertificação do Brasil (MMA, 2007), do total acima referido, 180.000 km<sup>2</sup> já se encontram em processo grave e muito grave de desertificação, “concentrados principalmente nos estados do Nordeste, que têm 55,25% do seu território atingido em diferentes graus de deterioração ambiental Campos, 2009).

Somando-se a isso, Freitas & Santos (2000) afirmaram que os levantamentos realizados pela Organização Mundial das Nações Unidas - OMM indicaram que um terço da população mundial vive em regiões de moderado a alto estresse hídrico, e que as estatísticas demonstraram claramente que nos próximos 30 anos a situação global das reservas tenderá consideravelmente a piorar, caso não ocorram ações emergenciais para melhoria da oferta em relação à demanda de água.

Segundo Pereira et. al. (1997), o estresse hídrico é caracterizado quando o solo não contém água disponível às plantas, ou seja, a taxa de evapotranspiração fica mais dependente das características físico-hídricas do solo do que da demanda atmosférica e, numa segunda situação, quando o solo contém água disponível, mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender à demanda atmosférica (poder evaporante do ar). Esse estresse pode ser ocasionado por fatores como: déficit hídrico, baixa temperatura, salinidade, fotoperíodo ou a junção desses fatores.

A partir do desencadeamento do estresse hídrico iniciam-se alterações dentro das plantas, provocando a queda de folhas, reduzindo a área foliar, diminuindo assim a perda de água pelas plantas por evapotranspiração, aumentando nas folhas remanescentes o seu potencial hídrico (Castro, 1994).

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2011), estudos científicos realizados em diversas áreas do Nordeste revelaram que, em curto prazo, o Nordeste mais seco enfrentará um estresse hídrico que se agravará ao longo deste século. Por essa e outras razões, a Bacia do rio Ipojuca, que banha diversos municípios desde o Sertão até o litoral pernambucano será uma das Bacias que receberão água advinda da transposição do Rio São Francisco.

Para Ross (2001), os estudos integrados de um determinado território pressupõem o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem as intervenções humanas. Nesta direção o mapeamento das unidades de paisagens identificadas é de valiosa importância.

E para tal, uma das técnicas que podem ser potencialmente aplicadas é o geoprocessamento. Rosa e Brito (1996), salientam que os métodos de produção de mapas e análises geográficas são morosos e onerosos. Assim, é importante a utilização de novas tecnologias como sistemas de informações para o planejamento de uma bacia. Através das imagens de satélites, obtém-se uma visão dos conjuntos e dinâmica de extensas áreas da superfície terrestre. Logo, pode-se observar a bacia como um todo e as suas transformações, bem como os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação humana no

uso e na ocupação do espaço.

O objetivo deste estudo é avaliar o estresse hídrico da vegetação no médio trecho da bacia hidrográfica do rio Ipojuca, utilizando o NDWI (índice de água por diferença normalizada) das imagens LANDSAT-5 TM dos anos de 1988, 1999, 2007 e 2011, numa escala de 1:100.000.

## 2. Área de estudo

### 2.1 Características gerais da Bacia do Rio Ipojuca

A Bacia do Ipojuca localiza-se totalmente em território pernambucano (Figura 1) estando situada entre os paralelos 8° 09' 50" e 8° 40' 20" de latitude sul, e os meridianos 34° 57' 52" e 37° 02' 48" de longitude oeste do meridiano de Greenwich. Sua área cobre uma superfície de 3.433,58 km, correspondendo a 3,49% do total do estado, e seu perímetro é de 749,6 km. Outras informações sobre a bacia hidrográfica em estudo pode ser encontrada no estudo de Silva & Galvêncio (2011).



**Figura 1.** Regiões de Desenvolvimento e Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca.

Fonte: Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca – SECTMA. Elaboração: Agência CONDEPE/FIDEM.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Dados coletados

As imagens utilizadas neste trabalho são dos anos de 1988, 1999, 2007 e 2011 que foram obtidas do sensor TM (Thematic Mapper), de ponto 214 e órbita 66 (21/06/1988), (28/02/1999), (19/07/2007) e de (17/03/2011) a bordo do satélite Landsat-5, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Foram utilizados neste estudo 4 estações pluviométricas e de dados climatológicos, obtidos junto ao Laboratório de Meteorologia de Pernambuco - LAMEPE. O intervalo de tempo das mensurações utilizadas compreende um período de 30 anos.

#### 3.2 Softwares utilizados

O software Excel foi utilizado na tabulação dos dados da pesquisa. Também se utilizou o software ERDAS 9.3 no processamento das imagens e o ARCGIS 9.3 para localização espacial e montagem dos mapas e layouts da Bacia.

#### 3.3 Processamento de imagem e montagem do layout

Inicialmente foi realizado o registro de todas as imagens a partir de pontos coletados em campo. Para o processamento das imagens do satélite Landsat-5 foram criados modelos usando a ferramenta *Model Maker* do software ERDAS Imagine 9.3 e a

montagem final dos mapas foi realizada através do software ArcGIS 9.3. Ambos possuem licença do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco.

#### 3.3.1 Calibração Radiométrica

A calibração radiométrica (Equação 1) é obtida através da intensidade do fluxo radiante por unidade de ângulo sólido. As radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (Oliveira, 2010). O conjunto da radiância ou calibração radiométrica é obtido utilizando-se a equação proposta por Markham e Baker (1987) (Equação 1):

$$L_{\lambda i} = \alpha t + \frac{bt - \alpha t}{255} ND \quad (1)$$

Em que a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima, ND é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, 3, 4, 5 e 7) do satélite Landsat 5 e 7. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander e Markham (2003) apud Oliveira 2010.

#### 3.3.2 - Reflectância

A reflectância (Equação 2) de cada banda (i) é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela

superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, obtida através da equação (Allen et al., 2002 apud Oliveira 2010), (Equação 2):

$$\rho \lambda_i = \frac{\pi \cdot L \cdot \lambda_i}{K \cdot \lambda_i \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

Em que  $\lambda_i L$  é a radiância espectral de cada banda,  $\lambda_i k$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera  $1.2 \mu m$ ,  $Z$  é o ângulo zenital solar e  $rd$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ) em dado dia do ano (DSA) (Oliveira, 2010).

### 3.3.3 – NDWI

Segundo Cardozo et al. (2009), o índice de vegetação *Normalized Difference Water Index* (NDWI), proposto por Gao (1996), e é relacionado com o conteúdo de água presente nas folhas. Cardozo et al. (2009) afirmam que este índice se apresenta como uma importante ferramenta em estudos relacionados ao vigor vegetativo. O mesmo é obtido através das bandas do infravermelho próximo (IV p) e do infravermelho médio (IV m) do satélite Landsat 5 (OLIVEIRA, 2010), (Equação 3):

$$x = \frac{\rho NIR - \rho MidIR}{\rho NIR + \rho MidIR} \quad (3)$$

Estudos mostram que o NDWI está correlacionado com o conteúdo de água do dossel vegetal, indicando mudanças na biomassa e valores oscilantes de umidade

nas plantas (HARDISKY et al., 1983; GAO, 1996). Esse índice de umidade já foi utilizado por autores como Fensholt & Sandholt (2003) em seus estudos de monitoramento do estresse hídrico em ambiente semi-árido no Senegal.

### 3.3.4 – SAVI

O SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*), (Equação 4), foi desenvolvido por HUETE (1988), sendo uma técnica de transformação para minimizar a influência da reflectância do solo nos índices de vegetação espectrais que envolvem os comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo e modelar, com mais precisão, a radiância infravermelha próxima nas copas mais abertas.

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho IV - \rho V)}{(L + \rho IV + \rho V)} \quad (4)$$

### 3.4 Modelo de Balanço Hídrico

Foram realizados os balanços hídricos para cada uma das estações da Bacia, utilizando-se o Balaço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955) em uma planilha desenvolvida por Rolim, G.S. & Sentelhas, P.C. (1998); Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ-USP, 1998. Esse balanço hídrico foi feito para uma série de 30 anos.

### 3.5 Índice de aridez da UNEP

Para identificar as áreas suscetíveis à desertificação a ONU propôs o

Índice de Aridez – IA que consiste na razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial, calculando-se esta última pelo método de Thornthwaite. As áreas potencialmente suscetíveis ao processo estariam situadas dentro do IA de 0,05 a 0,065, que engloba as zonas de climas árido, semi-árido e sub-úmido seco (UNEP, 1991).

Através do balanço hídrico, foi calculada a evapotranspiração potencial média anual para cada uma das estações pluviométricas.

$$Ia = \frac{P}{ETP} \quad (5)$$

**P** = precipitação média anual (mm)

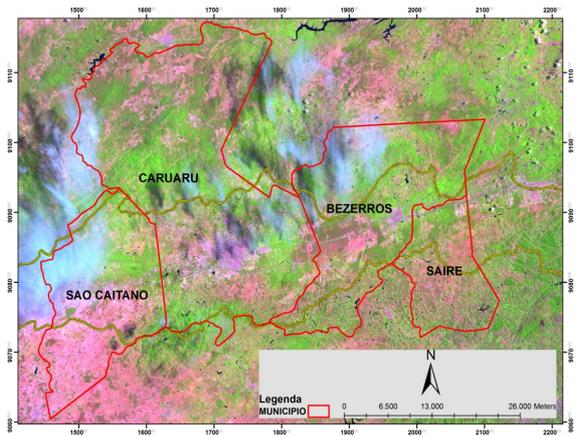
**ETP** = Evapotranspiração potencial media anual (mm)

#### 4. Resultados e Discussão

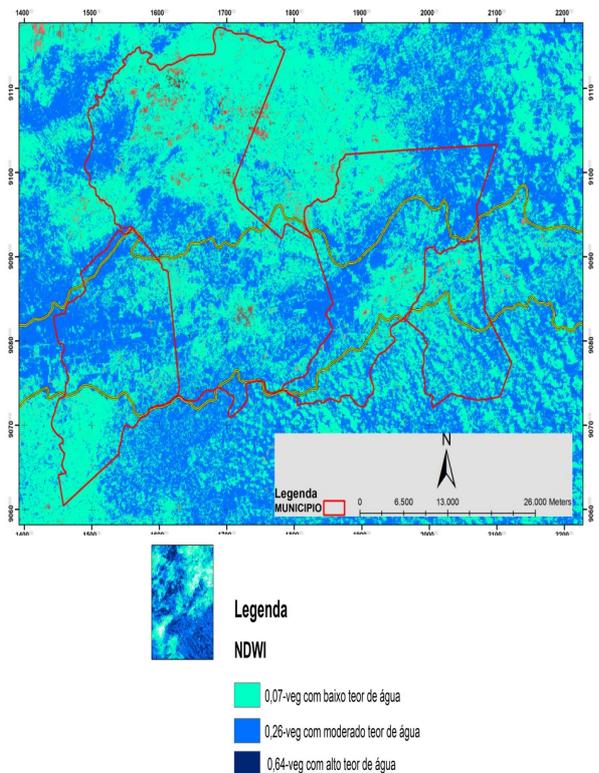
##### 4.1 Aplicação dos Índices de Umidade (NDWI) e de Vegetação (SAVI)

A primeira imagem a ser analisada neste trabalho é a de 21/06/1988, numa área correspondente aos municípios de São Caetano, Caruaru, Bezerros e Sairé, no médio trecho da Bacia do Ipojuca (Figura 5).

Aplicando-se o índice de umidade (NDWI) na imagem da Figura 1, e dividindo-se em três classes, conforme o teor de água na vegetação pôde-se chegar a um resultado de NDWI que indica que a área abarcada pela pesquisa, apresentou uma vegetação entre baixo teor de água e moderado teor de água (Figura 6).



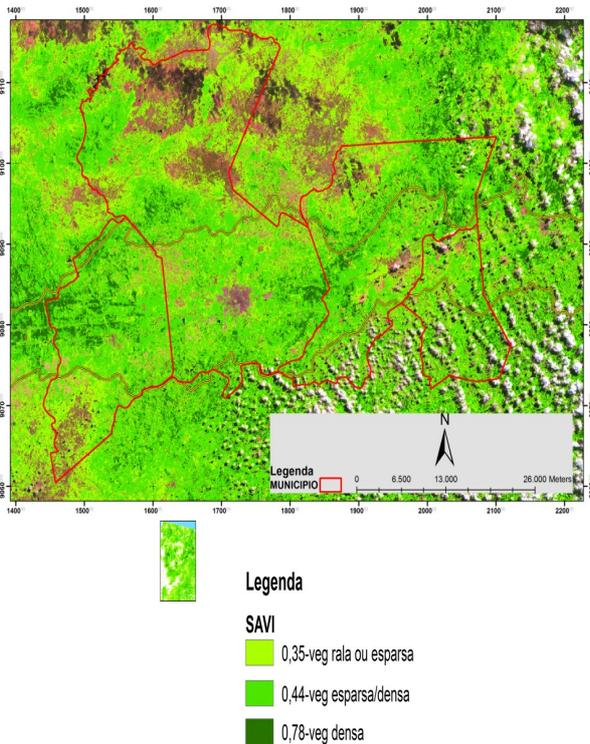
**Figura 5.** Localização dos municípios do médio trecho no ano de 2011.



**Figura 6.** NDWI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 1988.

Os valores mais baixos correspondem às áreas onde o solo é predominante, e os valores mais altos correspondem às áreas que possuem predominância de água. Este fato é explicado em função da resposta espectral dos alvos. Os solos, na maioria dos casos,

apresentam valores de refletância em  $1,65\mu m$  maiores do que em  $0,86\mu m$ . O contrário ocorre para a vegetação e a água, onde os valores de refletância em  $1,65\mu m$  são menores do que em  $0,86\mu m$ . Desta forma, quanto maior for o valor da refletância em  $0,86\mu m$ , maior será o valor do NDWI (Gao, 1996). Para demonstrar isso foi utilizado o SAVI (Figura 7).



**Figura 7.** SAVI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 1988.

O índice de vegetação *Normalized Difference Water Index* (NDWI), proposto por Gao (1996), é relacionado com o conteúdo de água presente nas folhas. A vantagem da utilização NDWI sobre outros índices está na menor sensibilidade aos efeitos atmosféricos.

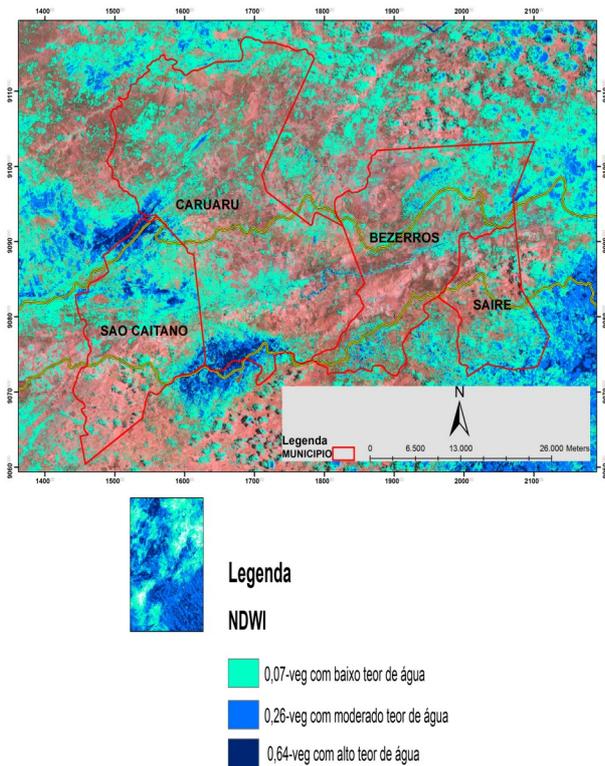
O SAVI, que é ajustado ao solo,

introduz um fator no NDVI para incorporar o efeito da presença do solo, e foi trabalhado para complementar o resultado do NDWI, através do SAVI pôde ser visualizada na figura anterior a fragmentação da vegetação densa da área.

Pode-se notar que com a aplicação do SAVI torna-se muito mais fácil a diferenciação dos alvos, ou seja, a diferenciação do solo exposto e da vegetação rala ou esparsa, e também na diferença entre a vegetação esparsa/densa e a vegetação densa.

Deve-se observar com cuidado a existência de áreas com solo exposto, pois conforme vão sendo analisadas as imagens dos diversos anos de amostragem notar-se-á a manutenção e a expansão de algumas dessas áreas.

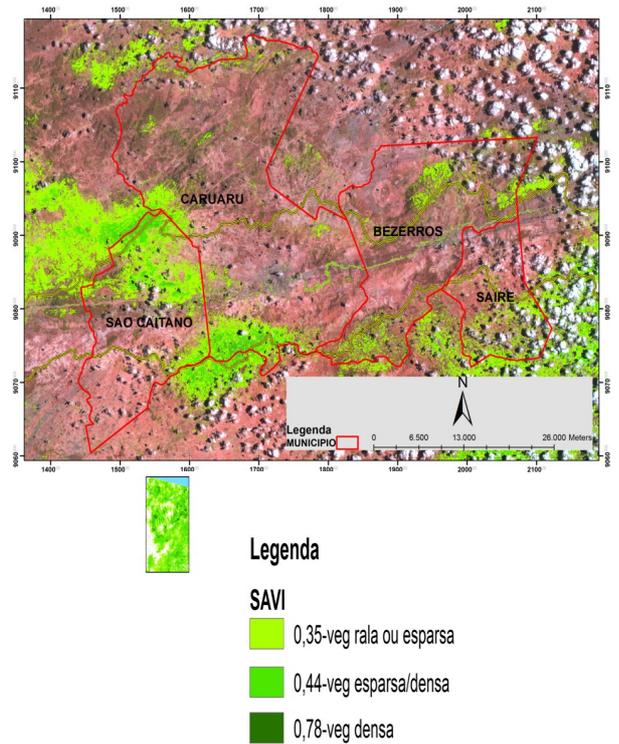
A próxima imagem analisada é da data de 28/02/1999, (Figura 8), período que, normalmente, está terminando a estação mais seca e começando a temporada de chuva na região, por essa razão visualizam-se melhor as áreas de solo exposto. Nota-se na Figura 8 que no mês de fevereiro do ano de 1999 (começo do período chuvoso nessa área) havia maior presença de solo exposto e a vegetação apresentava, em sua maior parte, baixo ou moderado teor de água. Nessa época do ano o estresse hídrico na vegetação já tem atingido seu maior pico, daí a maior parte da imagem apresentar extensas áreas com predominância de solo exposto.



**Figura 8.** NDWI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 1999.

Analisando a Figura 8 foi possível observar o comportamento do NDWI da área, verificando que as áreas onde predominam vegetação de caatinga, juntamente com áreas de solo exposto, são as que mais apresentam estresse hídrico. Os valores mais elevados de NDWI correspondem justamente às áreas mais próximas dos corpos hídricos e com maior predominância de vegetação.

De semelhante modo o SAVI é muito útil neste estudo, pois corrobora esse resultado de baixo NDWI por mostrar também, que nessa época do ano teria havido uma diminuição das áreas com vegetação, predominando o solo exposto (em rosa) e nas poucas áreas onde havia vegetação, ela apresentava-se rala e/ou esparsa (Figura 9).



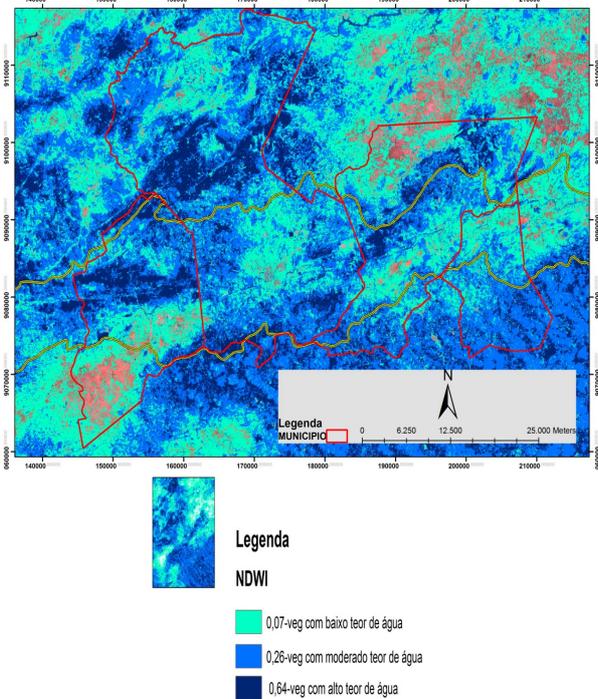
**Figura 9.** SAVI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 1999.

É importante salientar que a aplicação do SAVI na imagem de 1999 foi bastante satisfatória por apresentar uma maior distinção entre o solo exposto e a vegetação rala ou esparsa.

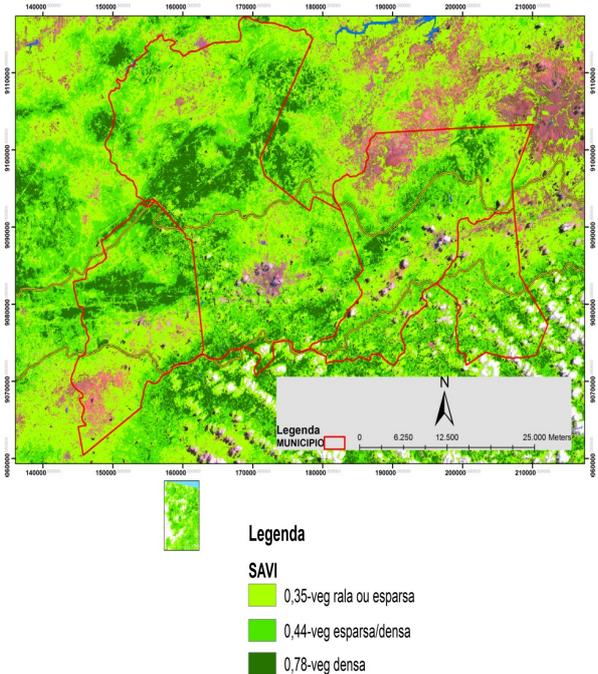
A próxima imagem a ser analisada e da data de 19/07/2007, sendo teoricamente, após o período chuvoso. Nota-se que a área estudada apresentou um aumento da umidade, reflexo provavelmente dos meses anteriores de chuva (Figura 10). Como já falado anteriormente, o acúmulo de água na vegetação faz com que os valores do NDWI aumentem, todavia, ainda há áreas de solo exposto e de vegetação rala/esparsa.

Também é importante salientar que o SAVI desse ano consegue fazer uma melhor distinção da vegetação rala/esparsa e da vegetação mais densa, e tendo, mesmo

com o aumento da umidade acarretada pelo período chuvoso nessa época do ano, a maior parte da vegetação da área abarcada pela pesquisa com vegetação rala ou esparsa (Figura 11).



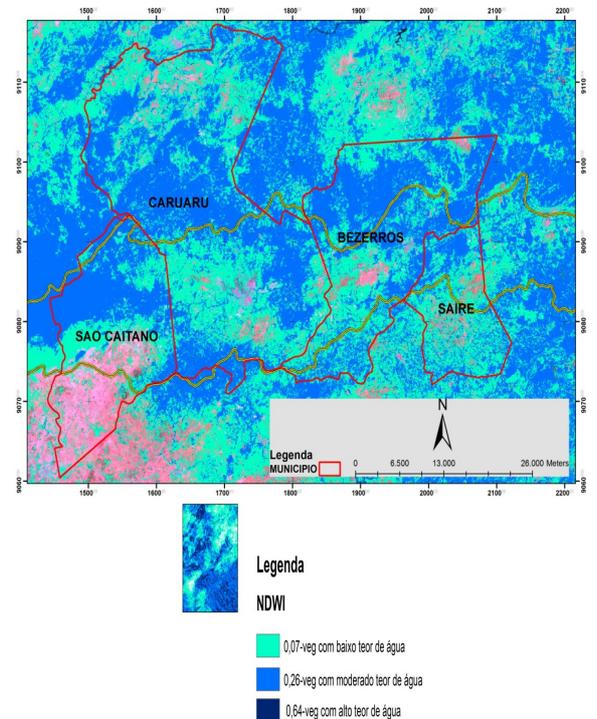
**Figura 10.** NDWI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 2007.



**Figura 11.** SAVI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 2007.

Nota-se, com a aplicação do índice de vegetação SAVI, que em comparação com o período de chuvas do ano de 1988, em 2007 a área apresenta uma vegetação mais esparsa, reflexo, provavelmente, do aumento do uso e da ocupação do solo nessas áreas.

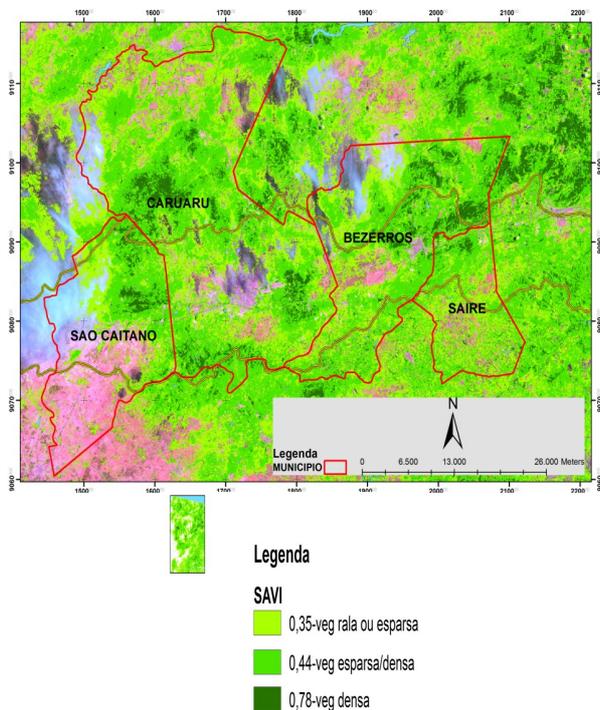
Numa imagem mais atual da área, do dia 17/03/2011, apesar de haver presença de algumas nuvens, dada a época do ano, a área de estudo pode ser bem visualizada. No NDWI realizado na área no ano de 2011, a umidade aparece bem distribuída, porém continuam aparecendo áreas com solo exposto, e a vegetação, em muitas áreas, ainda apresenta baixo teor de umidade (Figura 12).



**Figura 12.** NDWI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 2011

Apesar da umidade da área, a vegetação é rala (típica de áreas onde

predomina vegetação de caatinga), porém apresenta-se mais esparsa nesse ano (Figura 13).



**Figura 13.** SAVI de parte do médio trecho da Bacia do Ipojuca no ano de 2011.

Nota-se que no índice aplicado do SAVI, durante os diversos anos analisados, há a persistência, principalmente na parte inferior mais à direita do município de São Caetano, de áreas com solo exposto mesmo nos períodos de maior intensidade de chuva.

Nesse sentido, notou-se através da utilização do índice de umidade (NDWI), que mesmo durante períodos chuvosos o teor de umidade na vegetação apresentava-se moderado ou baixo (na maior parte da área abrangida pela pesquisa) e que nesses mesmos períodos, durante diferentes anos de amostragem, existiam algumas áreas de solo exposto as quais, potencialmente,

seriam áreas suscetíveis a processos de desertificação.

Essas áreas de solo exposto se apresentaram constantes desde a primeira imagem (do ano de 1988) até uma imagem mais recente (do ano de 2011), que podem ser visualizadas principalmente no município de São Caetano. Pelo exposto, há a necessidade de que nessas áreas, que normalmente são rodeadas por vegetação rala e/ou esparsa, existam estudos mais aprofundados acerca da existência de núcleos de desertificação e de formas de se evitar ou ao menos mitigar impactos ambientais advindos da utilização irracional dos diversos recursos da área e dos possíveis impactos ambientais decorrentes das obras de transposição do Rio São Francisco.

Pois, segundo Gutiérrez & Squeo (2004) quando se perde a cobertura arbustiva (por corte, queima ou pastoreio), a exposição do solo desnudo promove a formação de uma crosta superficial decorrente do impacto direto das gotas de chuva, o que reduz a infiltração da água aumentando o escoamento superficial, diminuindo as possibilidades de estabelecimento da cobertura vegetal. Dessa forma, os solos descobertos são muito susceptíveis à erosão hídrica e eólica, causando uma remoção líquida de nutrientes das áreas degradadas.

Nas áreas afetadas pela desertificação nas regiões semiáridas do

Nordeste brasileiro, a vegetação apresenta-se com porte reduzido e maior espaçamento entre os seus componentes do que nas demais áreas, geralmente coincidindo com a presença da caatinga hiperxerófila aberta. Nesse tipo de caatinga e solo, a desertificação pode surgir espontaneamente, havendo, pois, a possibilidade de sua preexistência no Nordeste antes do aparecimento do colonizador (VASCONCELOS SOBRINHO, 1982). É justamente para visualizar melhor o espaçamento da vegetação na área de estudo que foi utilizado o índice de vegetação SAVI.

Portanto, esses estudos vêm dar respaldo tanto à parte metodológica quanto à parte propriamente dos resultados em si, pois diante do exposto, dá-se a entender que essa Bacia tem demonstrado certa fragilidade no que diz respeito à própria dinâmica de vazão e à manutenção das características naturais da vegetação de caatinga, e as mudanças climáticas tendem a acentuar os efeitos sobre a população e a economia das áreas do seu entorno. Aliando-se a isso, ainda há os impactos advindos da transposição do Rio São Francisco, alterando profundamente no futuro, as formas de uso e ocupação dessas áreas.

A Bacia do Ipojuca terá a dinâmica natural de sua Bacia afetada pelas obras de transposição do Rio São Francisco e pelo fluxo das águas advindas da implantação

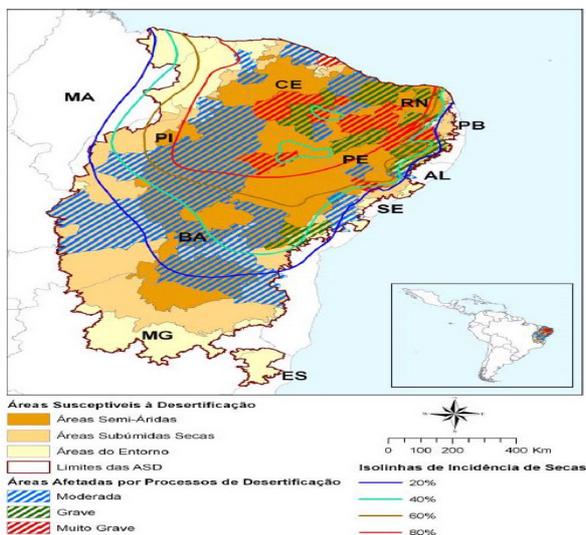
desse projeto. Gerando dessa forma, em áreas que não recebiam água ou que recebiam em níveis insuficientes, novas oportunidades de utilização de terras e impactos positivos e/ou negativos sobre a natureza.

Desses impactos citados, um dos que mais causam preocupação é o processo de desertificação. A Agenda 21, definiu a desertificação como sendo a degradação da terra nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas, sendo que, por degradação da terra se entende a degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e a redução da qualidade de vida das populações afetadas. A desertificação é a degradação das terras secas. Este processo consiste na perda da produtividade biológica e econômica das terras agrícolas, das pastagens e das áreas de matas nativas devido às variabilidades climáticas e às atividades humanas.

O processo de desertificação se manifesta de duas maneiras diferentes: i) difusa no território, abrangendo diferentes níveis de degradação dos solos, da vegetação e dos recursos hídricos; ii) concentrada em pequenas porções do território, porém com intensa degradação dos recursos da terra.

Segundo o Programa de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca na América do Sul (2011), no Brasil as

áreas susceptíveis estão localizadas na região Nordeste e no Norte de Minas Gerais. O mapa da susceptibilidade do Brasil, elaborado pelo MMA a partir de trabalho realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA, determinou três categorias de susceptibilidade: Alta, Muito Alta e Moderada. As duas primeiras referem-se respectivamente às áreas áridas e semi-áridas definidas pelo índice de aridez. A terceira é resultado da diferença entre a área do Polígono das Secas e as demais categorias. Assim, de um total de 980.711,58 km<sup>2</sup> de áreas susceptíveis, 238.644,47 km<sup>2</sup> são de susceptibilidade Muito Alta, 384.029,71 km<sup>2</sup> são de susceptibilidade Alta e 358,037,40 km<sup>2</sup> são moderadamente susceptíveis. (Figura 14).



**Figura 14.** Programa de combate à desertificação – PROÁGUA SEMI-ÁRIDO – Antidesertificação.

Fonte: OTAMAR, 2006.

Os estudos disponíveis indicam que

a área afetada de forma Muito Grave é de 98.595 km<sup>2</sup>, 10% do semi-árido e as áreas afetadas de forma Grave atingem 81.870 km<sup>2</sup>, 8% do território. Deve-se acrescentar que as demais áreas sujeitas ao antropismo, 393.897 km<sup>2</sup>, sofrem degradação Moderada.

Além destas áreas com níveis de degradação difusos, podem ser citadas 4 áreas com intensa degradação, segundo a literatura especializada, os chamados Núcleos de Desertificação. São eles: Gilbués-PI, Irauçuba-CE, Seridó-RN e Cabrobó-PE, totalizando uma área de 18.743,5 km<sup>2</sup>.

4.2 Possíveis Impactos Ambientais advindos da transposição do Rio São Francisco no médio trecho da Bacia do Ipojuca.

Diante disso, estudos como este, efetuados numa das Bacias receptoras como é o caso da Bacia do Ipojuca vem auxiliar na geração de dados e no direcionamento de pesquisas, dada a escassez de dados e de material bibliográfico já que a área de abrangência dos impactos divulgados pelo RIMA compreende apenas uma faixa ao longo dos canais de transposição com 5 km de largura para cada lado. Sendo necessários, desse modo, que se façam estudos mais complexos da dinâmica das Bacias receptoras para avaliar os impactos ambientais provenientes do empreendimento de transposição.

Um dos impactos ambientais citados

pelo RIMA é o início ou a aceleração dos processos de desertificação durante a operação do sistema, que é especialmente preocupante para os trechos superior e médio da Bacia em estudo, já que, segundo as imagens trabalhadas e através da aplicação da metodologia australiana empregada constatou-se, respectivamente, que há um alto estresse hídrico e uma alta vulnerabilidade da Bacia às mudanças climática no seu médio trecho, podendo esta Bacia estar susceptível nos próximos anos a sofrer com possíveis variações climáticas e conseqüentemente a processos de desertificação acarretados tanto pela própria dinâmica climática da área quanto pela ação antrópica no uso e ocupação do solo e no desmatamento da vegetação

nativa.

As áreas susceptíveis à desertificação e enquadradas no escopo de aplicação da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação são aquelas de clima árido, semi-árido e sub-úmido seco. Este índice foi utilizado para o estabelecimento das áreas de risco e para a elaboração do Atlas Mundial da Desertificação, publicado pelo PNUMA e que serve como parâmetro em todo o mundo.

Conforme a definição aceita internacionalmente, o Índice de Aridez, definido como a razão entre a Precipitação e a Evapotranspiração Potencial, estabelece as seguintes classes climáticas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Índice de Aridez.

<b>Hiper-árido</b>	<b>&lt; 0,03</b>
Árido	0,03 – 0,20
Semi-árido	0,21 – 0,50
Sub-úmido seco	0,51 – 0,65
<b>Sub-úmido úmido</b>	<b>&gt; 0,65</b>

Fonte: Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul.

Para Araújo Filho (2001) os desertos começam a se formar com as mudanças na composição florística da comunidade vegetal desaparecendo a vegetação original, desaparecimento intensificado pela destruição gradual da camada florística e a conseqüente redução do aporte de matéria orgânica que se manifesta no solo com a

perda de fertilidade e da estrutura. Essas mudanças na comunidade vegetal podem ter por causa mudanças climáticas ou degradação por atividades antrópicas o que levaria, respectivamente, aos tipos de desertificação Climática e Ecológica de Conti (1998).

Neste trabalho foi avaliado o índice

de aridez de alguns dos municípios situados no médio trecho da Bacia do Ipojuca ou próximos a ela. O índice de aridez foi estimado através da razão entre a precipitação média anual (P) e a Evapotranspiração potencial média anual (ETP) durante um período de 30 anos em determinados municípios que tiveram seus dados estudados, a saber: São Caetano, Caruaru, Toritama e Belo Jardim, tendo esses dois últimos, substituído os municípios de Bezerros e Sairé por falta de informações climáticas e pluviométricas dos mesmos.

É importante salientar que as estimativas de ETP foram baseadas em

valores médios mensais de longo período, obtidos, das normais climatológicas fornecidas pelo LAMEPE, e este procedimento de se avaliar médias de longos períodos acaba por desprezar as variações que ocorrem em escalas temporais menores, como as anuais e diárias.

Como exemplo do que foi feito em cada município estudado para se conseguir calcular o índice de aridez foi realizado a tabulação dos parâmetros relativos à temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial, como exemplificado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Índice de Aridez no município de São Caetano.

SÃO CAETANO			
T	ETP (mm/anual)	P (mm/anual)	IA
24,1	110,3	33	0,299072
24,1	102,0	52	0,509681
23,8	107,6	71	0,659909
23,4	97,6	70	0,717524
22,3	87,1	49	0,562886
21,1	71,7	61	0,850413
20,3	66,7	56	0,839497
20,5	69,1	24	0,347148
21,5	77,3	16	0,206987
22,9	96,3	1	0,01038
23,7	104,1	10	0,096097
24,1	113,8	23	0,20207
			0,441809

Deve-se salientar que o balanço hídrico foi feito levando-se em consideração a altitude do posto e as coordenadas de cada

município analisado. Os dados do índice de aridez de cada município analisado encontra-se na Tabela 3.

**Tabela 3.** Índice de aridez dos municípios inseridos na área de estudo.

MUNICÍPIOS	PRECIPITAÇÃO (mm)	TEMPERATURA (°C)	EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (mm)	ÍNDICE DE ÁRIDEZ
BELO JARDIM	61	22,4	90,48	0,694
CARUARU	55,167	22,5	90,94	0,643
SÃO	38,833	22,6	91,97	0,442
CAETANO	47,750	23,9	103,6	0,478
TORITAMA				

Nota-se pelos resultados obtidos através da aplicação do índice de aridez, que os municípios de São Caetano e de Toritama (que substituiu o município de Bezerros na análise dos dados e que é relativamente próximo a este) encontram-se, segundo a definição aceita internacionalmente, compreendidos numa faixa caracterizada pelo domínio semi-árido com o índice de aridez que varia entre 0,21 e 0,50.

O município de Caruaru teve o índice de aridez de 0,643, estando por isso inserido no domínio sub-úmido seco, que no índice de aridez corresponde à faixa que varia entre 0,41 e 0,65. Já o município de Belo Jardim (que substituiu o município de Bezerros na análise dos dados) obteve o índice de aridez de 0,694, estando então, segundo a definição proposta, inserido no domínio sub-úmido úmido. Dessa maneira, pode-se perceber que esses quatro municípios estão inseridos em áreas onde, teoricamente, há certa suscetibilidade ao processo de desertificação e os dados obtidos através da análise das imagens referentes à umidade e à vegetação dos diferentes anos estudados demonstrou que

em algumas áreas a preocupação deve ser maior já que além da suscetibilidade originada pela própria dinâmica climática, há manchas de solo exposto que permaneceram através dos anos e que se agravam pelas formas de uso e ocupação do solo, possibilitando dessa forma a origem de núcleos onde haja o início de um processo de desertificação.

Segundo Galindo et al. (2008) a característica fundamental do fenômeno da desertificação no semi-árido nordestino é a presença de manchas de solo exposto. São geralmente áreas de solos rasos, sem capacidade de retenção de água e com limitações físicas e químicas, que aumentam a vocação ecológica para a desertificação. O solo é o condicionante dessas áreas mais intensamente degradadas por entre caatingas mais altas e mais densas. Essa falta de umidade no solo pôde ser visualizada na área de estudo através do índice de umidade NDWI.

Dessa forma, através dos índices de umidade e de vegetação, o médio trecho inspira cuidados. Todavia é importante

lembrar e salientar que a situação no trecho superior da Bacia deve ser muito mais preocupante, pela própria característica climática da área localizada no sertão do Estado de Pernambuco sob predomínio do clima semi-árido, inspirando, dessa forma, trabalhos futuros.

Outro ponto importante a se analisar é um impacto positivo trazido pela Transposição que é a irrigação de áreas abandonadas e criação de novas fronteiras agrícolas. Segundo as classes de capacidade de uso das terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens, reflorestamento e vida silvestre, realizado pela CONDEPE/FIDEM, observaram-se, através da Tabela 1, que a maior parte das terras do trecho superior e do médio trecho da Bacia pertence às classes IV, V e VI que são respectivamente, terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada e com sérios problemas de conservação; terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação, cultiváveis apenas em casos muito especiais; e, terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, com problemas moderados de conservação, cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo.

Diante dessa realidade a transposição do Rio São Francisco se apresenta como uma alternativa viável e benéfica para a agricultura na área de estudo com um aumento da água

disponível e diminuição da perda devido aos reservatórios, com potencial aumento da produção agrícola e conseqüentemente do dinamismo econômico na área, reduzindo dessa forma, problemas trazidos pela seca, como a escassez de alimentos, baixa produtividade no campo e desemprego rural. Porém é sabido que ao longo das várzeas por onde passarão os canais e com maior potencial para a atividade agrícola, prevê-se um aumento da especulação imobiliária, devendo dessa forma, as melhores terras ficarem nas mãos dos poucos que podem pagar por elas.

Todavia, é importante ter cuidado ao observar os impactos que um empreendimento de grande porte, como o é a Transposição, pode causar em determinadas áreas pois, podem-se observar que em algumas áreas do Nordeste brasileiro já existem impactos advindos de obras realizadas nesse Rio, como exemplo citado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, de que após a regularização da vazão no rio, imposta pela operação das hidrelétricas, o avanço do mar no litoral norte de Sergipe provocou a destruição de dois povoados na Foz do Rio São Francisco, em 1998 e em 2005, estando esta região bastante sensível a novas intervenções.

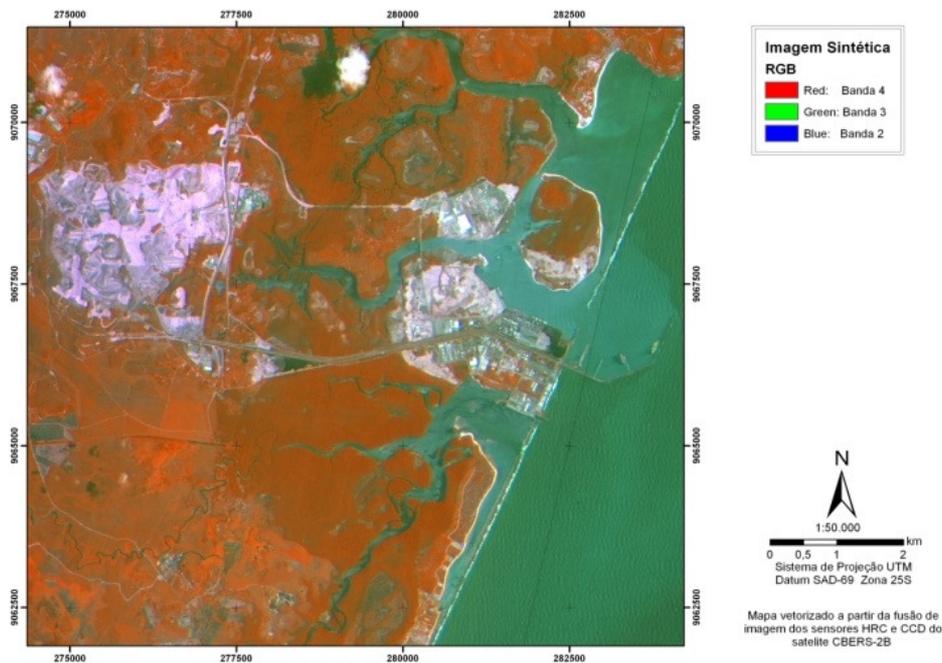
O RIMA também alerta para o fato de alguns rios não terem capacidade para receber o volume de água projetado, inundando os riachos paralelos. Daí a preocupação com as formas de uso e ocupação do solo nas áreas

que ficam no entorno da Bacia do Ipojuca, pois, apesar dos trechos superior e médio da Bacia apresentarem grande necessidade de água, comumente esta Bacia apresenta problemas ligados à poluição e cheias no seu curso inferior.

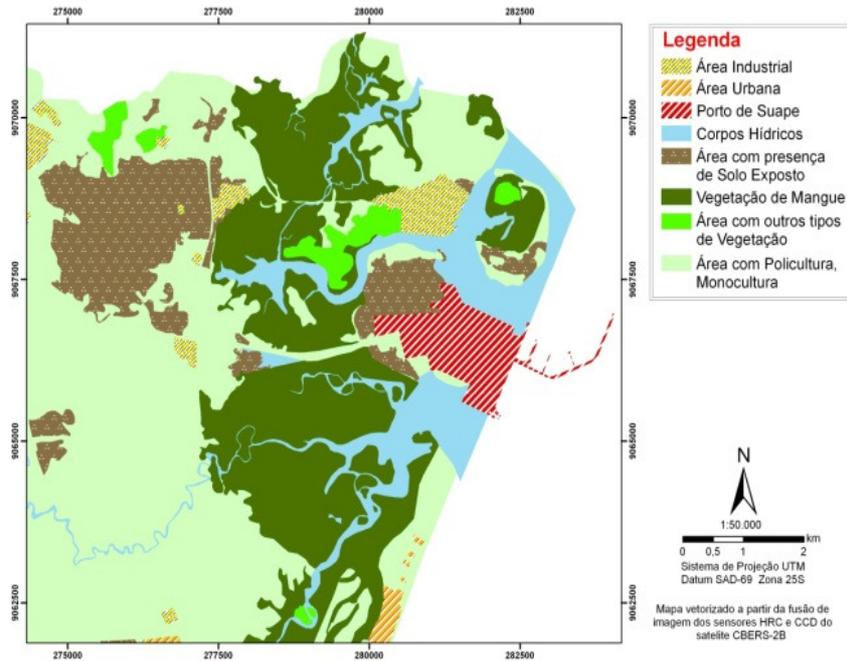
E é no curso inferior da Bacia que outro empreendimento de grande porte está localizado, o Porto de Suape, causando impacto ambiental também nessa área. Num trabalho realizado por Silva et. al. (2009), através do mapeamento do uso e da ocupação do solo, empregando-se técnicas de fusão de imagem dos sensores HRC e CCD do satélite CBERS 2B, procurando avaliar e delimitar os perfis espaciais da urbanização em ambientes estuarinos do Porto de Suape no ano de 2007.

Na Figura 15 se pode visualizar o impacto ambiental trazido pela expansão dos espaços construídos sobre os ambientes

naturais, caracterizados basicamente por bosques de manguezal, através da série crescente de empreendimentos industriais e portuários na área de Suape. Foram verificadas na área, através de análise não-supervisionada, sete classes principais de uso e cobertura do solo no entorno do porto de Suape (como demonstrado na Figura 16), sendo mais destacada a área com presença de solo exposto, reflexo da ocupação do solo e do aumento da área urbana, e de extensas áreas onde se praticam policultura e monocultura, originada pelas intensas modificações proporcionadas pelos novos empreendimentos. Foi possível verificar também uma ampla cobertura da superfície pela vegetação do bioma mangue, todavia é possível notar ainda, áreas sem vegetação nas suas partes centrais.



**Figura 15.** Fusão das imagens dos sensores HRC e CCD do satélite CBERS 2B, gerando uma imagem sintética com resolução espacial de 2,5m e colorida.



**Figura 16.** Vetorização do produto obtido através da utilização da técnica de fusão. Mapa de Uso e Ocupação do Solo do entorno do Porto de Suape.

Dessa forma pode-se perceber a heterogeneidade dessa Bacia que é tão importante para o estado de Pernambuco e, principalmente, para a região semi-árida e agreste do estado, dada a grande necessidade por água nessas áreas. Entretanto, no trecho inferior essa necessidade não é tão grande, pois é sabido que por vezes os municípios inseridos nessa parte da Bacia sofrem com enchentes periódicas.

Portanto, em função dessa heterogeneidade, há de se ter certa cautela ao planejar obras de grande porte, tendo em vista a transposição do rio São Francisco, pois apesar do que foi visto quanto ao controle que se terá do volume de água do Rio em direção às Bacias receptoras, o Ministério da Integração Nacional não cita nenhuma maneira de se controlar esse grande volume de água advinda da Bacia doadora, dentro da

Bacia do Ipojuca (em se tratando dos diversos trechos da Bacia) ou de quaisquer outras bacias receptoras.

## 5. Conclusões

Para efeito de estudo preliminar os resultados foram satisfatórios no sentido de identificar novos parâmetros e novas metodologias para observação de possíveis núcleos de desertificação. É aconselhável dar-se continuidade a este trabalho ampliando-se o escopo de observação da área de estudo para ter uma visão mais geral do território levando-se em consideração tanto o trecho superior, o médio e o inferior da Bacia do Ipojuca e não apenas partes dela, tendo em vista que esta é uma das bacias que receberão água advinda da transposição do rio São Francisco.

Os dados obtidos com a utilização do índice de aridez foram importantes pela

complementação dos resultados obtidos pelo NDWI e SAVI. Todavia, é importante salientar que o índice de aridez trabalha com dados climáticos e pluviométricos, e os processos de desertificação podem ser originados e/ou intensificados por demais fatores tais como: as variações nos padrões climáticos e as atividades humanas, explicitadas através da utilização intensiva do solo e pelo desmatamento. Dessa forma, as áreas mais preocupantes são as áreas de solos rasos, com pouca capacidade de retenção de água e com limitações físicas e químicas, que aumentam a vocação ecológica para a desertificação. Sendo então necessários estudos mais aprofundados dos solos na área de estudo.

Os resultados obtidos de alto estresse hídrico na vegetação dão a entender que a transposição das águas do Rio São Francisco é a alternativa mais cabível para a realidade da área de estudo. Porém, diante do Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) realizado pelo Ministério da Integração Nacional, observa-se que os benefícios trazidos à população que vive nas áreas abarcadas pelo projeto, e ao meio ambiente, estão aquém dos impactos negativos originados pelo empreendimento.

## 6. Agradecimentos

Ao doutorando Antônio Marcos dos Santos pelo auxílio no cálculo do índice de aridez, à Hewerton Alves da Silva pelo auxílio na produção dos mapas, ao INPE pela

disponibilização das imagens de satélite, ao LAMEPE pela disponibilização dos dados pluviométricos e climatológicos e, por último ao laboratório SERGEO pelo incentivo aos trabalhos acadêmicos dos seus integrantes no Departamento de Ciências Geográficas e pela disponibilização dos softwares ArcGis e ERDAS IMAGINE para o mapeamento da área de estudo neste trabalho. Ao CNPq pelo auxílio financeiro a pesquisa através do projeto/processo 577356/2008-9.

## 7. Referências

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implem. 97p.

Araújo Filho, J. A. (2011). A desertificação nossa de cada dia. Coletânea Rumos & Debates. Disponível em: <http://www.embrapa.br.:8080/aplic/rumos.nsf/f7c8b9aeabcc8583>.

Campos, H. L. (2009). O processo de desertificação: vulnerabilidade aos fenômenos climáticos. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 26, n. 3, set/dez.

Castro, P. R. C. (1994). Comportamento do Citros sob déficit hídrico. Laranja. v. 2, n.15, p.139-154.

Chander, G.; Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience

and Remote Sensing, v. 41, n. 11.

CONDEPE. (2005). Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca: Série Bacias hidrográficas de Pernambuco. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Planejamento, Agência Estadual de planejamento e pesquisas de Pernambuco. 64 págs.

Fensholt, R.; Sandholt, I. (2003). Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sensing of Environment*, v. 87, p. 111-121.

Freitas, M. A. V. Santos. A. H. M. (2000). Perspectivas de Gestão e da Informação de Recursos Hídricos. In: O Estado das Águas no Brasil, ANEEL –, Brasília – DF, Parte 1.

Galindo, I. C. L., Ribeiro, M. R., Santos, M. F.A. V.; Lima, J. F. W. F; Ferreira, R. F. A. L. (2008). Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*.

Gao, B. C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p. 257-266.

Gutiérrez, J. R.; Squeo, F. A. (2004). Importância de los arbustos em los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas*, 2004/1 Disponível em: <URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/041/investigacion2.htm>>

Huete, A. R. (1988). Adjusting vegetation indices for soil influences. *International Agrophysics*, v.4, n.4, p.367-376.

IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2007). *Novos Cenários Climáticos. Relatório do IPCC/ONU*.

Markham, B. L.; Barker, L. L. (1987). Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v.8, n.3, p.517-523.

Mouat, D.; Lancaster, J.; Wade, T.; Wickham, J.; Fox, C.; Kepner, W.; Ball, T. (1997). Desertification Evaluated Using an Integrated Environmental Assessment Model. *Environmental Monitoring and Assessment*. v. 48, p. 139-156.

Novo, E. M. (1989). *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo. Edgard Blucher, 309p.

Nolêto, T. M. S. J. (2005). Suscetibilidade geoambiental das terras secas da microrregião de sobral - CE a desertificação. *Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente*. Fortaleza – CE.

Oliveira, T. H.; Silva, J. S.; Machado C. C. C.; Galvêncio, J. D.; Pimentel, R. M. M.; Silva, B. B. (2010). Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Homepage: [www.ufpe.br/rbge](http://www.ufpe.br/rbge).

- Pereira, A. R.; Villa Nova, N. A.; Sediya, G. C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 183p.
- PNMA, (2003). *Atualização e complementação dos usos da água na Bacia do Rio Ipojuca*. Projeto: Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco, Recife, PE, 13p.
- Rolim, G. S.; Sentelhas, P. C. & Barbieri, V. (1998). Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, p.133-137.
- Rosa, R. Brito, J. L. S. (1996). *Introdução ao geoprocessamento: sistemas de informações geográficas*. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 104p.
- Ross, J. L. S. (2001). *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. 6a. ed, SP, Contexto.
- Salas, J. D. (1993). Analysis and modeling of hydrologic time series. In: Maidment, D.R. (ed.) *Handbook of hydrology*. MacGraw-Hill, United States of America, pp. 19.1-20.1.
- Sánchez, L. E. (2006). *Avaliação de impactos ambientais: conceitos e métodos*. São Paulo : Oficina de Textos, 495 p.
- Silva, E. R. A. C.; Vidal, C. V. S.; Silva, C. A. V.; Galvêncio, J. D. (2009). *Elaboração de mapa de uso e ocupação do solo do entorno do porto de Suape através de imagens dos sensores HRC e CCD do satélite CBERS 2B*. III Colóquio de Tecnologia e Geociências. UFPE.
- Vasconcelos Sobrinho, J. (1982). *Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil: Sua gênese e sua contenção*. Recife, SEMA/SUDENE, 101p.