

Estudo dos índices de vegetação e temperatura em anos de El Niño para o município de Cabrobró- PE com uso de imagens de Satélite.

Ismael Guidson Farias de Freitas ¹
Heliofábio Barros Gomes ¹
Marcos Antonio Lima Moura ¹
Laurizio Emanuel Ribeiro Alves ¹
Jeová Ramos da Silva Júnior ¹
Maurílio Neemias dos Santos ¹

¹ Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, Maceió - AL, Brasil, CEP 57072-900
{ismael.guidson, heliofab, laurizio.r, maurilioneemias2010}@gmail.com
malm@ccen.ufal.br
jeova.junior@icat.ufal.br

Abstract. In recent years, it has been growing concern about the behavior of vegetation in several areas in Brazil giving greater attention to areas of northeast Brazil that has a characteristic to be favorable to soil degradation. Therefore, with the need for knowledge of the spatial and temporal variability of these degradation processes resulting from natural and anthropogenic effects, respectively for meteorological phenomena; by misuse of land and removal of native vegetation has been applied remote sensing methods for evaluation of these variabilities. The objective of this study was to evaluate the vegetation changes (NDVI and SAVI) and temperature in the urban perimeter and area of Cabrobró municipality in the state of Pernambuco, using two images, one Landsat 7 - ETM + and other TM Landsat 5, where the passage both satellites took place in January in different years (2003 and 2010), in which the month of January is inserted in the rainy season the city. The results showed a correlation with the indexes NDVI and SAVI with temperature, and the variation of vegetation between 2003 and 2010. Although emphasizing that according to the results achieved, the use of the methods used in this study was effective.

Palavras-chave: remote sensing, vegetation index, NDVI, SAVI, Índices de Vegetação, Cabrobró-PE, Landsat 5, Landsat 7.

1. Introdução

Com a necessidade de avaliar mudanças de vegetação, temperatura e seus impactos em determinados locais, estudos com diversas ferramentas de avaliação vêm sendo utilizado para se ter um maior conhecimento destas modificações de forma mais rápida e confiabilidade satisfatória. Na Região Nordeste do Brasil (NEB) estes estudos são de suma importância, uma vez que a área possui diversos núcleos propícios a degradação do solo, alternando entre lugares com grau de menor intensidade e outros com um grau maior, como é o caso do município de Cabrobró em Pernambuco, com isto através de estudos realizados no município por Santana (2007), foi promovidas visitas de campo com pesquisadores, que após avaliação caracterizou a área como Núcleo de Cabrobó (PE) sendo uma das mais propícias à desertificação do país, com alto risco junto com os Núcleos de Desertificação de Gilbués (PI), Irauçuba (CE) e Seridó (PB).

Além de ser favorável a degradação, o NEB sofre influência de fenômenos atmosféricos de escalas globais que governam o regime pluviométrico da região, como é o caso El Niño- Oscilação Sul (ENOS) (Uvo e Berndtsson, 1996), onde a atuação deste fenômeno acarreta problemas na distribuição de chuvas em toda a região (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007), resultando numa diminuição significativa nos totais pluviométricos mensais que por sua vez gera uma atenuação de água no solo. Desta forma é possível averiguar de

maneira mais exata, levando em consideração fatores meteorológicos o comportamento das variáveis no ambiente em que estas encontram-se inseridas.

Para inquirir estes comportamentos são utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, onde o uso das imagens captadas por sensores instalados em satélites vem sendo bastante utilizadas neste tipo de estudo, no qual mostram resultados mais próximos do real, sobre crescimento de áreas urbano, uso da terra para plantios, áreas verdes com vegetação nativa, entre outros. Obtendo assim uma avaliação dos índices de vegetação e temperatura que sejam aceitáveis, em maiores dimensões (resolução espacial) e em menor tempo possível. Os produtos gerados com imagens adquiridas através dos sensores TM e ETM+ a bordo dos satélites do sistema Landsat, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e temperatura da superfície, são bastante utilizados pela comunidade científica, uma vez que apresentam um realce nas variações da cobertura do solo (IVDN e SAVI) e da temperatura nas imagens processadas.

2. Metodologia do Trabalho

A área de estudo escolhida está localizada às margens do Rio São Francisco, o município de Cabrobó-PE encontra-se situado na Microrregião de Petrolina (Figura 1), fazendo divisa ao sul com estado da Bahia, totalizando uma área de 1.657,705 km² que corresponde a 1,67% do estado de Pernambuco, a uma distância de 531 km da capital Recife com relevo de altitudes com até 325 metros acima do nível médio do mar, tendo as seguintes coordenadas geográficas do Datum WGS84: Latitude 8° 29' 40" Sul e Longitude 39° 18' 1" Oeste. Devido sua localização o município está inserido dentro da região com Bioma Caatinga como mostrado por Lins (2013). Com relação ao ponto de vista econômico, a produção de arroz e cebola de Cabrobó movimentam a economia da região, exercendo uma influência maior no Produto Interno Bruto, ou seja, esta produção representa em bens monetários o quanto a produção de arroz e cebola desta região é importante para o desenvolvimento sócio-econômico de Cabrobó.

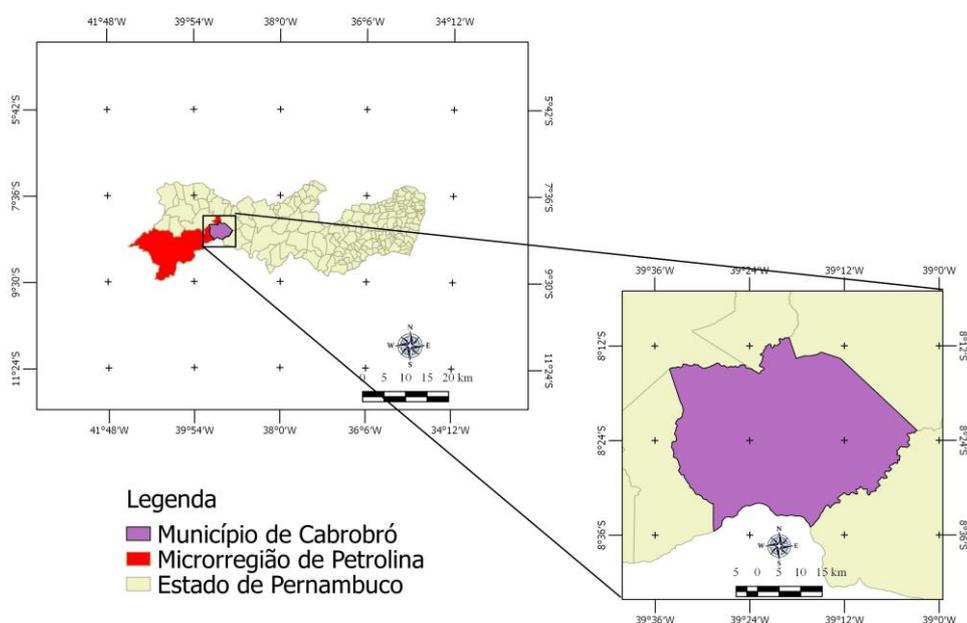


Figura1- Localização do município de Cabrobó na Microrregião de Petrolina no estado de Pernambuco.

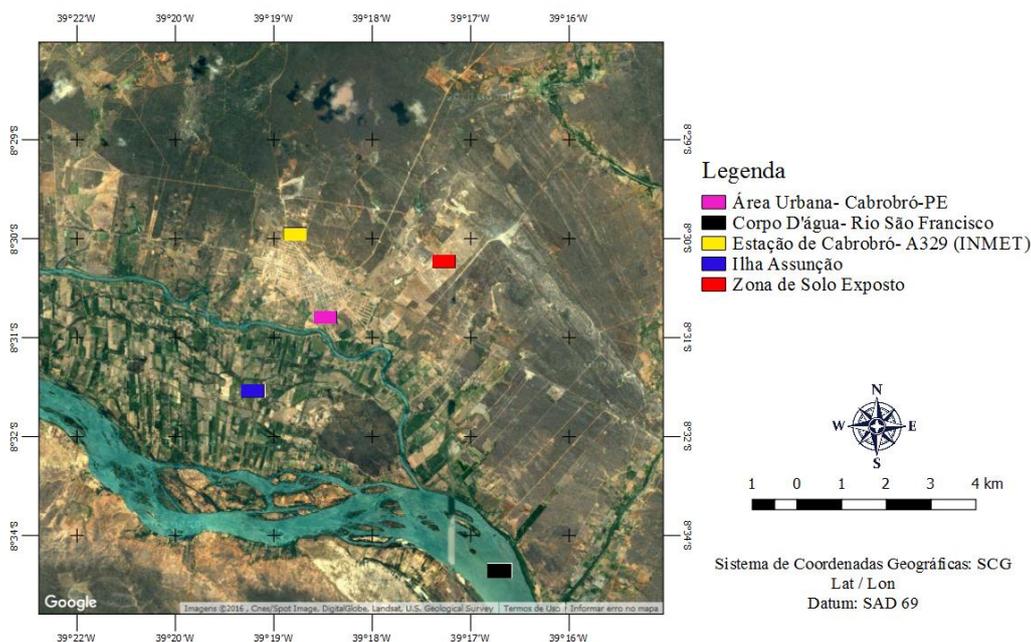


Figura 2- Localização específica da área de estudo analisada.

Para a realização deste artigo foram utilizadas duas imagens, uma capturada pelo sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5 e uma pelo sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) a bordo do Satélite Landsat 7, que em comparação ao seu antecessor, o sensor TM, possui maior eficiência nos estudos de monitoramento de cobertura de solo. Ambos os satélites são compostos por sete bandas espectrais com características distintas. Estas imagens correspondem à passagem do Landsat 5- TM sobre a área analisada na data 23/01/2010, e para o Landsat 7- ETM+, na data 12/01/2003, obtidas através do site do Serviço Geológico dos EUA (USGS). As respectivas datas foram escolhidas por apresentar espaço temporal admissível para análise das mudanças de vegetação, área foliar e temperatura no município de Cabrobró, além de se tratar de um período chuvoso da região. Ainda sobre as informações das imagens estão, horário da passagem dos Satélites (Landsat 5 e 7) às 10h e 30min (horário local), no ponto 066 e órbita 216, com projeção cartográfica Datum WGS84 no sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) e zona 24 S.

Para o processamento das imagens satélites, edição do design final dos mapas temáticos e aplicação dos índices calculados, foi utilizado o software QGIS 2.8 no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados (SENSORGEO), no Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL. Utilizou-se ainda a ferramenta Calculadora Raster do software, para determinar as variáveis analisadas (IVDN, SAVI e Temperatura). Para obtenção dos valores de SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e IVDN (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), e Temperatura da Superfície, foram realizadas as etapas a seguir descritas na Figura 3.

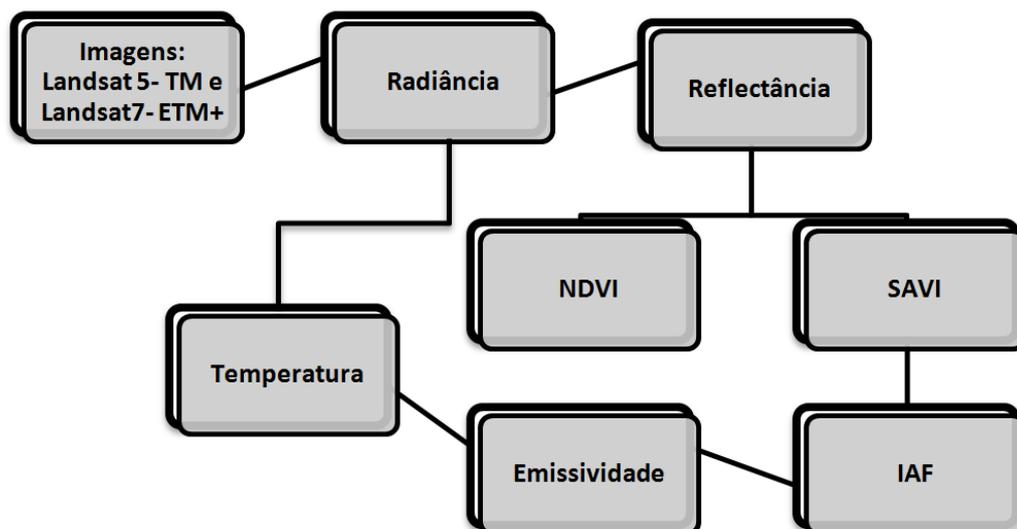


Figura 3- Fluxograma das etapas do procedimento para definição dos índices de vegetação e temperatura.

2.1 Computação da Radiância Espectral (L_{λ})

Para a obtenção da radiância espectral das 7 bandas dos satélites utilizados no presente estudo, que se deu início com os Números Digitais (DN) de pixel pertencentes as três imagens empilhadas do Landsat 5 - TM e Landsat 7 - ETM+, foi feita uma conversão dos valores de DN em radiância espectral monocromática que varia de 0 a 255. Onde foram empregadas na Equação 01, aplicando o processo de calibração com valores de radiância máxima ($L_{max_{\lambda,b}}$) e mínima ($L_{min_{\lambda,b}}$), onde λ,b corresponde a todos os pixels de cada banda de ambos os satélites, do qual os valores de calibração são válidos para as datas que foram geradas as imagens utilizadas, como proposto por Chander, Markham e Helder (2009) mostrado na Tabela 1.

$$L_{\lambda,b} = L_{min_{\lambda,b}} + \frac{L_{min_{\lambda,b}} + L_{max_{\lambda,b}}}{255} * DN \quad (01)$$

Tabela 1- Constantes de calibração radiométrica para o Landsat 5 – TM e Landsat 7 – ETM+. (CHANDER et al., 2009) adaptada.

Bandas e Comprimento de Onda (μm)	Calibração Radiométrica ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)					
	Landsat 7- ETM+ De 15/04/1999 Até 30/05/2003			Landsat 5- TM Após 02/04/2007		
	L_{min_b}	L_{max_b}	ESUN_{λ}	L_{min_b}	L_{max_b}	ESUN_{λ}
1 - (0,45 - 0,52)	-6.2	191.6	2002,32	-1.52	169	1957
2 - (0,52 - 0,60)	-6.4	196.5	1816,77	-2.84	333	1826
3 - (0,63 - 0,69)	-5.0	152.5	1536,93	-1.17	264	1554
4 - (0,76 - 0,90)	-5.1	157.4	1041,45	-1.51	221	1036
5 - (1,55 - 1,75)	-1.0	31.06	230,82	-0.37	30.2	215
6 - (10,4 - 12,5)	3.2	12.65	-	1.378	15.303	-
7 - (2,08 - 2,35)	-4.7	10.80	84.49	-0.15	16.5	80.67

2.2 Cálculo da Reflectância Espectral (ρ_λ)

Com os valores de Radiância Espectral calculados, o passo seguinte foi calcular a Reflectância Espectral (Equação 2), que segundo Allen et al. (2002a) é a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente, assim os fluxos representam a reflectância no topo da atmosfera, calculada com informações de cada pixel da imagem.

$$\rho_{\lambda,b} = \frac{\pi + L_{\lambda,b}}{ESUN_\lambda \cdot \cos\theta \cdot dr} \quad (02)$$

Onde $L_{\lambda,b}$ representa a radiância espectral para cada banda (1,2,3...7); $ESUN_\lambda$ é a irradiância espectral obtida na Tabela 1; $\cos\theta$ é o ângulo zenital, ângulo referente ao vetor terra-sol e a vertical local, o mesmo é obtido no cabeçalho de informações das imagens do Landsat 5 – TM e Landsat 7 – ETM+; dr corresponde ao inverso do quadrado da distância terra sol (Equação 3).

$$dr = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{DJ \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (03)$$

Em que DJ é o Dia Juliano do ano e o ângulo é calculado em radianos.

2.3 Índices de Vegetação IVDN, SAVI e IAF.

Após o cálculo da reflectância, foi feita a obtenção dos valores dos índices de vegetação analisados, onde através destes três índices estudados é possível observar a densidade da cobertura vegetal da região através de diferentes realces. Para início os primeiros valores especificados foram os de IVDN. De acordo com Allen et al. (2002a) o mesmo corresponde a razão entre a diferença da reflectividade espectral das bandas do infravermelho próximo (banda 4- ρ_4) e vermelho (banda 3- ρ_3) do Landsat 5 – TM e Landsat 7 – ETM+, como representado na equação 04.

$$IVDN = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (04)$$

Os valores variam num intervalo de -1 a +1 nos quais corresponde um indicador sensível da quantificação e estado em que se encontra a vegetação na superfície. Em corpo d'água esta variação é sempre menor que 0 ou igual a 0 em centros urbanos.

Para o andamento do estudo fora calculado o SAVI que é um índice que utiliza fatores NDVI, porém leva em consideração a presença de solo exposto na área, ou seja, atenua efeitos do solo na superfície, calculado pela equação 05.

$$SAVI = \frac{(1+Ls) \cdot (\rho_4 - \rho_3)}{Ls + \rho_4 + \rho_3} \quad (05)$$

Onde Ls é uma constante que varia de 0,25 a 1, conforme proposto por Huete (1988), que enfatiza que a constante vai variar de acordo com a cobertura do solo. Para o presente estudo foi determinado o valor para Ls como sendo 0,5 que de acordo com a literatura é o valor para vegetação com densidade intermediária.

Mesmo não sendo objetivo de o trabalho analisar o IAF, foi necessário computar o mesmo para determinar a temperatura. O IAF é definido como sendo a razão entre a área foliar de toda vegetação pela unidade de área na qual esta vegetação está inserida. É um índice que indica a biomassa de cada pixel da imagem, obtido pela equação empírica sugerida por Allen et al. (2002a) (Equação 06).

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (06)$$

2.4 Temperatura Superficial

O último valor obtido foi o de temperatura da superfície, onde foi utilizado o modelo METRIC (Allen et al., 2002a) que foi necessário o cálculo da emissividade superficial (Equação 07), que expressa a maneira com que a banda 6 dos satélites variam a sua emissão

térmica superficial. Levando ainda em consideração $E_{NB} = 0,98$ quando $IAF > 3$ e $E_{NB} = 0,99$ para regiões com corpo d'água.

$$E_{NB} = 0,97 + 0,0331 \cdot IAF \quad (07)$$

Por fim, o valor da temperatura superficial (T_s) dado em Kelvin, calculado por meio da equação 08, que para computo-o da mesma é necessário os valores da radiância espectral da banda termal (banda 6) e da emissividade térmica superficial.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{E_{NB} K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (08)$$

Onde os valores de K_1 e K_2 são constantes de calibração da banda 6 estão descritos na tabela 2.

Tabela 2- Constante de calibração termal para os sensores TM e ETM+

Constante	K_1	K_2
Unidade	W/(m ² .sr.µm)	Kelvin
Landsat 5- TM	607.76	1260.56
Landsat 7- ETM+	666.09	1282.71

Após o cálculo de T_s realizou-se a conversão desta temperatura de unidade Kelvin (K) para graus Celsius (°C) que consistiu na subtração de 273.15 K, valor que corresponde à temperatura do ponto de congelamento da água.

3. Resultados e Discussão

3.1 Climatologia da Região Estudada

A distribuição do período chuvoso de Cabrobró-PE se estende de janeiro a abril de acordo com a normal climatológica disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 4), porém, com a atuação do fenômeno El Niño em intensidade moderada com Índice Niño Oceânico de 1,3 nos anos de 2003 e 2010 (GGWEATHER, 2016) o padrão de precipitação foi alterado. Segundo Aragão (1990) a associação entre El Niño e secas no NEB em 70% dos casos encontra-se episódios de El Niño moderado ou forte. Influenciando mais no norte do Estado do Maranhão, o Estado do Piauí, do Ceará, do Rio Grande do Norte, de Pernambuco, da Paraíba e na região norte da Bahia. Com a climatologia indicando precipitação de 87,2 mm para o mês de janeiro foi observado durante os meses da passagem do satélite (Janeiro de 2003 e janeiro de 2010) por conta do fenômeno El Niño uma diminuição na precipitação de 55% para janeiro de 2003 e 71% para o ano de 2010. As alterações foram vistas durante os meses seguintes e apenas no mês de abril dos anos de 2003 e 2010 mantiveram-se basicamente o mesmo padrão de precipitação.

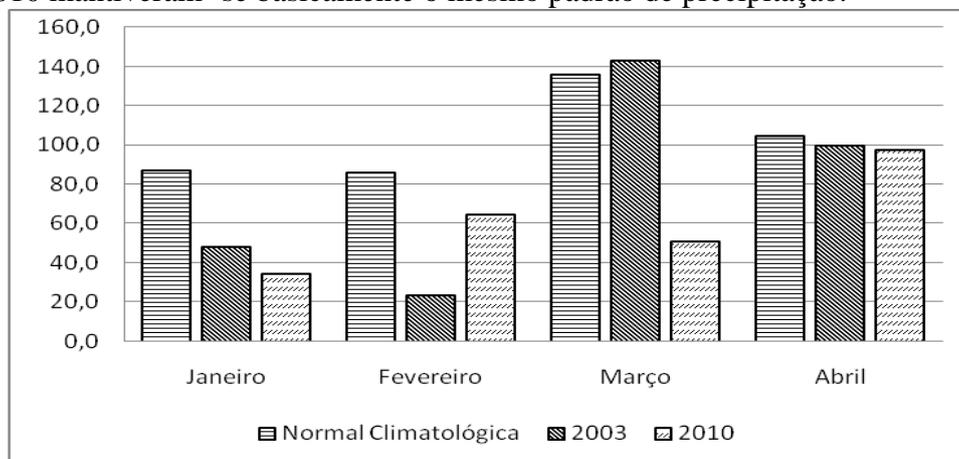
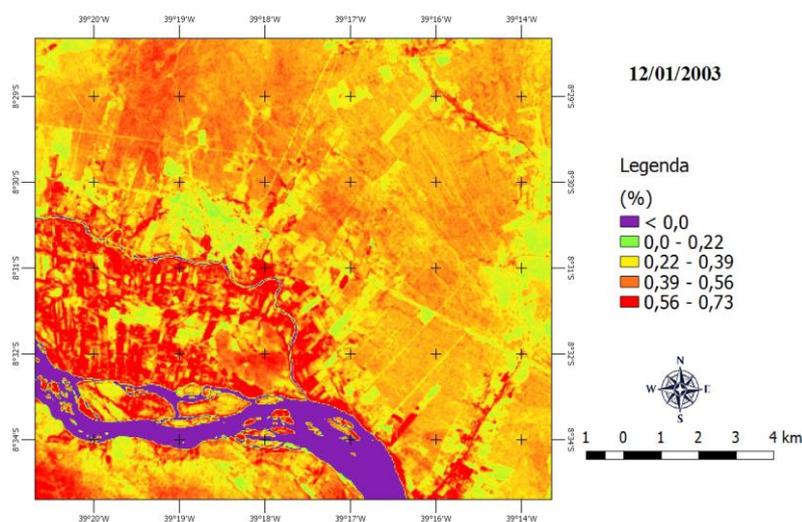


Figura 4- Normal Climatológica do período chuvoso do município de Cabrobró- PE entre 1960 – 1990 e durante os anos de 2003 e 2010. (INMET, 2016)

3.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)

Os valores obtidos representam as condições da vegetação presente no local, onde os valores mais baixos retratados pelas cores roxas e verdes representam áreas de corpos d'água e/ou superfície não vegetada, como área urbana, entre outros; valor intermediário mostrado pelas cores amarela para solo exposto e laranja indicando vegetação rala, esparsa e/ou transição; e valores altos, na cor vermelha equivalem vegetação densa, ou seja, área em que a vegetação encontra-se com maior verdor.

(a)



(b)

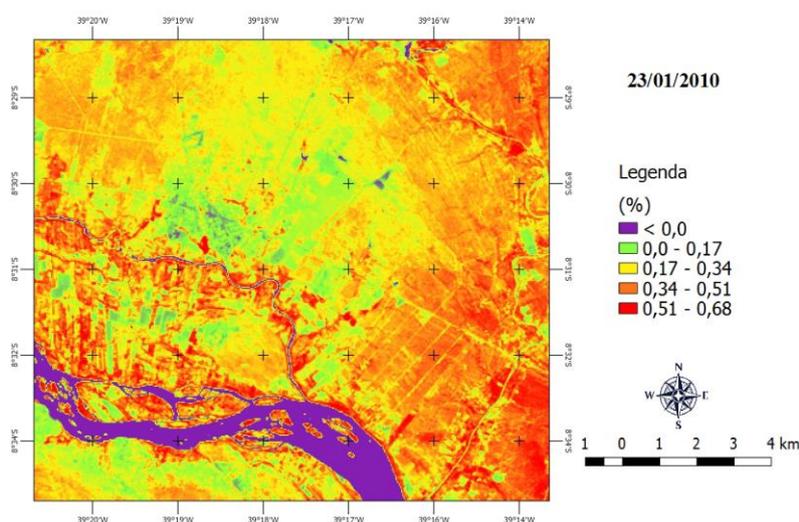
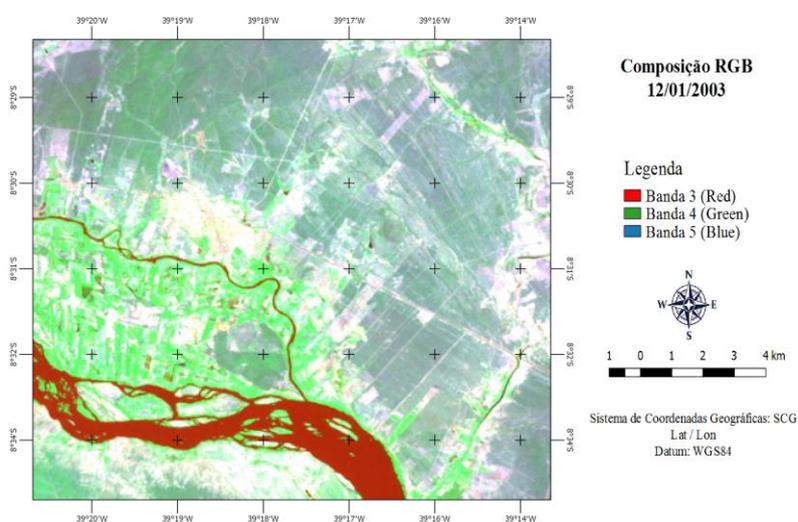


Figura 5- Mapas temáticos dos valores obtidos do IVDN para (a) 12/01/2003 e (b) 23/01/2010.

A Figura 5 é apresentada o mapa das imagens computadas referente aos valores de IVDN calculados durante um dos meses do período chuvoso em anos diferentes (12/01/2003 e 23/01/2010). Observa-se que nas duas datas representados no mapa temático, são obtidos valores menores ou iguais a 0,0, onde demonstra corpos d'água com maior destaque no Rio São Francisco e lagos que encontram-se na região. Na figura 5a mostrou valores de IDVN

mais altos em relação à figura 5b, com índices para área urbana entre 0 – 0,22 na figura 5a na cor verde ficando um pouco mascarado com valores de solo exposto que variaram de 0, 22 – 0,39. Já na figura 5b os valores para área urbana e solo exposto variaram de forma intercalada na cor verde e laranja, respectivamente entre 0.0 – 0,17 e 0,17 – 0,34, onde foi observada uma maior abrangência dos índices, ocupando uma área mais extensa. Por se tratar de um município que possui alguns cultivos, como de arroz e algaroba, a presença de vegetação rala, esparsa e/ou transição é vista no ano de 2003 variando de 0,39 – 0,56 mais distribuída espacialmente. Além disso, o município possui um índice elevado de aridez segundo O-Lopes e Soares (2016), no ano de 2010 já foi possível observar uma redução de vegetação rala e de transição (IVDN= 0,34 – 0,51), e devido à necessidade hídrica de algumas culturas a distribuição da mesma também fora alterada com concentração mais ao leste, onde existem corpos d’água para suprir a necessidade. Devido à densidade de pixel não ser muito alta é quase não identificável no mapa temático de NDVI os valores menores que 0 para corpo d’água menos extensos, porém é possível notar a presença de corpo d’água na composição RGB (Figura 6).

(a)



(b)

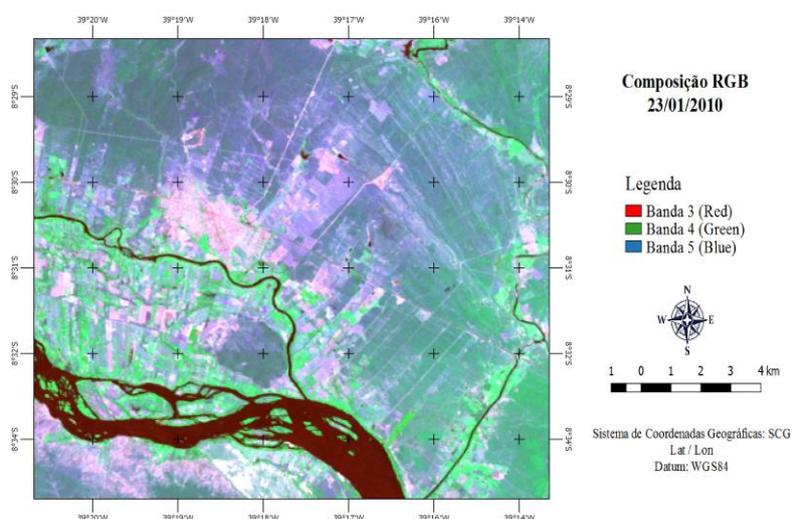


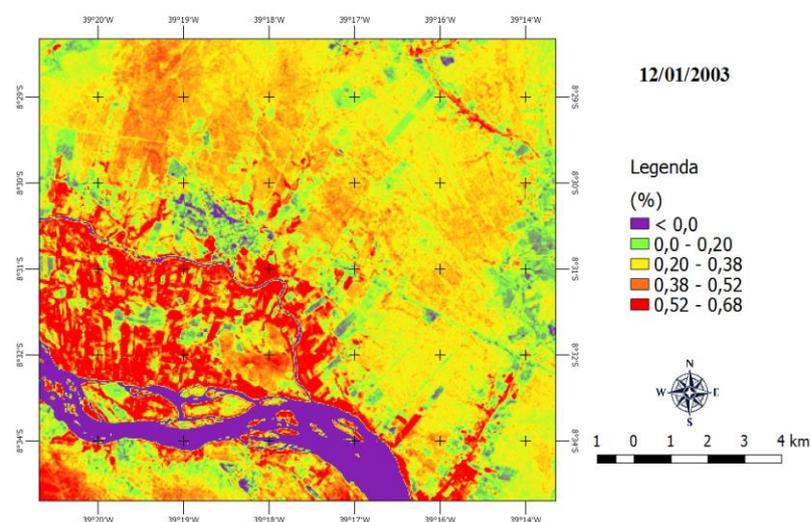
Figura 6- Mapas temáticos da composição RGB (a) 12/01/2003 e (b) 23/01/2010.

Já nos valores mais altos representados na cor vermelha foram observadas locais com vegetação mais densa, podendo ser considerado caatinga verde ou área com cultura mais desenvolvida, que variou de 0,56 – 0,73 no mês janeiro de 2003 e 0,51 – 0,68 em 2010, analisando é notável que a área seja propícia a desertificação e levando em consideração área de cultivo, o mau uso do solo pode ter acarretado a diferença significativa no índice entre 2003 e 2010, além do desmatamento para local com caatinga verde. Ainda é possível ressaltar que na figura 5b as áreas com maiores índices localizados as margens do corpo d'água principal, são locais com vegetação nativa preservada.

3.4 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

Para o índice SAVI, que consiste num índice de vegetação ajustado aos efeitos da reflectância do solo foram obtidos os seguintes valores expressados na figura 7 para as duas datas (12/01/2003 e 23/01/2010).

(a)



(b)

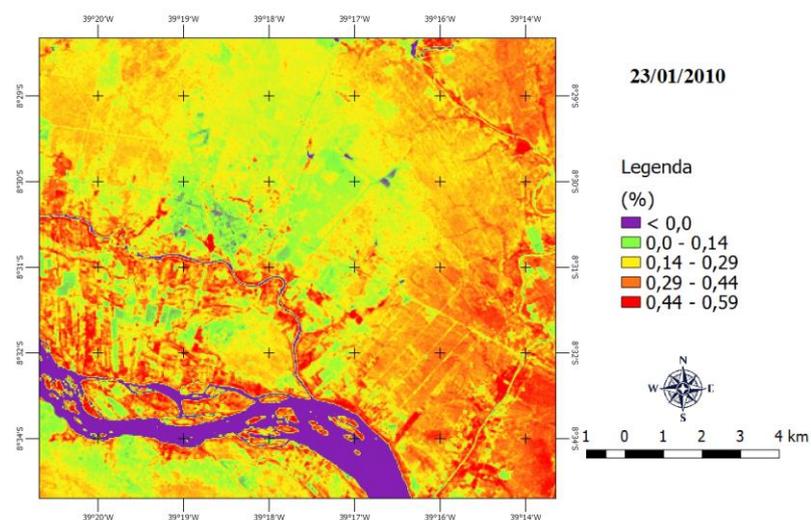


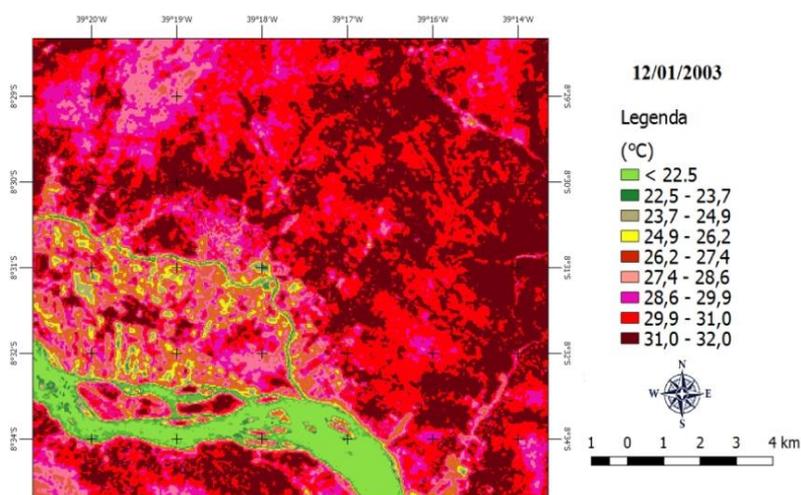
Figura 7- Mapas temáticos dos valores obtidos do SAVI para (a) 12/01/2003 e (b) 23/01/2010.

As imagens aferidas de SAVI demonstraram semelhança com as do NDVI, onde foi dado maior destaque na área urbana e solo exposto nas cores verde e amarelo. Nos locais de vegetação rala também houve um realçamento maior como mostrado na figura 7b, devido a vegetação presente nestes locais estarem em processo de desenvolvimento e sofrendo mais influência do solo descoberto. Percebe-se ainda que nas duas imagens os valores negativos foram mais evidenciados em partes mais distantes do corpo d'água principal, reforçando que existem lagos em diversos pontos da região. As superfícies representadas em vermelho ainda resultou nas zonas de vegetação mais densa, variando de 0,56 a 0,67 e 0,44 a 0,59, respectivamente em 12/01/2003 e 23/01/2010, expondo consideravelmente a mudança da vegetação.

3.4 Cartas de Temperatura

Através das cartas de temperatura elaboradas (Figura 8) através do modelo METRIC, foi possível confrontar as mesmas com os locais que tiveram os índices de vegetação mais alterados na região de estudo.

(a)



(b)

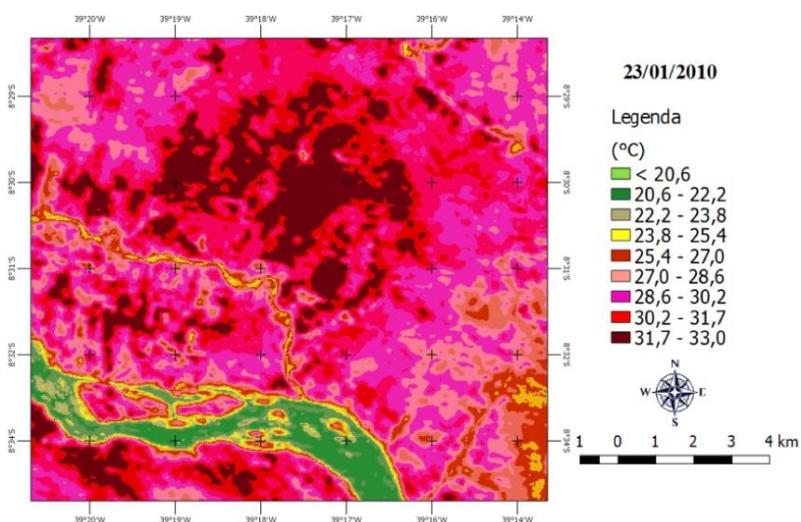


Figura 8- Mapas temáticos dos valores obtidos de temperatura para (a) 12/01/2003 e (b) 23/01/2010.

Os valores mínimos e máximos de temperatura nas imagens de 12/01/2003 e 23/01/2010 tiveram uma pequena diferença de 2° C para as temperaturas mínimas e 1° C para as temperaturas máximas. Na zona de presença urbana a temperatura ficou em torno de 28,6 – 29,9 °C para 12/01/2003, enquanto para o dia 23/01/2010 variou de 28,6 – 30,2, tendo pouca variação em comparação as duas datas, como também na superfície de corpos d’água que em ambas imagens tiveram temperatura similares de aproximadamente 22,5 °C. A presença de variações de temperaturas mais intensas ocorreram em locais que tiveram maior alteração na vegetação como foi no caso da Ilha de Assunção que possuía em janeiro de 2003 temperaturas variando de 24 – 31°C e em janeiro de 2010 passou a variar de 28 – 33°C com temperaturas maiores entendendo- se por um espaço maior. Foi ainda visto uma diminuição de temperatura ao leste, onde a presença de vegetação amenizou a mesma, devido a disponibilidade de umidade pela vegetação que resultou no decaimento, onde apresentavam temperatura superiores a 28°C e passou a ser acima de 23,8 °C. No ponto onde o solo exposto está mais evidentes como mostrado anteriormente na figura 2 é visto uma zona de maior degradação que em 23/01/2010 teve temperatura de 31,7 – 33°C, enquanto em 12/01/2003 possuía variação de 28,6 – 29,9°C no mesmo ponto.

4. Conclusões

Através das técnicas de sensoriamento remoto aplicadas na análise, obteve- se valores bastante adequados sobre a cobertura do solo no município de Cabrobró- PE com imagens do Landsat 5 – TM e Landsat – 7 ETM+, onde os índices de IVDN e SAVI demonstraram ser uma ferramenta eficaz para análise da degradação do solo e suas consequências como o aumento da temperatura observado em áreas que tiveram maior alteração de sua cobertura.

Analisando as duas imagens (12/01/2003 e 23/01/2003) ficaram nítidas as alterações correspondentes à vegetação, evidenciando uma maior concentração de áreas com vegetação mais densa com valores mais altos próximos a corpo d’ água, sendo considerada vegetação nativa e áreas de cultivo. Os resultados para pontos de solo exposto demonstraram uma evolução significativa e surgimento de novos pontos em 23/01/2010, como foi o caso da Ilha de Assunção, onde antes era visto uma área vegetada (cultivo de arroz) com índices mais altos, sendo alterado para superfície de solo exposto com valores bem inferiores, pressupondo que trata- se de uma área com grau elevadíssimo de degradação.

Para os locais com maior variação de temperatura foi constatado que as maiores alterações ocorreram em domínio de solo exposto, onde as variações positivas apresentadas se deram em virtude do albedo que é maior nestas regiões, ou seja, o solo exposto teve uma maior reflexão da energia incidente com sua superfície aquecendo a atmosfera de maneira direta.

Referências Bibliográficas

Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. SEBAL Surface Energy Balance Algorithm for Land – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002a.

Aragão, J. A. R. Fatos sobre o fenômeno de El Niño e sua relação com as secas no NEB. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET**. Vol.14, nº1, p.2-8, 1990.

Araújo, T. L.; Di Pace, F. T. Determinação da temperatura instantânea da superfície terrestre da cidade de Maceió - AL, com base em imagens TM – Landsat 5. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p.3717-3724, 2007.

Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote sensing of environment**, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

Ggweather- El Niño and La Niña Years and Intensities. Disponível em: < <http://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 23 de maio de 2016.

Huete, A. “A soil adjusted vegetation index (SAVI)”. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1988.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)- Normais Climatológicas. Disponível em: <www.inmet.gov.br/>. Acesso em: 22 de maio de 2016.

Lins, R. R. et al. Análise do Impacto Ambiental do Projeto de Integração do Rio São Francisco no Bioma Caatinga. **VIII SOBER Nordeste**, 2013.

Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I.M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

O-Lopes, L. S.; Soares, R. C.. Suscetibilidade à Desertificação das Terras Secas de Gilbués (Estado Do Piauí) e Cabrobó (Estado Do Pernambuco), Nordeste Do Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 56, p. 307-323, 2016.

Santana, Marcos Oliveira. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. **Brasília: MMA/SRH/UFPB**, 2007.

United States Geological Survey- USGS. Disponível em: < <http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 19 de maio de 2016.

Uvo, C.R. B. e Berndtsson R. Regionalization and Spatial Properties of Ceará State Rainfall in Northeast Brazil. **J. Geoph. Res.**, vol. 101, no. D2, 4221-4233, 1996.