



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/1: 139-160
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO, TEMPERATURA E ALBEDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PAJEÚ COM IMAGENS MODIS

*Mapping Vegetation, Temperature and Albedo of Watershed Pajeú
with MODIS Images*

**Rafaella Chrystiane de Moura Matos¹; Ana Lúcia Bezerra Candeias²
& João Rodrigues Tavares Junior²**

¹Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Pós-graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - 2º andar – DECIVIL
Cidade Universitária - 50740-530 - Recife - Pernambuco
rafaella.matos@gmail.com

²Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n - 2º andar - DECart
Cidade Universitária - 50740-530 - Recife - Pernambuco
analucia@ufpe.br
joaoufpe@gmail.com

Recebido em 09 de outubro, 2011/ Aceito em 26 de novembro, 2011
Received on october 09, 2011/ Accepted on november 26, 2011

RESUMO

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Spectroradiometer*) foi concebido para análise de mudanças em escala global, possuindo assim diversas aplicações ambientais. Nesta pesquisa foram utilizados exclusivamente produtos relacionados ao NDVI, EVI, temperatura e albedo das imagens MODIS/Terra. Estes produtos foram avaliados em um estudo sobre a bacia hidrográfica do Rio Pajeú (UP9 – Unidade de Planejamento Hídrico 9) que está localizada no estado de Pernambuco. Os objetivos foram, portanto: analisar a variação da vegetação na área da bacia a partir de imagens multitemporais de NDVI e EVI; analisar o comportamento da temperatura na área da bacia; e analisar a distribuição do albedo sobre a região a partir de uma análise multitemporal. Neste trabalho, os parâmetros extraídos das imagens (NDVI, EVI, temperatura e albedo) foram comparados com dados temáticos contidos no ZAPE (Zoneamento Agroecológico de Pernambuco) desenvolvido pela EMBRAPA Solos e, sobrepostos a mapas da transposição do Rio São Francisco que corta uma pequena faixa desta bacia, mas que pode causar alterações importantes na área. Um mapeamento temático da bacia hidrográfica foi desenvolvido. A gestão da bacia, bem como a área de transposição do Rio São Francisco podem ser auxiliadas a partir de informações de solo, temperatura, NDVI ou EVI e Albedo. Além disto, é possível prever possíveis problemas na área caso sejam instaladas áreas irrigadas. A parte sul da bacia do Pajeú por ter temperaturas mais altas, solos pobres e com possibilidade de salinização exige maiores cuidados. Mostrou neste trabalho que imagens MODIS são importantes para análise espacial, temporal e espectral da bacia.

Palavras chaves: MODIS, Bacia Hidrográfica, Mudanças Globais, Transposição do Rio São Francisco, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The sensor MODIS (Moderate Resolution Spectroradiometer) is designed for analysis of changes on a global scale, thus having different environmental applications. In this study we used only products related to NDVI, EVI, temperature and albedo from MODIS / Terra. These products were evaluated in a study of the river basin Pajeu (UP9 - Water Resources Planning Unit 9) which is located in the state of Pernambuco. The objectives were therefore: to analyze the variation of the vegetation in the basin from multitemporal images of NDVI and EVI, analyze the behavior of the temperature in the basin, and analyze the distribution of the albedo of the region from a multitemporal analysis. In this paper, the parameters extracted from the images (NDVI, EVI, temperature and albedo) were compared with data contained in the thematic ZAPE (Agroecological Zoning of Pernambuco) developed by EMBRAPA Soils and superimposed on maps of the transposition of the São Francisco River that cuts a small range of this basin, but can cause major changes in the area. A thematic map of the watershed was developed. The management of the basin, as well as the area of transposition of Rio São Francisco can be helped from information of soil, temperature, albedo and NDVI or EVI. Moreover, it is possible to predict potential problems if they are installed in the area irrigated areas. The southern part of the Pajeu watershed has higher temperatures, poor soils and with the possibility of salinization requires more care. This work showed that MODIS images are important for spatial analysis, temporal and spectral watershed.

Keywords: MODIS, Basin Pajeú-PE, Global Changes, Transposition of the São Francisco River, Remote Sensing.

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma tecnologia que permite, a partir de sensores, monitorar água, solo e vegetação sobre extensas áreas. No caso da vegetação da Caatinga na região do Semi Árido de Pernambuco, o SR possibilita o mapeamento atualizado da área e pode auxiliar em sua Gestão Ambiental.

O *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um sensor indicado quando se desenvolve estudos no contexto de mudanças globais e/ou mapeamento para grandes áreas. Vários modelos teóricos e documentos científicos de síntese sobre mudanças climáticas de especialistas mundiais, como os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, órgão das Nações Unidas, publicados desde 1988, têm sensibilizado governos e pesquisadores a disseminar métodos de obter dados sobre o monitoramento dos efeitos regionais causados pelas mudanças do clima sobre os recursos naturais como a água, solo e vegetação, fundamentais para o desenvolvimento sócio-econômico (COSTA e LAGES, 2008; BUCKERIDGE, 2007).

Atualmente o sensor MODIS está em órbita em dois satélites Terra e Aqua. O MODIS/Terra possui um horário de passagem às 10h e 30min (hora de Brasília) enquanto o MODIS/Aqua às 13h e 30min, o que facilita a análise de um mesmo evento em horários de passagem diferentes. Estes sensores possuem ainda um conjunto de 36 bandas, que

permite maior possibilidade de discriminação espectral.

A resolução espacial das imagens MODIS varia de 250m a 1km dependendo da banda ou produto a ser analisado. Com isto, pode-se obter um mapeamento para grandes áreas em uma única imagem.

As imagens MODIS são distribuídas gratuitamente em formato HDF. Tanto as imagens do MODIS-Terra, como as imagens do Aqua estão no sistema WGS84, facilitando a representação para SIRGAS 2000.

RUDORFF *et. al.* (2005) mostram o estado da arte do uso dos dados do MODIS no Brasil. Eles destacam o desenvolvimento de metodologias e aplicações para agricultura, para o estudo do meio ambiente, para a hidrosfera, para a atmosfera, e também para aplicações sócio-econômicas. HEUTE *et. al.* (2002) mostram uma visão geral do desempenho dos índices de vegetação para o MODIS. LIANG *et. al.* (2002) apresenta uma validação do MODIS e resultados preliminares para a reflectância da superfície da terra e do albedo. Já FORMIGONI (2008) mostra uma análise Multi-Temporal da Vegetação na Região Nordeste do Brasil através do EVI do Sensor MODIS. Para a região sudeste tem-se o estudo de ROSEMBACK *et al.* (2010) que fizeram uma análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil utilizando dados MODIS/TERRA.

SILVA, FORMAGGIO e SHIMABUKURO (2010) desenvolveram uma abordagem espaço-temporal para áreas alteradas em função de atividades antrópicas no bioma no estado do Mato Grosso (MT). A resolução espacial é melhor que a do MODIS, pois utiliza imagens TM e ETM+. Como a área analisada era grande foi necessário mosaicar as imagens.

As imagens MODIS Terra e Aqua possuem alta resolução espectral e temporal sendo adequadas a estudo de grandes bacias hidrográficas. Cardoso (2003) afirma que a política nacional de recursos hídricos, institui a bacia hidrográfica como unidade de gestão. JHONATHAN et. al. (2007) apresentam um estudo sobre o monitoramento do uso do solo com dados MODIS para longos períodos e em escala regional, e sua aplicação na Bacia do Alto Taquari, MS/MT. Já LACRUZ e SOUSA JÚNIOR (2007) mostram um estudo na Bacia do Rio Taquari a partir de séries temporais do EVI/MODIS e da análise harmônica. Neste artigo utiliza-se a bacia hidrográfica do Rio Pajeú – PE como área a ser analisada.

Uma das vantagens de se empregar imagens MODIS para uma análise regional da Bacia do Pajeú é que, apenas uma imagem já é suficiente para o imageamento de toda a bacia.

O traçado do projeto de transposição do Rio São Francisco do Ministério da Integração Nacional do Eixo Leste, abrange uma pequena porção da bacia hidrográfica do rio Pajeú, e fornece a possibilidade de uso da água para irrigação e uso doméstico. Esta obra poderá influenciar na expansão urbana, alteração da vegetação nativa e na agricultura da área. Mapas de solo, de albedo, NDVI, temperatura entre outros podem auxiliar o monitoramento do uso e ocupação do solo na escala da bacia do rio Pajeú. O MODIS disponibiliza produtos denominados MODLAND para estudos de ecossistemas terrestres. Estes produtos estão relacionados com o balanço de energia, e cobertura terrestre. Os produtos MODIS MOD13Q1 (índices de vegetação, composição de 16 dias), MCD43B3 (Albedo) e MOD11A1 (temperatura e emissividade) foram analisados neste artigo para a bacia hidrográfica do Rio Pajeú, no estado de Pernambuco e forneceram respectivamente o mapeamento para NDVI, EVI, albedo e temperatura da área analisada. Para uma melhor

resolução espacial do albedo sugere-se o produto MCD43A3.

A gestão do fornecimento d' água na área de influencia direta do eixo leste de transposição para irrigação deve ser acompanhada de um estudo de seu potencial para agricultura, dos tipos de solos presentes e de produtos multitemporais como os que o MODIS fornece.

A escala do MODIS com o pixel de 500 m é compatível com a escala de mapas climatológicos e meteorológicos e mapas de bacias hidrográficas.

O objetivo do presente estudo é mostrar que as resoluções espacial, espectral e temporal do MODIS podem auxiliar a estudos ambientais em bacias hidrográficas.

Especificamente será analisada a bacia do rio Pajeú, uma área que sofre com diversos fatores tanto naturais quanto antrópicos, entre estes pode-se destacar que a área da bacia será diretamente influenciada pela transposição do rio São Francisco. Como objetivos específicos têm-se:

a) analisar a variação da vegetação na área da bacia a partir de imagens multitemporais de NDVI e EVI;

b) analisar o comportamento da temperatura na área da bacia;

c) analisar a distribuição do albedo sobre a região a partir de uma análise multitemporal.

d) comparar os dados do ZAPE (solo, potencial para agricultura e potencial para irrigação), imagem TM-Landsat e NDVI/TM com os produtos MODIS: albedo e NDVI.

2. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ-PE E IMAGENS MODIS

Uma cena do MODIS (10° x 10°, aproximadamente 1102 x 1102 km na latitude de 8° onde se encontra o estado de Pernambuco) é suficiente para cobrir toda a bacia hidrográfica do rio Pajeú (UP9 – Unidade de Planejamento Hídrico 9) que, no sentido SW-NE, apresenta sua linha de extensão geográfica máxima de aproximadamente 238,6 Km. Esta bacia é a maior do estado de Pernambuco (Figura 1), e está localizada nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco. Envolve as microrregiões do Pajeú, em sua totalidade, e parte do Sertão do Moxotó, do Salgueiro e de Itaparica. Esta bacia possui uma área de 16.685,63 Km² (16,9% da área de Pernambuco). A Figura 1(b) apresenta os

municípios desta bacia. Detalhes desta área são encontrados em SALGUEIRO e MONTENEGRO (2008). O sistema de projeção desta bacia é o Policônico.

3. TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

O eixo leste da transposição do Rio São Francisco abrange um pequeno trecho da bacia hidrográfica do Rio Pajeú, como pode ser visto na Figura 2 (linha verde mais escura, cruzando a bacia). No entorno deste eixo tem-se em verde mais claro, a área de influência direta definida em CIRILO (2011).

As imagens de sensoriamento remoto e parâmetros como: NDVI, EVI, albedo e temperatura gerados a partir das imagens do MODIS e comparados e/ou cruzados com a área de influência direta fornecem informações de gestão ambiental da área da transposição. Esta análise será vista na seção 9 deste artigo. Será incluído naquela seção dados do ZAPE (EMBRAPA) e imagem TM/Landsat. Maiores detalhes sobre a transposição podem ser encontrados no Ministério da Integração Nacional (MI, 2011).

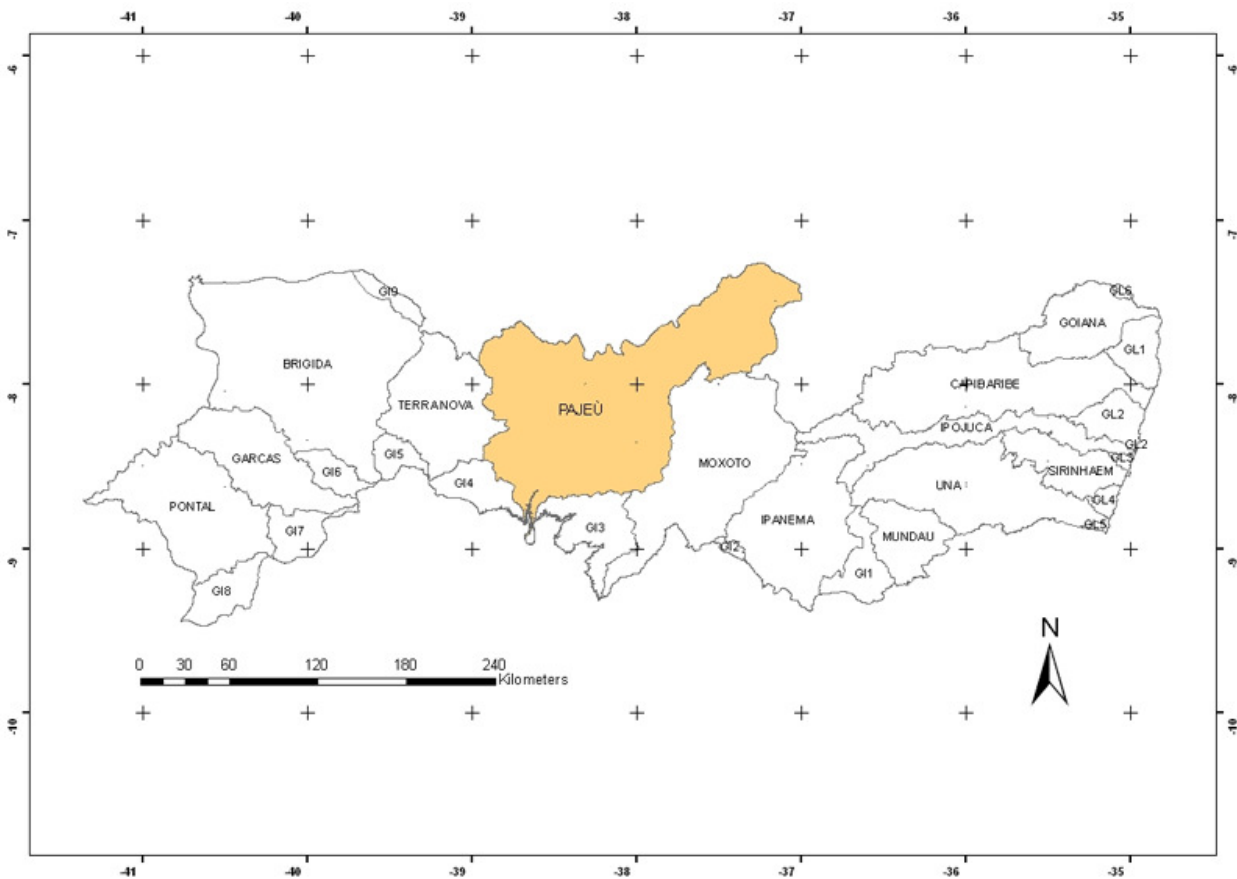
4. O SENSOR MODIS

O sensor MODIS está presente nos satélites Terra e Aqua e adquirem dados da superfície terrestre a cada 1 ou 2 dias. A órbita do satélite Terra é cronometrada para passar de norte a sul do planeta ao longo da linha do Equador no período da manhã, enquanto a órbita do satélite Aqua passa do sul ao norte durante o período da tarde (JUSTICE *et. al.*, 2002).

Este sensor foi projetado para fornecer séries de observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera nas regiões do visível (VIS) e do infravermelho (IV) do espectro eletromagnético. A importância do sensor MODIS dentro do EOS é destacada pelo fato de este se apresentar a bordo de duas plataformas. A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas do MODIS (SOARES *et. al.*, 2007).

Os produtos MODIS são de acesso gratuito e podem ser adquiridos via FTP, CDROM ou DVD.

As menores unidades dos níveis 2, 3 e 4 se apresentam em formato de *tile*, que consiste em

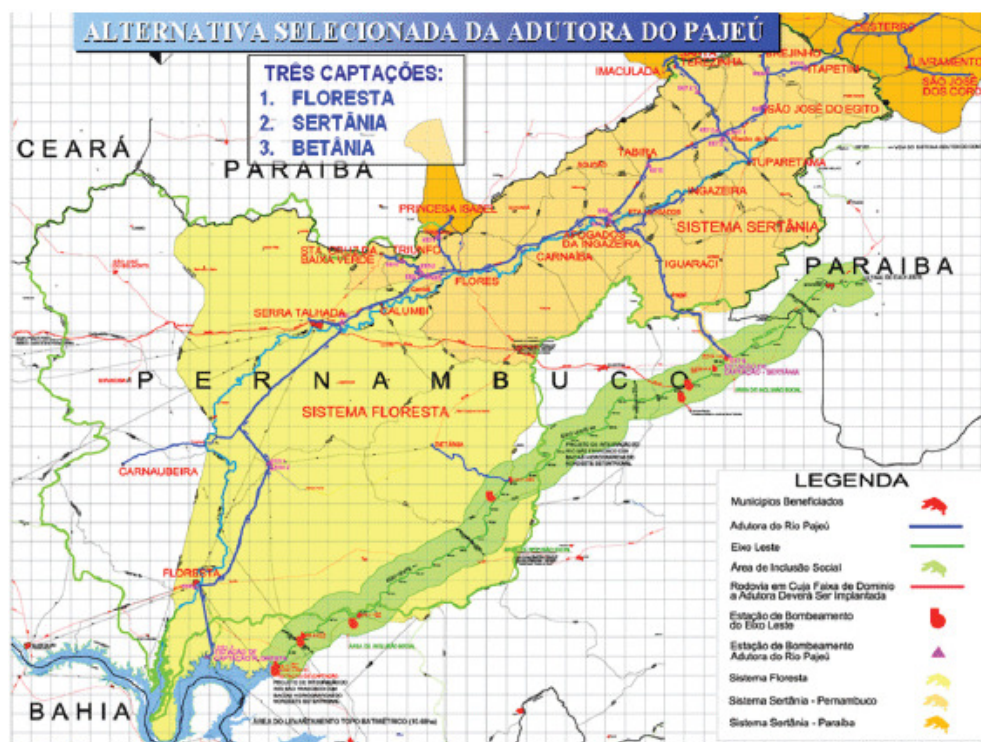


(a)



(b)

Fig. 1 - Bacia Hidrográfica do Pajeú. (a) Localização da Bacia Hidrográfica do Pajeú no Estado de Pernambuco. (b) Municípios da Bacia hidrográfica do Pajeú. Fonte: Matos (2009).



Fonte: Ministério da Integração/Dnocs.

Fig. 2 - Transposição do São Francisco. Eixo leste da transposição do São Francisco (área de inclusão social – polígono em verde mais claro. A linha central do polígono é a linha de transposição). Fonte: CIRILO (2011).

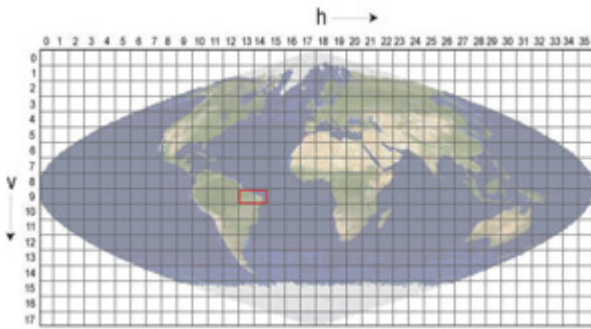


Fig. 3 - Grade de representação das cenas MODIS na projeção Sinusoidal com destaque para os dois *tiles*, h13v09 e h14v09 (retângulo em vermelho) utilizados no estudo. Fonte: MATOS(2009).

uma área geocodificada de 1.200 x 1.200 Km, como mostra a Figura 3, com destaque em vermelho para a região do *tile* correspondente a h13 v09 e h14 v09 que compreende os *tiles* que cobrem a área do Estado de Pernambuco.

O tratamento dos dados MODIS é realizado em programas específicos desenvolvidos pela NASA, disponíveis gratuitamente, um exemplo é o MRT (MODIS *Reprojection Tool*) e disponibilizado no no formato HDF (*Hierarchical Data Format*).

O formato de dados HDF foi estabelecido como padrão para hospedar o modelo de dados implementado pela EOS a partir de estudos realizados pela NASA. Estes arquivos se autodescrevem, facilitando entendimento de sua estrutura e do seu conteúdo (JUSTICE *et al.*, 2002).

Deve-se observar que todos os horários estão em UTC, padrão internacional de tempo mantido pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas,.

As características gerais do MODIS para diferentes tipos de pesquisas e estão detalhadas em SOARES *et al.*, (2007) e MATOS (2009).

Os produtos são utilizados neste artigo são de dados diários: MOD11A1, MCD43 e MOD13 e tratados com mais detalhes a seguir:

O MOD11A1 é um produto do nível 2 que fornece dados de temperatura da superfície terrestre (LST – *Land Surface Temperature*) e emissividade (E) diárias da superfície terrestre com resolução espacial de 1 Km, este é composto por LSTs diurnos e noturnos, qualidade de avaliação, tempos de observação, ângulos de visada, cobertura de céu claro e emissividades estimadas nas bandas 31 e 32 para tipos de cobertura do solo (NASA, 2011).

As variáveis contidas neste produto são aplicadas a diversos estudos que descrevem os processos da superfície terrestre, dentre eles cabe destacar estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos (LATORRE *et al.*, 2007).

O MOD43B3 contém um conjunto de dados da distribuição da função da reflectância (BRDF) tridimensional que contém parâmetros usados para derivar o Albedo, que é definido como a fração de energia incidente que é refletida pela superfície e que volta para a atmosfera (LATORRE *et al.*, 2007).

O MOD13Q1 foi desenvolvido para fornecer informações consistentes sobre condições da vegetação a partir de comparações espaciais e temporais, contendo bandas do azul, do vermelho e infravermelho próximo, seus dados são disponibilizados a cada 16 dias com uma resolução espacial de 250 m.

5. ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) E REALCE DA VEGETAÇÃO (EVI)

No estudo da área serão analisados as áreas com solo exposto que terão valores baixos de índice de vegetação. Já para áreas densamente vegetadas irão apresentar altos índices de vegetação. Os índices de vegetação NDVI e EVI apresentam os resultados onde existe e onde não existe vegetação.

Os IVs (Índices de Vegetação) mais utilizados fazem uso de informações contidas nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, sendo os mais comuns o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (PONZONI, 2001; HUETE *et al.*, 2002; SAMPAIO, 2007; FORMIGONI, 2008).

O NDVI é dado a partir da equação (2) a seguir:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (2)$$

Onde:

ρ_{NIR} é a reflectância na faixa do infravermelho próximo;

Tabela 2 - Especificações gerais do sensor MODIS

Banda (n°)	Intervalo de Banda (nm)	Radiância Espectral (W/m ² -mm-sr)	Usos Principais	Tamanho do Pixel (m)	Pixels na Imagem	Número de linhas na imagem			
1	620-670	21.8	Limites da Terra, Nuvens, Aerosoles	250	5416	>20000			
2	841-876	24.7							
3	459-479	35.3	Propriedades da Terra, Nuvens, Aerosoles	500	2708	>10000			
4	545-565	29.0							
5	1 230-1 250	5.4							
6	1 628-1 652	7.3							
7	2 105-2 155	1.0							
8	405-420	44.9							
9	438-448	41.9							
10	483-493	32.1							
11	526-536	27.9	Biogeoquímica, Cor do Oceano, Fitoplâncton						
12	546-556	21.0							
13	662-672	9.5							
14	673-383	8.7							
15	743-753	10.2							
16	862-877	6.2							
17	890-920	10.0	Vapor de água atmosférico						
18	931-941	3.6							
19	915-965	15.0							
20	3 660-3 840	0.45(300K)	Temperatura de Superfície e nuvens						
21	3 929-3 989	2.38(335K)							
22	3 929-3 989	0.67(300K)							
23	4 020-4 080	0.79(300K)							
24	4 433-4 498	0.17(250K)	Temperatura Atmosférica						
25	4 482-4 589	0.59(275K)							
26	1 360-1 390	6.0	Vapor de água e nuvens Cirrus	1000	1354	>5000			
27	6 535-6 895	1.16(240K)							
28	7 175-7 475	2.18(250K)							
29	8 400-8 700	9.58(300K)	Propriedade das nuvens						
30	9 580-9 880	3.69(250K)		Ozônio					
31	10 780-11 280	9.55(300K)	Temperatura da superfície, Nuvens						
32	11 770-12 270	8.94(300K)							
33	13 185-13 485	4.52(260K)							
34	13 485-13 785	3.76(250K)	Altitude máxima das nuvens						
35	13 485-13 785	3.11(240K)							
36	14 085-14 785	2.08(220K)							

Adaptado: BARKER et. al., 1992

ρ_{RED} é a reflectância na faixa do vermelho

$$EVI = G \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{L + \rho_{NIR} + c_1 \times \rho_{RED} - c_2 \times \rho_{BLUE}} \quad (3)$$

Onde:

G é o fator de ganho.

ρ_{NIR} é a reflectância na faixa do infravermelho próximo;

ρ_{RED} é a reflectância na faixa do vermelho

ρ_{BLUE} é a reflectância na faixa do azul

L é o fator de ajuste para o solo, com valor constante igual a 1;

c_1 e c_2 são coeficientes de ajuste para efeitos de aerossóis da atmosfera, com valores iguais a 6 e 7,5 respectivamente.

As faixas espectrais utilizadas no processo de geração do NDVI contém mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação, o que

leva a um realce do comportamento espectral (ROSA e ROSENDO, 2005).

ESPIG *et al.* (2011) mostram que o EVI é mais adequado ao estudo da Caatinga por minimizar os efeitos atmosféricos e do solo, representando melhor resposta espectral da vegetação quando comparado com o NDVI. O EVI responde melhor às variações estruturais do dossel, incluindo índice de área foliar, tipos e arquitetura de dosséis e fisionomia das plantas, garantindo a sensibilidade em diferentes tipos de paisagens, sejam desertos ou florestas densas (GAO *et al.*, 2000).

O produto MOD13Q1 do nível 3 do sensor MODIS é o produto específico para aquisição de informações do NDVI, estão disponibilizados com resolução espacial de 250 m, a cada 16 dias com projeção Sinusoidal dispondo de dados de:

- Dois índices de vegetação: NDVI e EVI;

- Duas imagens com informações de atestado da qualidade dos produtos NDVI e EVI (*quality* NDVI e *quality* EVI);
- Imagens de reflectância RED, BLUE, NIR e MIR;
- Três imagens referentes a forma de aquisição dos dados, correspondentes a ângulo de visada, ângulo zenital solar e azimute.

O MOD13Q1 se baseia em dados gerados pela reflectância de superfície do produto MODIS da série MOD09 (VERMOTE *et al.*, 2002). Consistindo em um mosaico de imagens composto por observações de 16 dias de reflectâncias bidirecionais diárias, as observações coincidem com o início do calendário mensal (SILVA, 2004).

O mosaico que gera o produto MOD13Q1 é realizado minimizar a presença de nuvens e para obter os índices na melhor resolução espacial possível, padronizar geometria de aquisição e iluminação dos dados, assegurar qualidade e eficiência aos dados, entre outros benefícios (LATORRE *et al.*, 2007).

Autores como ANDRADE *et al.* (2007) e FERRAZ *et al.* (2009) mostram como as técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas no cálculo dos fluxos de energia na interface solo-vegetação-atmosfera. Para isto, utiliza-se algoritmos tais como os do modelo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) formulado por BASTIAANSSEN *et al.* (1998) e que mostra a obtenção de informações indispensáveis no manejo, gerenciamento e gestão dos recursos hídricos. O NDVI faz parte do cálculo do SEBAL.

6. TEMPERATURA

A Equação (4) a seguir mostra o cálculo da temperatura em Kelvin (K) utilizando a banda 6 do sensor TM/Landsat.

$$T^{rad} = \frac{1260}{\ln\left(\frac{61,6}{B_{TM6}} + 1\right)} / \varepsilon^{0,25} \quad (4)$$

Onde:

T^{rad} é temperatura em radiância (K);

B_{TM6} é a radiância termal;

ε é a emissividade da superfície

Para se obter a temperatura é necessário calcular a emissividade (o infravermelho termal (8 - 14 μ m) – banda 6 no sensor TM) que pode ser derivada por aproximação do logaritmo (Ln) do NDVI pela seguinte equação BASTIAANSSEN e BAKKER (2000):

$$\varepsilon_{(8-14)} = 1,009 + 0,047LnNDVI \quad (5)$$

Um maior detalhamento sobre as equações podem ser obtido em LOPES (2005) e o cálculo para imagens do sensor TM.

O MODIS pode ser usado para obter este resultado a partir de imagens diárias LST (Land Surface Temperature) a partir do produto MOD11B1:

- LST_Day,
- LST_Day_Aggregated_from_1km,
- LST_Night,
- LST_Night_Aggregated

que necessitam apenas de ajustes de constantes para serem utilizadas em °C (Graus Celsius).

6.1 Dados de Temperatura obtidos por PCDs

As PCDs (Plataformas Coletoras de Dados) possuem conjuntos de sensores como: termômetros (temperatura do ar e solo), pluviômetros (chuva), anemômetros (direção e velocidade do vento), radiômetros (radiação solar), entre outros.

Os dados coletados pelas PCDs são transmitidos via satélite para antenas de recepção em Cuiabá (MT) e Alcântara (MA). Em seguida, são enviados ao Centro de Missão de Coleta de Dados – CMCD em Cachoeira Paulista, SP, onde são processados e distribuídos aos usuários como o LAMEPE (Laboratório de Meteorologia de Pernambuco) sediado no ITEP (Instituto Tecnológico de Pernambuco) e o CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) com sede no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

A baixa concentração espacial de locais com longos registros termométricos restringe a disponibilidade de dados de temperatura. A vantagem da utilização do produto MOD11B1 do MODIS é que a temperatura pode ser obtida não apenas localmente, mas na área desejada, no caso, na bacia hidrográfica do Pajeú. A geração do mapeamento temático é bem mais simples que o caso das PCDs onde é necessário obter interpolação

Tabela 3 – Valores de Albedo

ALBEDO	
Solo	0,05 - 0,40
Vegetação	0,05 - 0,20
Água	~ 0,10

Adaptado de LOPES *et al.* (2007).

na geração deste mapeamento por ser este último uma aquisição por pontos.

7. ALBEDO

O albedo de superfície consiste em uma proporção entre o fluxo de energia refletida e o fluxo de energia incidente. Valores de albedo (Tabela 3) mais altos podem ser associados à superfícies mais lisas, secas e de coloração clara, já valores de albedo mais baixos são associados à superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura (LOPES *et al.*, 2007).

Para o caso do solo, o albedo varia de acordo com a cor e o teor de água presente. Na vegetação a maior influência é relativa ao conteúdo de água (OKE, 1987). O albedo ainda pode ser influenciado pelo comprimento de onda, pela refletância local e pela condição de iluminação (LOPES *et al.*, 2007)..

ROBINOVE *et al.* (1981) afirmam que o aumento do valor do albedo pode ser devido ao aumento da presença de solo exposto em áreas desmatadas. Por outro lado, o aumento da umidade do solo e densidade da vegetação diminui o valor do albedo.

Aumento de albedo pode representar uma intensificação do processo de desertificação, portanto a perda de cobertura vegetal é um fator que influencia este aumento (LOPES, 2005).

O cálculo do albedo de superfície pode ser especificado de acordo com a equação 6:

$$r_o = \frac{r_p - r_a}{\tau_{sw}^2} \quad (6)$$

Onde:

r_o é o albedo da superfície;

r_p é a refletância planetária, que consiste na soma da multiplicação da refletância de cada banda pelo seu peso;

r_a é a refletância da atmosfera (0,03);

τ_{sw} é a transmitância atmosférica, determinada pela iteração com o pixel mais escuro (água).

O albedo pode ser diferenciado por: Black Sky: condição de iluminação direta; White Sky: condição de iluminação difusa; e Blue Sky: consiste na soma dos dois albedos ponderados pela proporção da radiação direta e difusa.

A distribuição espacial do albedo pode ser definida por meio de imagens de sensoriamento remoto.

O produto MOD43B3 é o produto de albedo de superfície do MODIS que foi desenvolvido com base nos algoritmos de LIANG *et al.* (2002), SCHAAF *et al.* (2002). Contém as sete primeiras bandas do sensor MODIS, além de outras três bandas simuladas com larga faixa espectral (Tabela 4).

8. METODOLOGIA

Na bacia, foi utilizado um mapa com a transposição do rio São Francisco do eixo leste e uma área de influência direta obtidos de CIRILO (2011). Foi gerado um plano de informação a partir deste mapa contendo a transposição e esta área de influencia. Este plano foi superposto aos produtos MODIS (NDVI e albedo), imagem TM-Landsat, NDVI obtido deste sensor. Os mapas gerados com o Zoneamento Agro-ecológico (ZAPE): tipos de solo, potencial para agricultura e potencial de irrigação também foram superpostos ao plano de informação do eixo leste da transposição e sua área de influencia. Em seguida compara-se os resultados e percebeu-se que naquela região, áreas com albedo alto/NDVI baixo merecem um cuidado especial. Além disto, os solos presentes, potencial para agricultura e irrigação são variáveis importantes na análise.

8.1 NDVI/EVI

Para obter os valores de NDVI/EVI utilizou-se as imagens MODIS/Terra do produto MOD13Q1 *tile* h14/v09. As imagens foram selecionadas para o mês de janeiro de 2001 e janeiro de 2009, nos dias Julianos 1 e 17 para a análise multitemporal da variação da vegetação na bacia. As etapas realizadas podem ser acompanhadas na figura 4. Nessas imagens foi aplicado um cálculo de banda, multiplicando cada pixel destas imagens por um fator de escala de 0.001, gerando assim as imagens com valores finais de NDVI e EVI. Uma observação que se coloca

Tabela 4 - Bandas Espectrais do MOD43B3.

Número da Banda	Banda (μm)	Região do Espectro
1	0,620-0,670	Vermelho
2	0,841-0,876	Infravermelho Próximo
3	0,459-0,479	Azul
4	0,545-0,565	Verde
5	1,230-1,250	Infravermelho Próximo
6	1,628-1,652	Infravermelho Médio
7	2,105-2,155	Infravermelho Médio
8	0,400-0,700	Visível
9	0,700-4,000	Infravermelho
10	2,500-4,000	Infravermelho Onda-Curta

Fonte: LOPES et. al., 2007.

aqui é que tendo sido utilizado o MRT pode-se converter a projeção nele também.

8.2 Imagens de Temperatura

Foram utilizados dados do produto MOD11B1 produto para o *tile* h14/v09 com imagens referentes aos meses de janeiro a dezembro de 2008 e janeiro de 2009. Entre essas imagens foram observados os perfis de variação de temperatura. Estas imagens foram convertidas para GeoTIFF e as bandas foram importadas para o aplicativo de processamento digital de imagens, ENVI, e convertido para WGS84. Foi feito um recorte na área de interesse. Na imagem resultante foi aplicado um cálculo da banda, onde cada pixel foi multiplicado por um fator na escala correspondente, gerando uma imagem final com valores de temperatura. Esses valores foram comparados com aqueles obtidos a partir das PCDs (etapas representadas na Figura 5).

8.3 Imagens do Albedo

As imagens de albedo MCD43B3 resultante de uma composição do MODIS/ Aqua e Terra, da *tile* h14/v09 também foi utilizada. As etapas seguidas podem ser acompanhadas na Figura 6.

8.4. Comparação entre os dados ZAPE, TM-Landsat, Albedo e NDVI

Para se efetuar a comparação entre os dados provenientes do sensor MODIS e do mapeamento ZAPE, demarcou-se as áreas com albedo alto e NDVI baixo, o que correspondem a áreas de solo exposto e/ou baixa umidade do solo. Esta

identificação foi sobreposta às camadas de informações de solo, potencial para a agricultura e potencial para a irrigação (ZAPE). Além disso, para obter uma melhor resolução espacial da área, esta identificação foi superposta a uma imagem do TM-Landsat 5 de Dezembro de 2008 e de NDVI para a mesma área.

9. RESULTADOS

9.1 Resultados para o produto MOD13Q1

A composição colorida utilizando as bandas do vermelho, do infravermelho próximo e do azul do MOD13Q1 foi a que apresentou melhores resultados em nível de visualização para diferenciação da vegetação (em verde) (figura 7 a) e para áreas não vegetadas (em rosa) (figura 7 b). Observando do ponto de vista dos municípios, Serra Talhada, Floresta, Betânia e Custodia, houve um aumento das áreas não vegetadas entre os anos de 2001 e 2009, enquanto que nos municípios de Tabira, Ingazeira, Tuperatama, Santa Terezinha, São José do Egito, Brejinho e Itapetim houve um aumento da vegetação no mesmo período.

As Figuras 7(c) e 7(d) representam o NDVI de 2001 e 2009 respectivamente. Já as figuras 7(e) e 7(f) representam o EVI para o mesmo período. Percebe-se um resultado com maior contraste para o EVI. Para os dois casos o rosa é área sem vegetação e verde com vegetação.

A transposição do rio São Francisco e sua área de influência direta que inclui parte dos municípios de Floresta, Betânia e Custodia é mostrada na figura 8 com as informações do NDVI para os anos 2001 e 2009 (Figuras 8 (a) e (b)) e

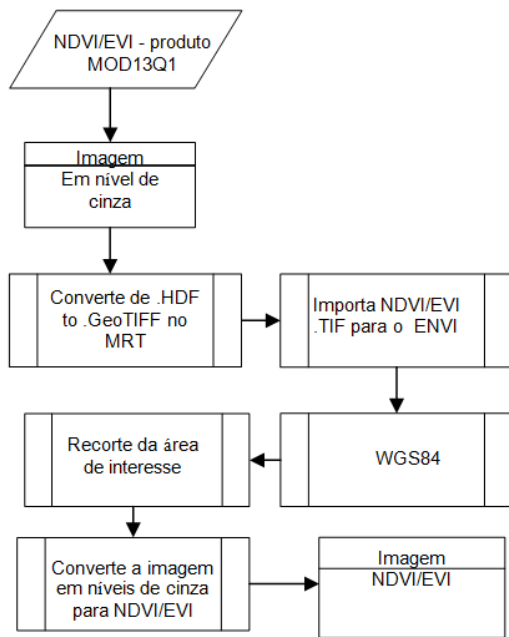


Fig. 4 – Fluxo de atividades realizadas para obtenção do NDVI/EVI.

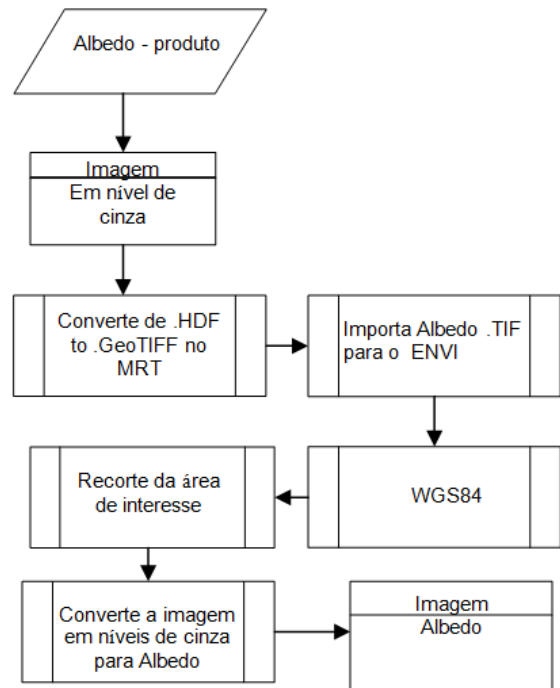


Fig. 6 – Fluxo de atividades realizadas para obtenção do Albedo.

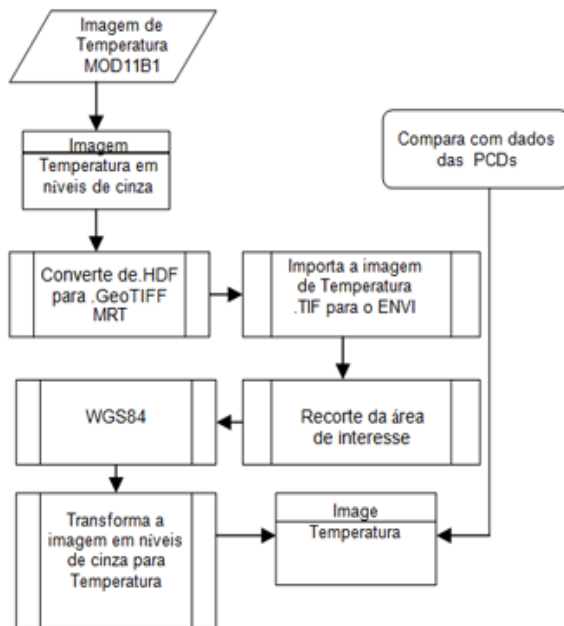


Fig. 5 – Fluxo de atividades realizadas para obtenção da temperatura.

EVI de 2009 (Figura 8 (c)). O detalhamento da área pode ser visto na imagem TM543 (Landsat5) do ano de 2008 (Figura 8 (e) e o respectivo NDVI (Figura 8(f)), além das áreas alteradas indicadas com a letra A (figuras 8 e) e 8 f).

Os *layers* da transposição e área de influência direta foram obtidos de CIRILO (2011) e foram sobrepostos às imagens NDVI de 2001, 2009 e EVI 2009. Percebe-se na Figura 8 que houve perda de

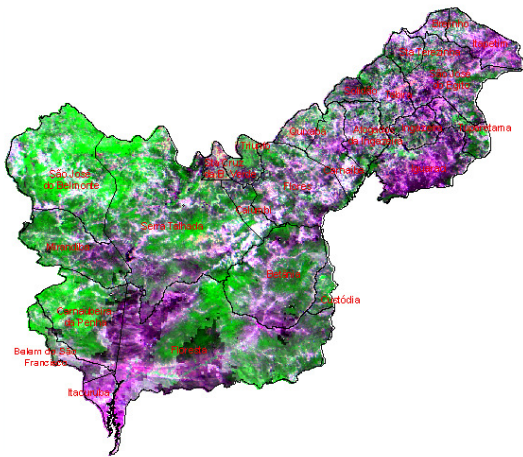
vegetação natural, principalmente no município de Custódia

9.2 Temperatura e produto MOD11B1

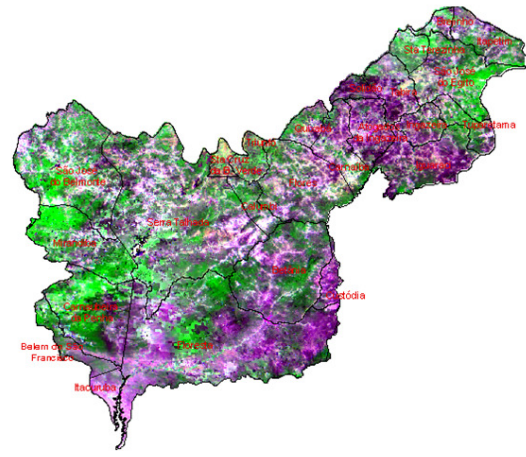
As temperaturas máxima, média e mínima em Pernambuco são mostradas na Figura 9. Pelos dados do LAMEPE, a parte sul da bacia do Pajeú é a mais quente e possui valores de 34°C, 27°C e 21°C (máxima, media e mínima). Já a parte nordeste, é a parte mais fria e possui temperaturas máxima de 30°C a 31°C, média de 22°C a 23°C e mínima de 19°C a 20°C.

O produto MOD11B1 oferece quatro tipos de imagens distintas: LST_Day, LST_Day_Aggregated, LST_Night e LST_Night_Aggregated. Para definir qual seria o melhor resultado efetuou-se uma comparação entre os dados locais das estações e de campo, utilizou-se as localizações espaciais de duas estações em Floresta para se observar as temperaturas nas imagens MODIS.

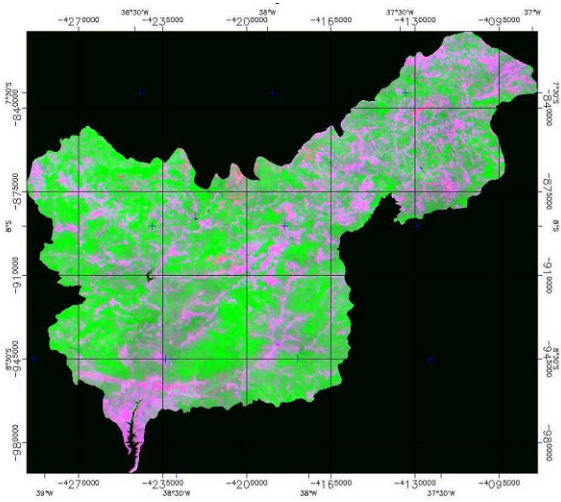
A Tabela 5 apresenta as temperaturas obtidas no site do CPTEC para o município de Floresta para temperatura do ar, temperatura máxima e temperatura mínima. Esta tabela também mostra os produtos MODIS para o 1º dia de cada mês para dois pontos no município de Floresta para as imagens LST_Day,



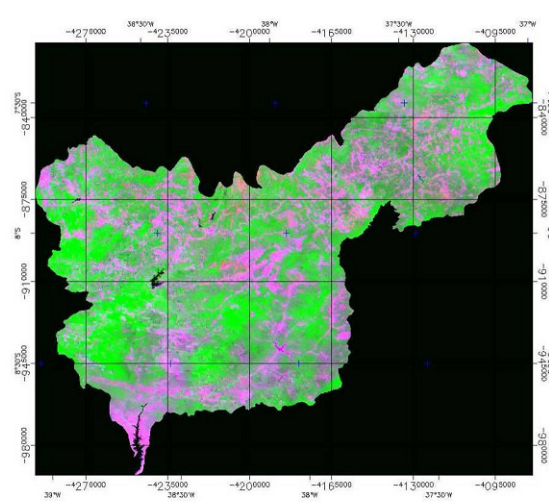
(a) Bandas do vermelho, do infravermelho próximo e do azul do MOD13Q1, ano 2001



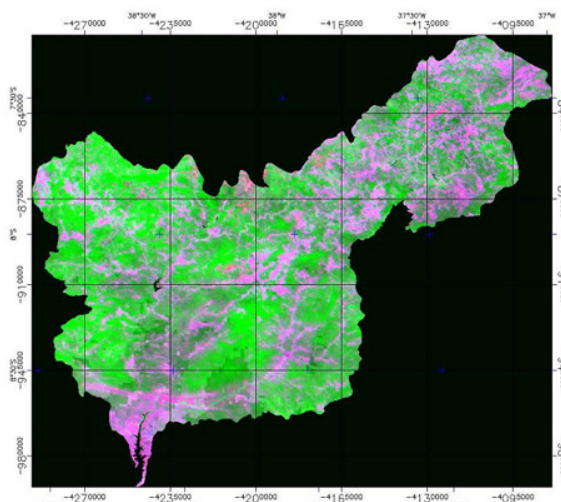
(b) Bandas do vermelho, do infravermelho próximo e do azul do MOD13Q1, ano 2009



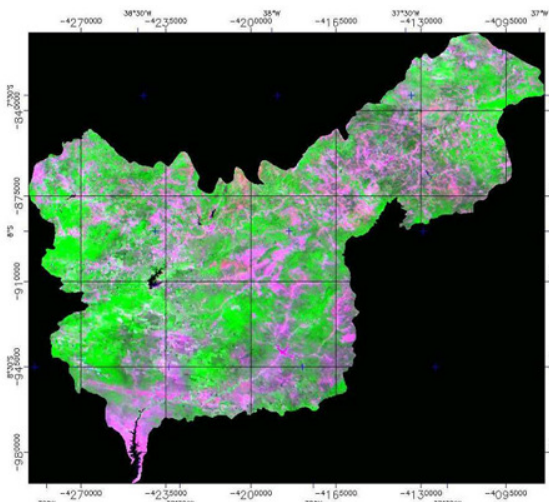
(c) NDVI, Janeiro de 2001. R(red) G(NDVI) B(blue).



(d) NDVI, Janeiro de 2009. R(red) G(NDVI) B(blue).



(e) EVI, Janeiro de 2001. R(red) G(EVI) B(blue).



(f) EVI, Janeiro de 2009. R(red) G(EVI) B(blue).

Fig. 7 - NDVI e EVI para os anos de 2001 e 2009.

LST_Day_Aggregated, LST_Night e LST Night Aggregated.

O horário de obtenção dos dados do CPTEC PCD Floresta 1 (lat = 8°32', long = 32°12') e Floresta 2 (lat = 8°36', long = 38°34') foi o das 9

horas da manhã para se aproximar ao horário das 10:30 horas da passagem do MODIS/TERRA.. Observou-se a variação de resultados das respostas dadas pelas imagens MODIS em relação aos dados do CPTEC (Tabela 5).

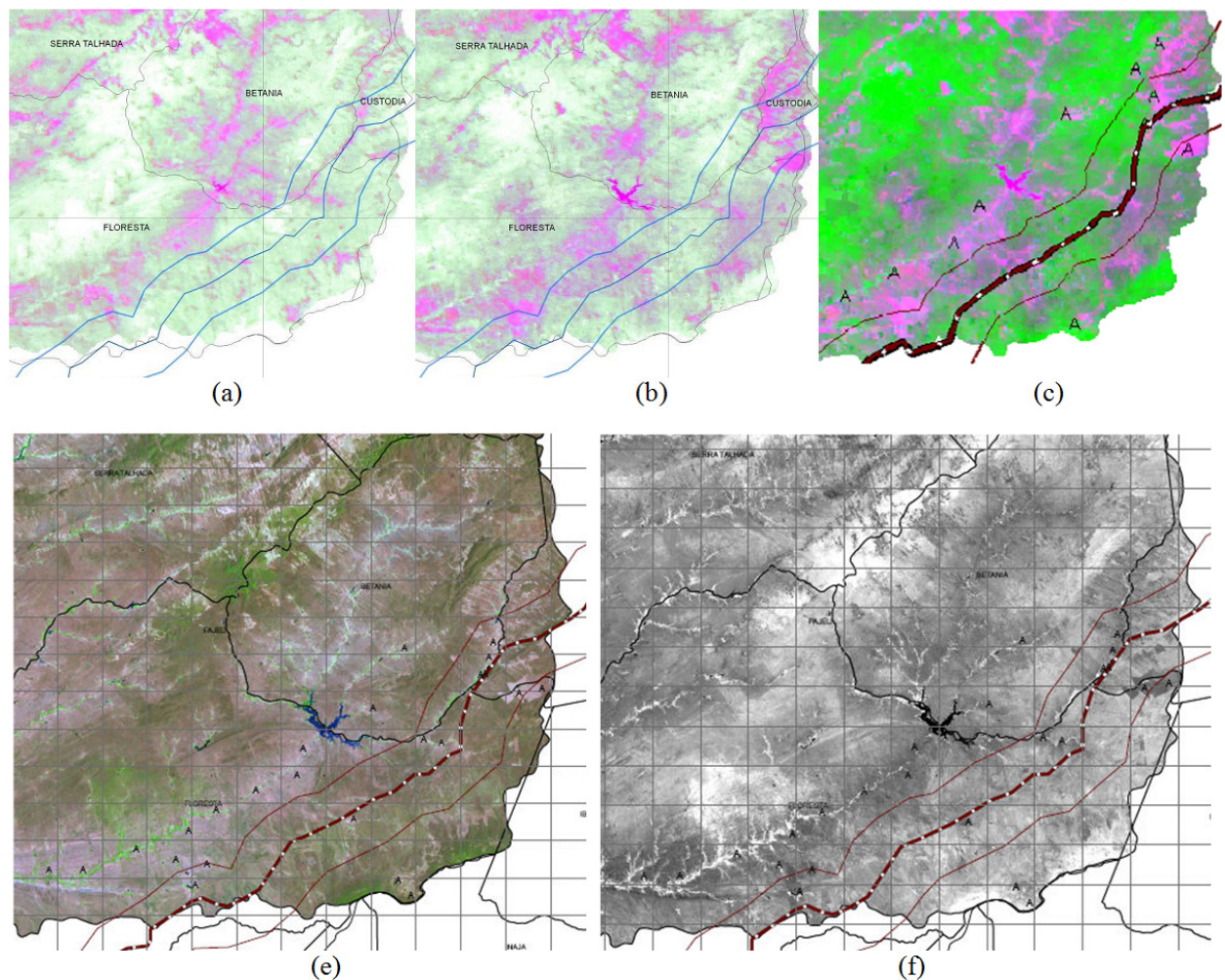


Fig. 8 - NDVI da área de transposição do Rio São Francisco; (a) Mapa do NDVI para 2001; (b) Mapa do NDVI para 2009; (c) Solo exposto (marcados com A) na imagem de EVI 2009; (e) TM543/LANDSAT5 – dez/2008 e (f) NDVI TM/LANDSAT5 - dez/2008.

Quantifica-se a seguir, a semelhança dos resultados da temperatura utilizando correlações entre dois pontos da imagem Floresta 1 (lat = 8°32', long = 32°12') e Floresta 2 (lat = 8°36', long = 38°34') para os quatro produtos LST_Day, LST_Day_Aggregated, LST_Night e LST_Night_Aggregated mostrados na tabela 5. Todos os resultados apresentam alta correlação, porém o produto LST_Day se mostrou como melhor resultado (Tabela 6).

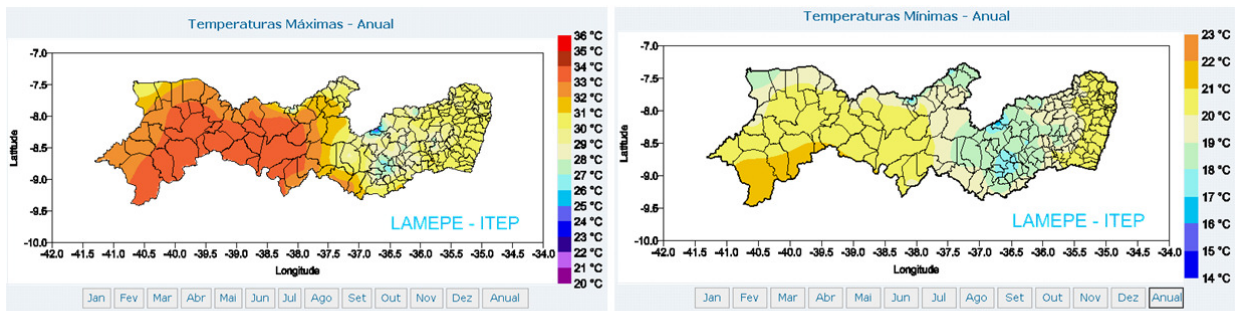
Comparando-se valores dos pontos Floresta 1 e Floresta 2 com a PCD para os quatro produtos na Tabela 5, tem-se que os produtos LST_Night e LST_Night_Aggregated possuem melhores respostas de correlação entre os pontos Floresta 1 e Floresta 2 com a PCD no horário das 9 horas. O ideal seria uma medição da PCD às 10:30h,

Os valores de correlações para o Produto LST_Night e LST_Night_Aggregated, no 1º dia de

cada mês e dados do CPTEC, são mostrados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

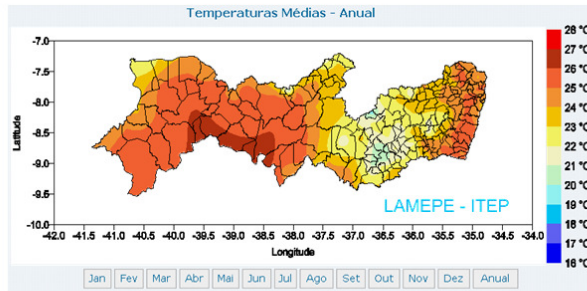
Observando as Tabelas 7 e 8 percebe-se que os maiores valores de correlação apontados pelo produto LST_Night, indicam que este seria o melhor dado a ser utilizado.

As imagens da Figura 10 apresentam as imagens de temperatura do MODIS/Terra para a bacia do Pajeú (LST_Night, LST_Night_Aggregated) para os meses de janeiro e agosto de 2008. As áreas em preto indicam falta de informação para aquelas regiões na imagem. As áreas mais quentes são mais claras e as áreas mais frias são mais escuras nas imagens. Na parte sul da bacia percebe-se que a temperatura é maior nos períodos de janeiro e de agosto. Isto se deve ao fato de a vegetação naquelas regiões é menor (ver Figura 7) e as altitudes também são mais baixas (ver Figura 9).

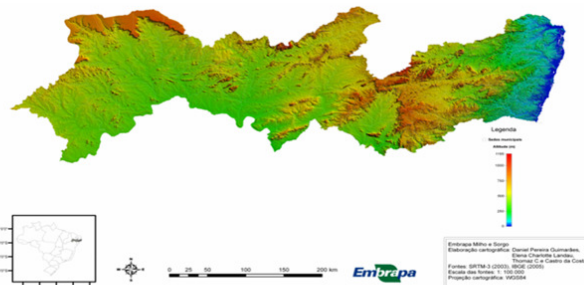


(a) Temperatura máxima anual

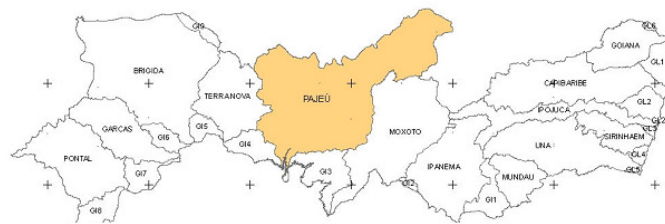
(b) Temperatura mínima anual



(c) Temperatura Média Anual



(d) Altimetria do Estado de Pernambuco. Azul nível do mar e laranjas a avermelhados, área com maior valor de altimetria



(e) Bacia hidrográfica do Pajeú em destaque.

Fig. 9 – Representação dos dados de Temperatura, Altimetria . no Estado de Pernambuco e a representação da Bacia Hidrográfica do Pajeú - PE

9.3 Albedo com o produto MCD43B1

O albedo analisado da área foi obtido pelo produto MCD43B1 para os meses de Janeiro de 2001 e Janeiro de 2009 (Figura 11 a e b, respectivamente). Valores mais altos de albedo são apresentados em tons mais claros, destacando assim locais onde ocorre a perda da vegetação (solo exposto). Já valores mais baixos se apresentam em tons mais escuros de nível de cinza, representando a presença de vegetação e/ou umidade.

A redução da cobertura vegetal aumenta o albedo. Em Lopes (2005) tem-se um detalhamento de como o albedo pode ser utilizado como um parâmetro para acompanhar o processo de desertificação. A Figura 12 mostra o albedo em janeiro de 2001 e 2009 para a área da Bacia

Hidrográfica do Pajeú com destaque para a região da transposição do São Francisco. Percebe-se que ocorreu uma diminuição do albedo nos municípios de Floresta, Betânia e Custódia, o que reflete aumento de cobertura vegetal em área, umidade e redução do solo exposto.

9.4 Solos, aptidão agrícola e potencial de irrigação da Bacia do Pajeú utilizando o ZAPE

Observa-se que a área de influência dos canais de transposição projetados é compatível com a resolução espacial do MODIS.

Os tipos de solos predominantes na área da Bacia do Rio Pajeú são os do tipo Luvissole Crômico, Argissolo Solódico e Neossolos (NC, Os e R).

Tabela 5 – Dados do CPTEC e dos produtos LST DAY, LST DAY Aggregated, LST Night,

Dados do CPTEC – INPE horário 9H para Floresta para temperatura do Ar, temperatura máxima e temperatura mínima - o 1º dia de cada mês														
MUNICIPIO	Jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08	Lat	Long
TempAr 9H	22,7	22,5	22,4	22,1	22,5	19,6	21,3	18,7	20,3	23,2	23,2	26,4	8°36'	38°34'
TempMax 9H	34,1	35,3	30,9	31,5	32,7	29,1	28,8	29,9	33,1	35,5	35,5	38,4	8°36'	38°34'
TempMin 9H	22,4	21,1	22,4	22,1	22,4	19,6	16	18	20,2	22,1	22,1	25,8	8°36'	38°34'
Produto LST Day - o 1º dia de cada mês														
MUNICIPIO	Jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08	Lat	Long
FLORESTA 1	40,7	37,7	37,7	37,6	28	33,6	31,2	27,9	31,8	44,9	48,5	49	8°32'	32°12'
FLORESTA 2	43,4	38,3	38,4	38,4	27,4	35,9	33,8	29,5	35,4	45,2	50,6	50,7	8°36'	38°34'
Produto LST Day Aggregated - o 1º dia de cada mês														
MUNICIPIO	Jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08	Lat	Long
FLORESTA 1	40,5	37,5	31,7	26,1	27,9	33,3	31,3	28,1	31,8	45	48,9	48,9	8°32'	32°12'
FLORESTA 2	43,5	38,5	27,6	28,9	27,4	35,9	34	29,2	35,5	45,4	50,9	50,9	8°36'	38°35'
Produto LST Night - o 1º dia de cada mês														
MUNICIPIO	Jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08	Lat	Long
FLORESTA 1	24,3	26,1	23,2	24,3	23	-	-	20,3	23,7	26,1	27,4	27,4	8°32'	32°12'
FLORESTA 2	26,8	-	-	26,2	24,3	19,7	-	22,4	24,5	27,5	28	28	8°36'	38°34'
Produto LST Night Aggregated - o 1º dia de cada mês														
MUNICIPIO	Jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	Mai/08	Jun/08	Jul/08	ago/08	set/08	out/08	nov/08	dez/08	Lat	Long
FLORESTA 1	24	25,9	22,9	24,7	23,1			20,7	23,9	26,4	27,6	27,6	8°32'	32°12'
FLORESTA 2	27,1	24,5	25,3	26,2	24,1	20,1		22,5	24,8	27,2	28,1	28,1	8°36'	38°34'

Tabela 6 – Correlação de Floresta 1 e Floresta 2 para os quatro produtos MODIS de temperatura- Tabela 5

Correlação (Floresta1, Floresta2)	Resultado
LST_Day	0,986779018
LST_Day_Aggregated,	0,970201796
LST_Night	0,959959733
LST_Night_Aggregated	0,833612808

Tabela 7 – Correlação de Floresta 1 e Floresta 2 com PCD para LST_Night - Tabela 5.

Correlação (Floresta1, PCD)	Resultado
TempMin9H	0,692714008
TempAr9H	0,817995251
TempMax9H	0,899845297
Correlação (Floresta2, PCD)	Resultado
TempMin9H	0,753570941
TempAr9H	0,821531327
TempMax9H	0,876661648

Tabela 8 – Correlação de Floresta 1 e Floresta 2 com PCD para LST_Night_Aggregated - Tabela 5.

Correlação (Floresta1, PCD)	Resultado
TempMin9H	0,66822273
TempAr9H	0,795690814
TempMax9H	0,893656712
Correlação(Floresta2, PCD)	Resultado
TempMin9H	0,749680371
TempAr9H	0,804814084
TempMax9H	0,795847265

Na área da transposição observa-se que há predominância dos solos Planossolo Solidizado (PS), Bruno Não-Cálcico(NC), Podzólico Amarelo e Latossolo Amarelo (Figura 13). Os valores de albedo alto estão nos solos aluviais (A), Planossolo Solidizado (PS), Bruno não-cálcico(NC) e Podzólico Vermelho Amarelo (PV). A Tabela 13

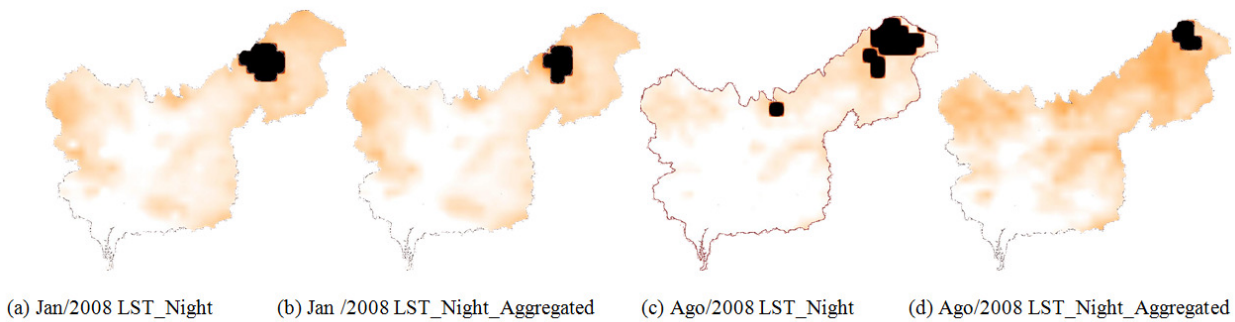


Fig. 10 – Comparação entre produtos do mês de janeiro e agosto de 2008 para o LST Night e LST Night Aggregated.

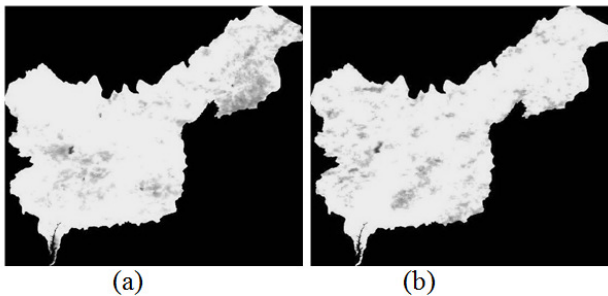


Fig. 11 – Albedo da Bacia Hidrográfica do Pajeú; (a) Albedo para Janeiro de 2001 e (b) Albedo para Janeiro de 2009.

mostra que a vulnerabilidade/estabilidade dos solos na área da transposição é de moderada a forte.

Diversos fatores intrínsecos do solo estão fortemente relacionados ao potencial agrícola de uma área, podendo assim viabilizar ou não a utilização da terra, estando assim associada diretamente a fertilidade natural, eficácia para armazenamento de água, não susceptibilidade a erosão e impedimento ao uso de implementos agrícolas (LOPES, 2005). A predominância de aptidão agrícola na Bacia do Rio Pajeú consiste em pastagem natural, seguida de terras agricultáveis de potencial restrito (Figura 14(a)). No caso da área da transposição, tem-se uma área com presença de pastagem natural, terras agricultáveis de bom potencial e terras agricultáveis de potencial restrito (Figura 14(b)).

A classificação do potencial de irrigação da área permitiu observar a predominância de um potencial muito baixo para a bacia (Figura 15(a)).

Na área da transposição observa-se que o Potencial de Irrigação da área de influência, na margem esquerda, apresenta potencial muito baixo, enquanto que na margem direita o potencial é alto (Figura 15(b)). Em vários pontos onde o albedo é alto tem-se também baixo potencial de irrigação.

10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa mostrou como as imagens MODIS/Terra podem ser úteis em análises de bacias. Para o caso, utilizou-se o exemplo da bacia do Pajeú localizada no estado de Pernambuco. As informações de solo, temperatura, NDVI ou EVI e Albedo podem auxiliar na gestão da área da transposição do São Francisco bem como prever possíveis problemas na área caso sejam instaladas áreas irrigadas. A parte sul da bacia do Pajeú por ter temperaturas mais altas, solos pobres e com possibilidade de salinização exige maiores cuidados.

Com as imagens do produto MOD13Q1 (NDVI e o EVI), compostas de 16 dias foi possível mapear grandes áreas com uma única imagem com as informações de vegetação e de solo exposto. Além disso, a gestão da área pode ser auxiliada a partir dos dados multitemporais já que o sensor MODIS está em funcionamento a mais de uma década coletando dados.

A coleta dos dados meteorológicos do CPTEC é disponibilizada de três em três horas e não coincide com o horário da aquisição das imagens MODIS (10:30 h). procurou-se o horário mais próximo, no caso 9 horas da manhã e comparou-se os dados da PCD Floresta com lat= -8.°36' e long= -38°34' (WGS84) das 9 horas da manhã (TempMax, TempAR, TempMin) com os obtidos nas imagens. Para esta análise, utilizou-se 12 medições de temperatura obtidas no 1° dia de cada mês do ano de 2008, da PCD e dos dois pontos das imagens. O produto MOD11B1 LST_Night obteve resultados com alta correlação dos dados de temperatura máxima (TempMax) medidos no horário de 9 horas da manhã para a PCD (CPTEC) Floresta. As correlações para um ponto Floresta 1 e Floresta 2 foram respectivamente: 0,899845297 e 0,86661648. Mostra-se a viabilidade de utilização deste produto MOD11B1 (LST_Night) para uma

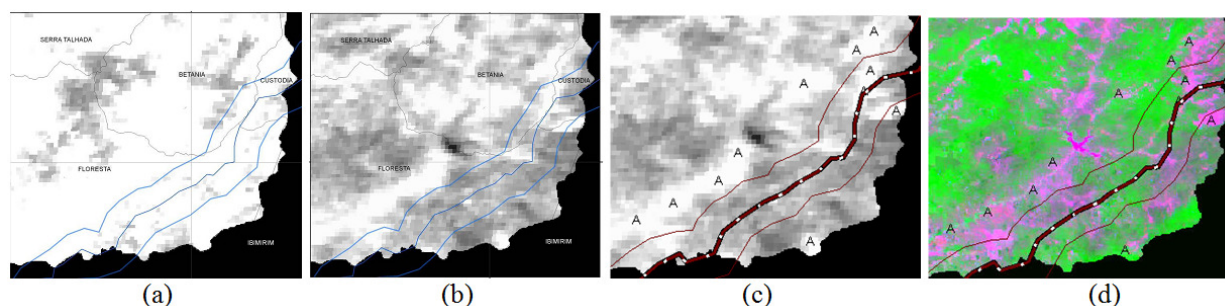


Fig. 12 – Albedo para o trecho da transposição do rio Pajeú; (a) Albedo jan/2001; (b) Albedo jan/2009; (c) Albedo janeiro de 2009 superposta à transposição, área de influência direta e marcação das áreas alteradas (A) e (d) NDVI jan/2009.

Tabela 13 – Valores de vulnerabilidade/estabilidade para classes de solos baseados em CREPANI (2001), LEPRUN (1977) e SA (1994).

CLASSES DE SOLOS	Crepani (2001)	Leprun (1977)	Sá (1994)	Valores de vulnerabilidade/estabilidade adotados
Solo Litólico (R)	3	Fraca	Muito Forte	3
Bruno não-cálcico (NC)	2	Moderada	Forte	3
Vertissolo (V)	3	Moderada	—	3
Afloramento de rocha (AR)	3	--	--	3
Cambissolo (C)	2,5	Moderada	Moderado	2,5
Planossolo (PL)*	2	Forte	Moderado	2,5
Solonetz (SS)*	--	Forte	--	2
Podzólico Vermelho Amarelo (PV)	2	Moderada	Moderado	2
Regossolo (RE)	3	Moderada	--	2
Solos Aluviais (A)	3	Fraca	--	2

(*) No ZAPE estas duas classes de solos encontram-se classificadas agrupadamente.

Fonte: Silva 2007

visão primária de temperatura para grandes áreas. Sugere-se realizar um estudo sobre o comportamento da temperatura a partir destes produtos variando a altitude e coordenadas (latitude e longitude), bem como trabalhar com um conjunto maior de pontos.

Analisar albedo é importante em estudos de processo de desertificação (LOPES, 2005). Com o produto MODIS MCD43B1 se obtém facilmente o albedo de grandes áreas. No caso da bacia do Rio Pajeú, observou-se o aumento do albedo em algumas áreas próximas a transposição do rio São Francisco – Eixo leste. Analisou-se estes resultados com o NDVI (MODIS), imagem TM/LANDSAT de 2009 e seu NDVI, do ZAPE (EMBRAPA-SOLOS) foram utilizados os dados de Unidades

Geoambientais, Solos, Aptidão Agrícola, Unidade de Paisagem e potencial de Irrigação. O que se concluiu ao sul da bacia hidrográfica do rio Pajeú é que a temperatura é mais alta, o albedo também e o valor de NDVI é baixo mostrando que a vegetação está bem alterada para aquela região, ou seja, houve algum processo de desmatamento. Existe também para esta região um potencial muito baixo para irrigação. Quanto ao potencial agrícola é restrito ou apenas para pastagem. Já para a área de influência direta da transposição do São Francisco é dada por: (a) Pediplanos com problemas de sais e drenagem, chapadas, pediplanos arenosos, pediplano avermelhado de textura média e argilosa e superfícies arenosas. Os valores de albedo alto estão nas áreas de várzeas e terraços aluviais e nos

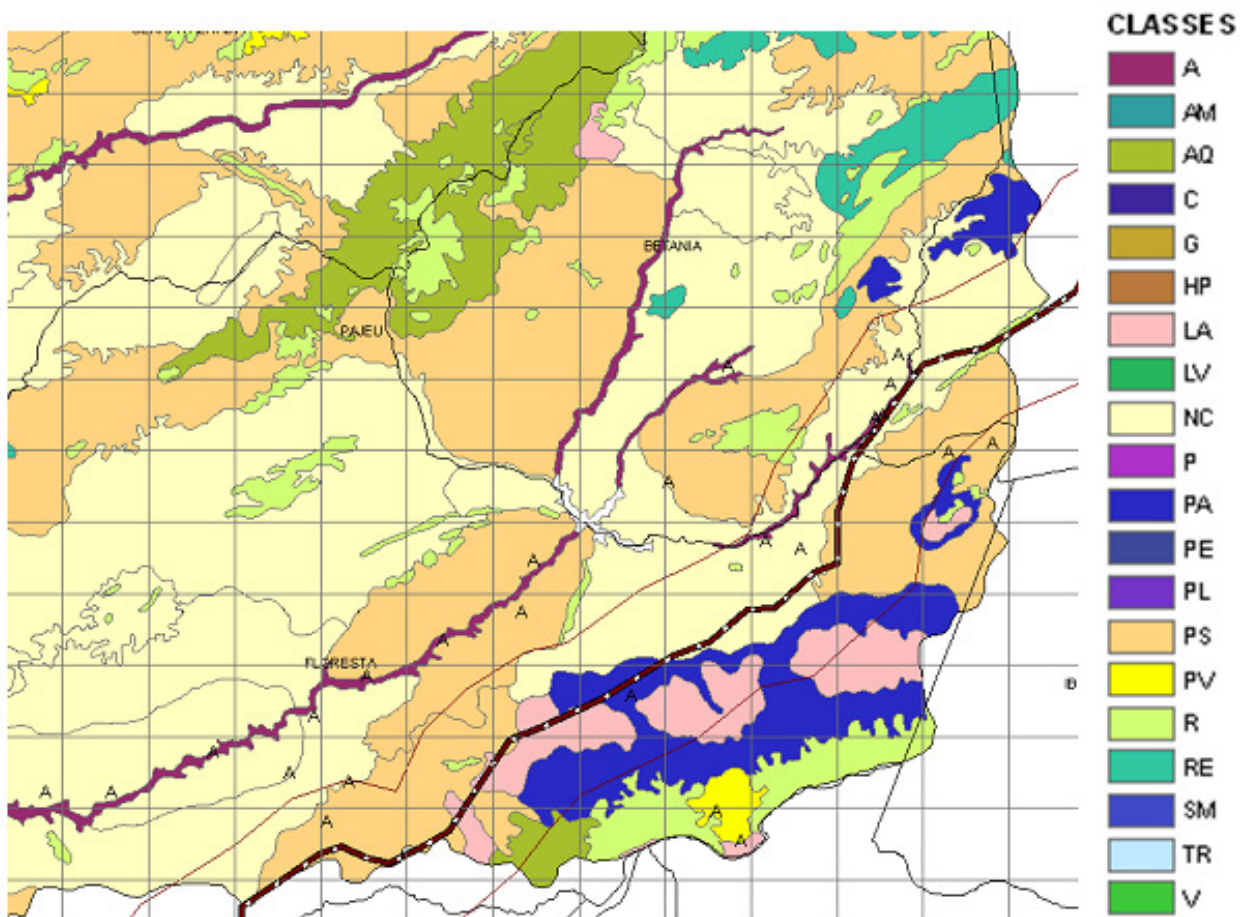


Fig. 13 - Solos na área da transposição.

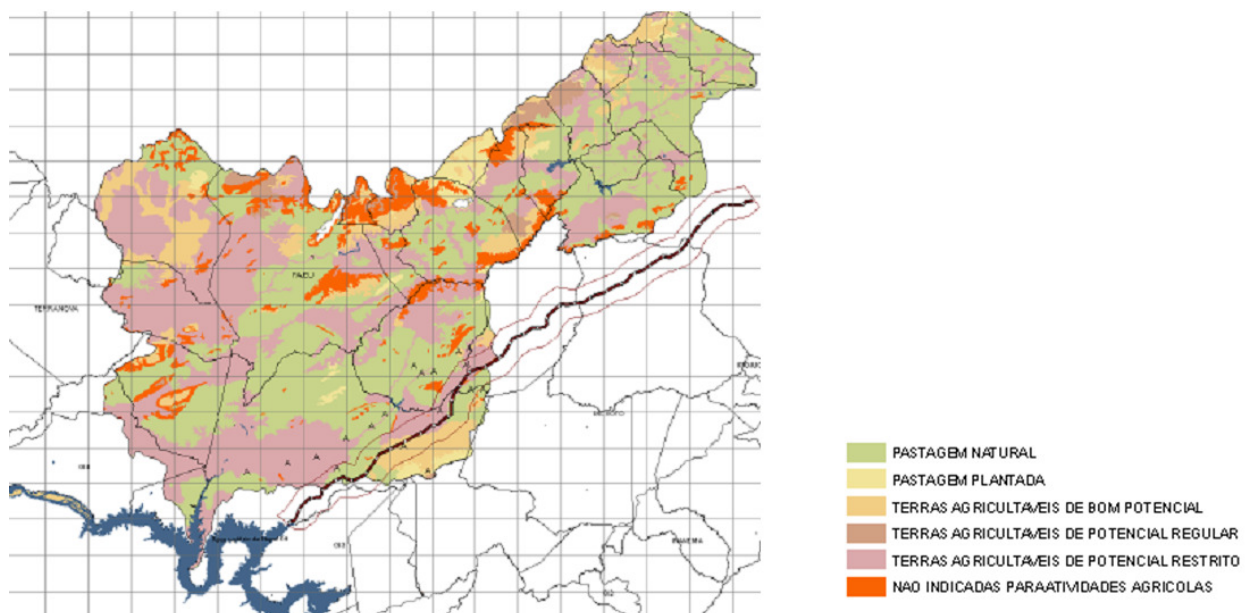


Fig. 14 – Potencial agrícola na Bacia do Pajeú – ZAPE e para a área da Transposição.

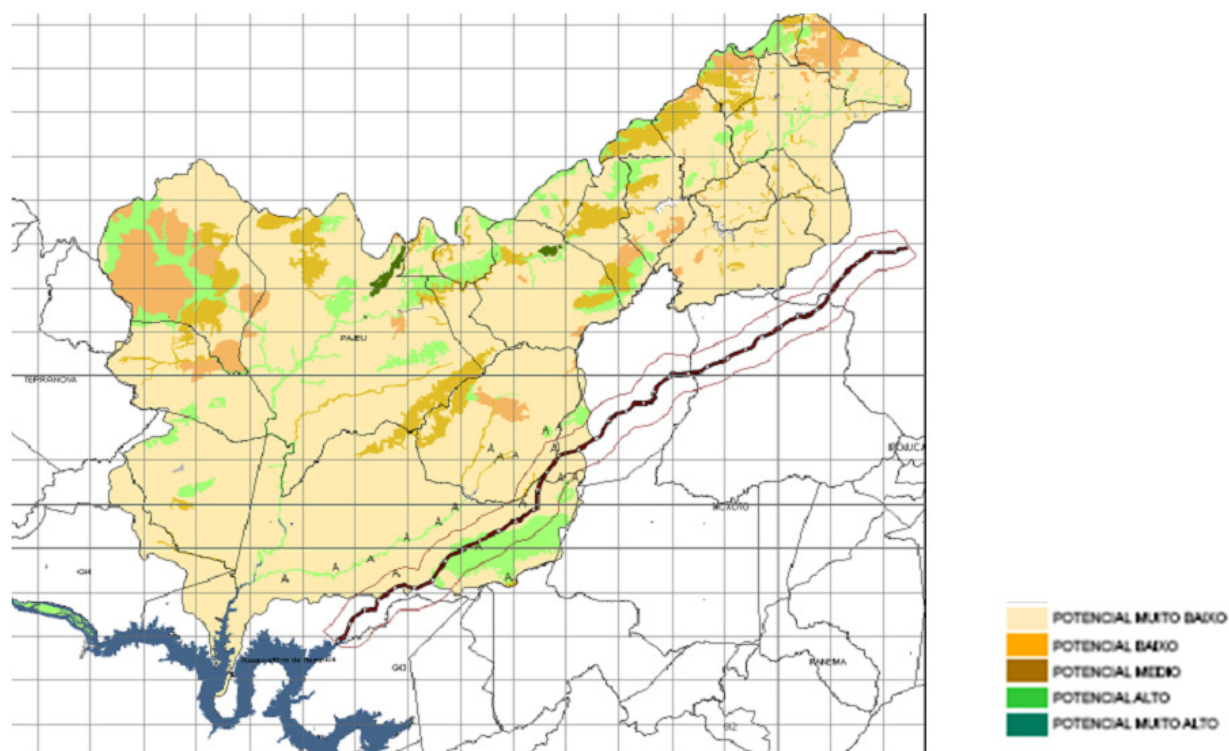


Fig. 15 – Potencial de irrigação na Bacia do Pajeú – ZAPE e para a área da Transposição.

pediplanos com problemas de sais e de drenagem. Isto poderá indicar problemas de desmatamento e/ou salinização do solo. (b) Existe a predominância dos solos Planossolo Solidizado (PS), Bruno Não-Cálcico (NC), Podzólico Amarelo e Latossolo Amarelo. Os valores de albedo alto estão nos solos aluviais (A), Planossolo Solidizado (PS), Bruno Não-cálcico (NC) e Podzólico Vermelho Amarelo (PV). A vulnerabilidade/estabilidade dos solos na área da transposição é de moderada a forte. (c) A área possui a presença de pastagem natural, terras agricultáveis de bom potencial e terras agricultáveis de potencial restrito. (d) Observa-se que o potencial de irrigação da área de influencia na margem esquerda da transposição apresenta um potencial muito baixo de irrigação, enquanto que na margem direita apresenta um potencial alto de irrigação. Em vários pontos tem-se albedo alto e o potencial de irrigação baixo.

Recomendam-se pesquisas detalhadas de campo com dados georreferenciados com relação ao solo, vegetação, temperatura e albedo para ser possível obter uma análise estatística comparativa dos produtos MODIS e a verdade terrestre. Também se recomenda a inserção de dados altimétricos para uma diferenciação das manchas de tipos florestais (SILVA, CANDEIAS e TAVARES JUNIOR, 2010).

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa da 1ª autora no mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (Edital MCT/CNPq nº 27/2007 - Mestrado) e pelo Projeto do - Edital 35/2010 - Linha Temática 1 (Processo: 562858/2010-5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, L. O. Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS. **Dissertação de Mestrado**. Programa de pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 247p.

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKO, Y. E. Classificação espectro-temporal de formações vegetais. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São Jose dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007. p. 159 - 171

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; LIMA, E. P.; MENEZES, S. J. M. C. Saldo de radiação e fluxo de calor no solo na região do município de Juiz de Fora, MG. **Anais I do Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e**

- o **Ciclo Hidrológico**, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 371-373.
- BARKER, JL.; HARDEN, MK.; ANUTA, EA.; SMID, J. e HOUGHT, D. **MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization**. Washington: Nasa, Oct, 1992, 84p.
- BASTIAANSSEN, W. ; BAKKER, M. **Use of satellite data in agricultural water management**. EMBRAPA semi-árido. 2000. 81p.
- BASTIAANSSEN, W. G. M., 2000, "SEBAL-based sensible and latent heat flux in the irrigated Gediz basin, Turkey", **Journal of Hydrology**, v. 229, pp. 87 – 100.
- CARDOSO, M. L. M. Desafios e potencialidades dos comitês de bacias hidrográficas. **Revista Ciência e Cultura. Núcleo Temático: gestão das águas**. São Paulo, v. 55, n.4, p.40-41. out./dez. 2003.
- CIRILO, A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estud. av.** vol.22 no.63 São Paulo 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200005> Acesso: 09/10/2011.
- ESPIG, S. A., SOARES, J. V., SANTOS, J. R. Variações sazonais do evi e ndvi em áreas do semi-árido brasileiro. **VII Seminário em Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados a Engenharia Florestal**. Curitiba, Paraná, 2006 , CDROM. Disponível em < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2006/11.07.12.16/doc/espig.pdf>>. Acesso: 09/10/2011.
- FERRAZ, R. P. D.; MEIRELLES, M. S. P.; JOBAGGY, E.; JONATHAN, M.; COUTINHO, H.
- L. C. Utilização de dados MODIS e modelo SEBAL para a estimativa da perda de água por evapotranspiração: Uma proposição metodológica para o monitoramento do impacto da expansão da cultura canavieira na dinâmica hídrica regional. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 175-182.
- FORMIGONI, M. H. Análise Multi-Temporal da Vegetação na Região Nordeste do Brasil através do EVI do Sensor MODIS. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, Espírito Santo, 2008. 89p.
- FREITAS, S. R. C., LAZZAROTTO, D. R., SLUTER, C. R., LUZ, R. T. 2004. Avaliação da compatibilidade dos sistemas geodésicos de referência no Brasil. **Bol. Cienc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 10, no 2, p.225-239, jul-dez, 2004.
- GAO, X.; HEUTE, AR.; NI, W.; MIURA, T.; Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. In: **Remote Sensing of environment**, Vol 74, p. 609-620. 2000.
- HEUTE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. In: **Remote Sensing of environment**, Vol. 83, p. 195-213. 2002.
- HEUTE, A.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODISEOS. In: **Remote Sensing of environment**, Vol 49, p. 224-234, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2005. **Resolução do Presidente R.PR - 1/2005 – Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. 8p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2008. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos**. 35p.
- JONATHAN M.; MEIRELLES, M. S. P.; BERROIR, J. P.; HERLIN, I. Considerações para o monitoramento do uso do solo com dados MODIS para longos períodos e em escala regional, e sua aplicação na Bacia do Alto Taquari, MS/MT. **Revista Brasileira de Cartografia** No 59/01, abril, 2007, p. 1-7.
- JUSTICE, CO.; TOWNSHEND, JRG.; VERMOTE, EF.; MASUOKA, E.; WOLFE, RE.; SALEOUS, N.; ROY, DP.; MORISETTE, JT. An overview of MODIS land data processing and product status. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium**. Sydney, Australia,

IGARSS, p 1454-1457, 2002.

JUSTICE, CO.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, JR.G.; DEFRIES, R.; ROY, PD; HALL, DK,

SALOMONSON, V.; PRIVETTE, JL.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, B;

KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, WS.; NEMANI, RR.; WAN, Z.; HUETE, AR.; LEEUWEN, WV.;

WOLFE, RE.; GIGLIO, L.; MULLER, JP; LEWIS, P.; BARNSLEY, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. In: **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1247, July, 1998.

LACRUZ, M. S. P.; SOUSA JÚNIOR, M. A. Uso de séries temporais EVI/MODIS e análise harmônica para o estudo da Bacia do Rio Taquari. *Revista Brasileira de Cartografia* No 59/01, Abril, 2007. p. 9 -15.

LATORRE, ML.; SHIMABUKO, YE.; ANDERSON, LO. Produtos para ecossistemas terrestres - MODLAND. In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007. p. 23 – 35.

LEPRUN, Jean-Calude. Relatório de fim de convenio de manejo e conservação do solo no Nordeste Brasileiro (1982-1983). Recife: SUDENE-RDN, 1986.

LIANG, S.; FANG, H.; CHEN, M.; SHUEY, CJ.; WALTHALL, C.; DAUGHTRY, C.;

MORISSETTE, J.; SCHAAF, C.; STRAHLER, A. Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: methods and preliminary results. In: **Remote sensing of environment**, Vol. 83, N 1, p. 149-162, 2002.

LOPES, HL. Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de risco a desertificação, 2005. 101p. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

LOPES, PMO.; SILVA, BSG.; BOTTINO, MJ.; VALERIANO, DM. Modelagem da irradiância solar incidente. In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O**

sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. São Jose dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007.

LOPES, PMO.; VALERIANO, DM. Validação do albedo da superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil, 21-26 Abril 2007, INPE, p 2805-

2812.

MASUOKA, D.; TILMES, C.; DEVINE, N. YE, G.; TILMES, M. Evolution of the MODIS science data processing system. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, 2001. IGARSS.

MATOS, RCM. Uso de Imagens MODIS no Mapeamento de Bacias Hidrográficas, 2009. 80p. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

MI, 2011. **Projeto São Francisco - MI**. <http://www.integracao.gov.br/pt/web/guest/projeto-sao-francisco> Acesso: 30/12/2011.

MODIS, 2011. **MODIS product table**. https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table. Acesso em 30/12/2011.

MONICO, J. F. G. 2000. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS. Descrição, fundamentos e aplicações**. Editora UNESP. 287p.

MONICO, J. F. G. 2005. O estado da arte em referenciais geodésicos: ITRF2000 e as próximas realizações do ITRF. **Bol. Ciênc. Geod.** Curitiba, v.11, n.2, p.261-77, jul-dez.

MONICO, J. F. G. 2007. **Posicionamento pelo GNSS. Descrição, fundamentos e aplicações**. Editora UNESP. 476p.

MOREIRA, R. C. Influencia do posicionamento e da largura de bandas de sensores

remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. São Jose dos Campos. 181p. **Dissertação de Mestrado**. Programa de pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

- NASA, 2002. **MODISweb.[on-line]**. Disponível em <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd.mod14.pdf> Acesso: 09/10/2011.
- OKE, TR. **Boundary Layer Climates**. 2nd. Ed. Methuen, 289p., 1987.
- PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P.R.; Madeira Neto, J.S. **Sensoriamento Remoto: refletância de alvos naturais**. Brasília, DF: UNB Planaltina Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.
- ROBINOVE, C. J.; CHAVEZ, P. S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images. **Remote Sensing of Environment**. v. 11, p. 133-156. 1981.
- ROSA, R.; ROSENDO, JS. Exemplo de aplicação do produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 16- 21, Abril, 2005. Goiânia, Brasil. INPE, PP. 3285-3292.
- ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 62 EDIÇÃO ESPECIAL 2, 2010. p. 401-416.
- RUDORFF, BFT.; BERKA, LMS.; SUGAWARA, LM.; MOREIRA, MA.; DUARTE, V.;
- XAVIER, AC.; ROSA, VGC.; SHIMABUKURO, YE. **Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano-safra 2003/04**. Agricultura São Paulo. v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.
- SALGUEIRO, JHP B ; MONTENEGRO, S. M. G. L. . Análise de Distribuição Espacial da Precipitação na Bacia do Rio Pajeu Em Pernambuco Segundo Método Geoestatístico. **Rev. Tecnol.** Fortaleza, v. 29, n. 2, p.174-185, dez. 2008
- SAMPAIO, C S. Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais MODIS EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros/GO, 2007. **Dissertação de Mestrado**.
- Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, 2007. 73p.
- SECTMA. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Plano estadual de recursos hídricos do estado de Pernambuco**. 1998. 223p.
- SEEBER, G. 2003. *Satellite Geodesy: foundations, methods and applications*. 2a. ed. Berlin, New Yorker: Walter de Gruyter, 2003. 588p.
- SILVA, A. A.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R. Inserção de dados altimétricos na diferenciação de tipos florestais em brejos de altitude. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 62 EDIÇÃO ESPECIAL 01, 2010.p. 247 – 259.
- SILVA, E. T. J. B. Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias. 2004, 146 p. **Dissertação de Mestrado em Geologia – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.**
- SILVA, G. B. S.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Áreas alteradas em função de atividades antrópicas no bioma cerrado localizado no estado do Mato Grosso (MT), até o ano de 2001: uma abordagem espaço-temporal. **Revista Brasileira de Cartografia**, Nº 62 EDIÇÃO ESPECIAL 2, 2010.p. 363 - 371
- SILVA, V. U. F. Zoneamento Ambiental com instrumento de gestão para avaliação da vulnerabilidade ao processo de desertificação: análise do município de Salgueiro - PE. **Dissertação de Mestrado**. Pós-Graduação em Mestrado de Gestão e Políticas Ambientais. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. 219 p.
- SOARES, JV.; BATISTA, GT.; SHIMABUKO, YE. Histórico e descrição. In: RUDORFF, BFT.; SHIMABUKO, YE.; CEBALLOS, JC. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São Jose dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed., 2007. p. 3 – 21.
- VERMOTE, E., EL SALEOUS, N; JUSTICE, C. (2002). Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. **Remote Sensing of Environment**, 83, 97–111.