ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Avaliação do estágio de regeneração do bioma caatinga na microrregião do Araripe, com sensoriamento remoto

Josicléda Domiciano Galvncio¹ Mariangela Silva Badarau² Vanessa Vasconcelos Barbosa³ Fernando José Freire⁴ Maria Betânia Galvão dos Santos Freire⁵ Werônica Meira de Souza⁶

¹Universidade Federal de Pernambuco- Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente- PRODEMA. Autor correspondente: E-mail: josicleda@hotmail.com ²Universidade Federal de Pernambuco- Graduanda em Geografia. E-mail: maribadarau@hotmail.com ³Universidade Federal de Pernambuco- Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA.. E-mail: anessa@yahoo.com.br ⁴Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE. E-mail: fernando.freire@ufrpe.br ⁵UFRPE. mbetaniafreire@uol.com.br ⁶Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE- Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA. E-mail: veronicameira@gmail.com

Artigo recebido em 09/05/2016 e aceite em 28/08/2016

RESUMO

A degradação das terras em ambientes secos é um processo em que condições indesejáveis surgem devido a causas naturais e humanas. A seca é uma condição climática grave que afeta quase todas as zonas climáticas do mundo. As regiões semiáridas são especialmente suscetíveis às condições de seca por causa de sua baixa precipitação anual e elas possuem uma alta sensibilidade às mudanças climáticas. Assim, estudos que venham a contribuir na avaliação dos impactos da seca nos ecossistemas são de grande importância. Assim, este estudo utiliza imagens de satélite para avaliar a variação na cobertura vegetal no semiárido de Pernambuco-Brasil. Neste estudo foi utilizado imagens do satélite Landsat 5 para três anos 1998, 2006 e 2011. Foram analisadas as características espectrais da vegetação utilizando o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Foi efetuada a classificação supervisionada nas imagens e relacionadas com os dados de chuva, utilizando o balanço hídrico. Foi obtido que o valor do NDVI depende da quantidade de água armazenada no solo, que é dependente da intensidade da precipitação. Conclui-se que é importante avaliar a intensidade da chuva no período chuvoso e relacionar com a cobertura vegetal do período seco.

Palavra-chave: Cobertura vegetal, intensidade da chuva, balanço hídrico, NDVI

Biome regeneration stage evaluation Caatinga in the micro region of Araripe, with remote sensing

ABSTRACT

Land degradation in dry environments is a process in which undesirable conditions arise due to natural and human causes. Drought is a severe weather condition that affects almost all climate zones around the world, such as semi-arid regions are especially susceptible to drought conditions because of its low annual rainfall they have a high sensitivity to climate change. This study uses satellite images to assess the variation in vegetation cover in semi-arid region of Pernambuco, Brazil. This study uses the Landsat 5 satellite images to three years 1998, 2006 and 2011. the spectral characteristics of vegetation were analyzed in these three years, using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), the supervised classification and rainfall data. It was determined the water balance for these years. It was obtained that the value of NDVI depends on the quantity of rainfall stored in the soil. In conclusion, it is important to evaluate the intensity of rain in the rainy season and relate to the vegetation cover of the dry period. Thus, the vegetation cover of the dry period is dependent on the rain intensity in the rainy season.

Keywords: Vegetable cover, rainfall intensity, water balance, NDVI.

Introdução

A cobertura vegetal se configura como um dos elementos mais significativos do quadro natural de uma determinada região, uma vez que exerce um papel fundamental na indicação de elementos como a qualidade do solo, influência na dinâmica geomorfológica, temperatura, precipitação, entre vários outros parâmetros oriundos das inter-relações entre os fenômenos do ambiente físico natural.

Quanto ao seu papel no ciclo hidrológico, a retirada da vegetação aumenta o impacto das gotas de chuva ao atingirem o solo, provocando uma erosão laminar e um rápido escoamento superficial, diminuindo a infiltração das águas e o abastecimento dos aquíferos, provocando grandes alterações e modificando a paisagem. Para mensurar as alterações ocasionadas pelas dinâmicas ocorridas na vegetação ao longo do tempo, torna-se indispensável a realização de estudos direcionados com a utilização de ferramentas que nos permita dimensionar e comparar as mudanças recorrentes.

A degradação das terras em ambientes secos é um processo em que condições indesejáveis surge devido a causas naturais e humanas. Apesar dos efeitos particularmente nocivos da degradação, e potencialmente irreversíveis, avaliações regionais têm fornecido dimensões conflitantes como: taxas de aumento ou diminuição e das gravidades da degradação, tanto a nível global quanto regional, Schmidt e Karnieli (2000). O monitoramento da degradação precisa ser realizado de forma contínua, uma vez que processos de degradação em regiões áridas e semiáridas podem ser irreversíveis.

Além disso, a vegetação exerce um importante papel no sequestro de carbono, água e energia na superfície da terra (Hoffmann e Jackson, 2000; Nemani e Running, 1996; Schimel et al., 2001; Tueller, 1987; Ward & Robinson, 2000) e sua retirada pode provocar impactos em três balaios (carbono, energia e água) de grande importância ambiental, econômica e social.

A seca é uma condição climática grave que afeta quase todas as zonas climáticas do mundo. As regiões semiáridas são especialmente suscetíveis às condições de seca por causa de sua baixa precipitação anual e assim apresentar uma alta sensibilidade às mudanças climáticas, (Marshall e Zhou 2004).

Para se estudar as condições da vegetação se torna importante analisar as condições

climáticas do lugar. No entanto, a disponibilidade de dados climáticos, como por exemplo, a intensidade de precipitação é bastante escassa.

A utilização de dados espectrais, na estimativa de parâmetros estruturais da vegetação, constitui-se num dos mais importantes papéis do sensoriamento remoto dos ecossistemas naturais (Accioly et al., 2002). O sensoriamento remoto da vegetação permite avaliar e fornecer características da vegetação de área semiáridas que podem ser utilizadas para relacionar as condições de seca.

Estudar a vegetação em ambientes semiáridos é de grande importância para avaliar os efeitos da variabilidade climática e de outros fatores antropogênicos no meio ambiente (Elmore et al., 2000; Tueller, 1987; Woodwell et al., 1984). Assim, as imagens de satélite podem ser uma aliada porque proporcionam estudos em boas escalas espaciais e temporais.

Diferentes índices de vegetação têm sido desenvolvidos e utilizados no mundo, (Rouse et al., 1973; Jackson, 1983; Purevdorj et al., 1998) com forte uso do NDVI, Major et al 1990; Elvidge and Lyon, 1985; Huete and Tucker, 1991; Huete et al., 1985; Todd and Hoffer, 1998) Huete, 1988) Lyon et al., 1998). Além disso, o NDVI tem mostrado uma boa relação com parâmetros ecológicos como O LAI- Leaf Area Index.

Destaca-se, nesse âmbito, a importância das imagens de satélite no levantamento dos recursos naturais. Neste sentido, Florenzano (2002) afirma que estas proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) de extensas áreas da superfície terrestre. Exibem os ambientes e suas alterações, salientam os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem através do uso e da ocupação do espaço.

O município de Araripina, localizado na região Semiárida do Estado de Pernambuco e do Nordeste, faz parte do polo gesso da região do Araripe pernambucano, que abrange os municípios de Araripina, Trindade, Ouricuri, Bodocó e Ipubi. Essa região é responsável por 97% da produção nacional de gesso do Brasil. Segundo a classificação de Köppen, no município de Araripina o clima correspondente é o BShw e está inserido totalmente na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida (PERH/PE, 1998). Seus aspectos mineralógicos estão relacionados com o a extração do mineral gipsita, e os geomorfológicos

com a Chapada do Araripe, suas escarpas e morros testemunhos e a Depressão Sertaneja.

Essas características e uso da terra nesta região têm causado grandes mudanças no ecossistema natural da área que é a caatinga. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar as mudanças da cobertura vegetal em Araripina-PE.

Material e métodos

Araripina está localizado na região Nordeste do Brasil, no Estado de Pernambuco, na mesorregião do Sertão pernambucano e na microrregião de Araripina. Segundo o BDE (2015), A área total de seu território é de 98.149,119 km², situado entre as coordenadas geográficas 7°34'34'' Sul de latitude e 40°29'54'' Oeste de longitude, Figura 1.

Figura 1 – Localização espacial de Araripina.

O município de Araripina está inserido na Região de Desenvolvimento (RD) Sertão do Araripe, de acordo com a delimitação das doze Regiões instituídas através da elaboração do Plano Plurianual do Estado para o quadriênio 2004-2007 e mantidos através das leis 13.306, de 1 de outubro de 2007 para o quadriênio 2008-2011 e 14.532, correspondente de ao quadriênio 2012-2015, e representando um dos principais centros urbanos da região. Nesse âmbito, inserida no Centro Sub-regional B, Araripina destaca-se como sede de uma rede composta por nove municípios, e concentra os equipamentos urbanos: Centro Tecnológico, Unidade Regional de Educação (GRE), Área de Segurança Integrada (AIS), Gerência Regional de Saúde (GERES), e Hospitais Regionais (CONDEPE/FIDEM, 2011).

De acordo com o censo geográfico do IBGE (2010), a população do município era de 77.302, enquanto a estimativa para 2015 se dá em torno de 82.800. A área da unidade territorial em km² é de 2.037,388, expressando assim a densidade demográfica de 40,84 hab/km². O índice de desenvolvimento humano encontrado é de 0,602, considerado baixo, enquanto o PIB per capita a preços correntes indica 6.325,79. Tais dados expressam uma substancial desigualdade social.

A investigação das condições do ambiente físico de Araripina aliada aos dados sociais e econômicos podem expressar diversos fenômenos que, além auxiliar o direcionamento de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento local e combate ao elevado nível de disparidade de renda, impliquem na preservação ambiental, uma vez

que as correlações existentes entre os fenômenos geográficos possuem uma relação de interdependência.

No que se refere à estrutura geológica do município em questão, demarca-se a presença de terrenos sedimentares do cretáceo, e terrenos ígneos e metamórficos do pré-cambriano, de acordo com Andrade (2003). As rochas sedimentares verificadas na bacia do Araripe são arenitos, folhetos, siltitos, margas e gipsita, enquanto fazem parte dos terrenos ígneos e metamórficos, dentre outros, os gnaisses, migmatitos, granitos, quartzitos, sienitos, calcários cristalinos e filitos. Tratam-se de rochas muito antigas, bastante falhadas e dobradas, revelando um passado bastante conturbado do ponto de vista tectônico.

A compartimentação do relevo expressa feições que variam entre 500 e 800 metros de altitude, constituídas principalmente pela Chapada do Araripe, relevo tabular com topo plano e encostas escarpadas, de onde partem vários afluentes da margem esquerda do São Francisco, e ainda a Deressão Sertaneja, que se caracteriza por apresentar uma topografia plana, correspondente a um amplo pediplano elaborado no passado. Sobre esta, surgem inselbergs e maciços residuais (Andrade, 2003, 2009).

No que diz respeito ao clima, encontra-se a predominância do semiárido (Clima Tropical Quente e Seco), que apresenta alta temperatura do ar, umidade relativa do ar baixa e grande amplitude térmica diária, chegando a 15°C. Os valores de mais alta temperatura são alcançados durante o dia, enquanto à noite as temperaturas decrescem, atingindo valores mínimos durante a madrugada. Ocorrem duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa. Esse clima é correspondente ao BShw da classificação de Köppen. (CONDEPE/FIDEM, 2011). Atrelado a isso, o regime de precipitação encontrado apresenta índices médios anuais de 501 a 750 mm,

caracterizando a região como de baixa pluviosidade. A incidência de secas, assim verificada, é classificada como de 81 a 100% (INPE, 2015). A bacia hidrográfica presente na área é a do rio Brígida.

No que se refere à cobertura vegetal primitiva, demarca-se a presença da Caatinga Hiperxerófila, da Caatinga Hipoxerófila e a transição Floresta/Caatinga. Segundo Andrade (2003, 2009), a vegetação de transição Floresta/Caatinga se localiza na Chapada do Araripe, e a predominância de um tipo de vegetação sobre outro nessa área do Estado decorre da influência do relevo e dos solos. A formação vegetal é composta formação arbórea e arbustiva das Caatingas ao Cerrado, como mangabeira, catingueira, jurema, pequiizeiro e visgueiro do araripe.

A Caatinga Hipoxerófila é formada predominantemente por árvores e arbustos adaptados à escassez hídrica, que perdem as folhas durante a estação seca. Predomina no Agreste de Pernambuco, em áreas semiáridas ou subúmidas (de transição) onde as chuvas se distribuem de forma menos irregular. As espécies vegetais mais comuns são a canafistula, mulungu, jurema preta, macambira, marmeleiro e mandacaru. Enquanto a caatinga hiperxerófila é típica das áreas mais secas do semiárido pernambucano, sendo frequente na depressão sertaneja. As espécies vegetais mais encontradas são: macambira, pereiro, xique-xique, caroá, angico, etc.(CONDEPE/FIDEM, 2011).

Segundo Accioly et al., (2002) a chapada do Araripe foi criada em 1946, sendo oficialmente a primeira floresta nacional, ocupa uma área de 38.263 ha, situada ao norte do setor oriental da Chapada do Araripe (7°20' S; 33°27' W; 900 m), e compreende parte dos municípios do Crato, Barbalha, Santana do Cariri e Jardim, todos no Ceará (Figura 2).

Figura 2 – Localização da Floresta Nacional (FLONA) do Araripe e das parcelas amostradas por Toniolo & Kamierczak (1998). Adaptado de Accioly et al., (2002).

- Levantamento de dados climáticos

Os dados climáticos utilizados neste estudo foram de precipitação e temperatura, para os anos de 2006 e 2011. Este período foi adotado em virtude da disponibilidade das imagens para a área de Araripina. O arquivo de dados meteorológicos foi oriundo da plataforma de coleta de dados – PCD de código 225, de coordenadas - 7,4583 e -40,4172.

Os dados de precipitação para o período já mencionado foram adquiridos através da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) em formato diário, e posteriormente transformado em totais mensais através do Microsoft Office Excel 2010, enquanto os dados de temperatura foram cedidos pela Unidade de Geoprocessamento (UGEO) do Instituto de

Tecnologia de Pernambuco (ITEP), em formato diário, de hora em hora, e transformados em médias mensais através de cálculos utilizando ainda a plataforma do Microsoft Office Excel.

Posteriormente foi também obtidas imagens do satélite Landsat-TM.

- Dados orbitais

O município trabalhado foi Araripina, de órbita 217 e ponto 65 de latitude 7.5766 e longitude 40.4976. As imagens foram empilhadas, recortadas e calculadas o NDVI. Foram utilizados programas geoprocessamento para processar as imagens do Landsat 5 TM, baixados do site Earth explorer. As modificações na vegetação analisadas no trabalho corrente referem-se ao período de: 26/09/1998, 21/06/2006, 24/06/2011.

A equação utilizada no cômputo do NDVI é aplicada diretamente sobre cada par de pixel nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, produzindo um valor pertencente ao intervalo [-1, 1]. Quanto mais próximo de 1, maior é a certeza de referir-se a um pixel de vegetação. Assim, a equação aplicada é:

$$NDVI = \frac{IPV - V}{IPV + V}$$

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, acrônimo NDVI em inglês, é utilizado na identificação e compreensão da cobertura vegetal em imagens de sensores remotos, possibilitando o usuário a aferir análises da situação passada e atual, produção agrícola, biomassa, monitoramento da saúde vegetal, entre outras aplicações.

O NDVI é calculado a partir dos níveis de reflectância medidos pelo sensor, todavia as imagens são geralmente disponibilizadas com os valores de níveis digitais (ND). Se faz presente então um cálculo para converter de ND para reflectância.

Balanço Hídrico

Os balanços hídricos foram construídos a partir da inserção dos dados correspondentes ao município de Araripina na plataforma Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955), desenvolvida por Rolim e Sentelhas no Departamento de Física e Meteorologia ESALQ-USP, BHnorm. 5.0, 1999.

Com a inserção dos dados de precipitação e temperatura, juntamente com a utilização do CAD 100, altitude de 622m,

latitude -7,56 e longitude -40,42, do período 1-365, foi construída para cada ano uma análise composta pelo extrato do balanço hídrico mensal, deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica.

Para tal análise, foram construídos gráficos que ilustram as informações já mencionadas, onde ainda é possível observar o comportamento da precipitação, da evapotranspiração potencial e evapotranspiração real de Araripina.

O diagnóstico conjunto dos balanços hídricos constituídos para os anos de 2006 e 2011 compõem um cenário do comportamento hídrico de Araripina durante o período, identificando variações que podem subsidiar o planejamento local e regional, visando uma convivência e exploração mais adequada com o ambiente semiárido.

Finalmente, foram comparados os dados de cobertura vegetal e do balanço hídrico.

Resultados e discussão

A partir das análises das imagens do NDVI para os anos de 1998 a 2011, nota-se que o NDVI do município de Araripina passou por uma diminuição de vegetação, Figuras 3, 4, 5 e 6. Nota-se uma maior degradação na área noroeste-sudoeste. É possível observar uma menor cobertura vegetal nesta área noroeste-sudoeste no ano de 2006. Em 2011 é perceptível uma regeneração nesta área. Avaliado a área mais densa (nordeste da imagem) nota-se que em 1998 há um menor adensamento quando comparado com 2011.

Figura 3 – Mapa de vegetação para 1998.

Figura 4 – Mapa de vegetação para 2006.

Figura 5 – Mapa de vegetação para 2011.

Figura 6 – Mudança espacial e temporal na cobertura vegetal em Araripina nos últimos 13 anos.

Analisando os dados da Figura 6, nota-se uma variação na cobertura vegetal em todas as classes nos três anos. Em relação a área com vegetação densa em 2006 apresentou aumento. É importante ressaltar que este valor está sendo influenciado por nuvens e, portanto, recomenda ter cautela na avaliação deste dado. A área com vegetação esparsa aumentou nos 13 anos analisados. A área com vegetação semidensa

diminuiu. A vegetação em regeneração diminuiu e aumentou a vegetação esparsa. Este é forte resultado indicativo de degradação da área em estudo.

Considerando que conforme evidenciado na caracterização física a gipsita é muito abundante no município de Araripina, sabe-se que a mesma é amplamente explorada comercialmente em virtude do polo gessoso. A mesma se consolida como principal agente de degradação da vegetação na área, uma vez que o processo de

calcinação necessário para a produção do gesso local exige grande volume de lenha, e com isso, configura-se uma intensa devastação na cobertura vegetal, gerando alterações nas estruturas físicas e biológicas do ambiente natural.

Ao mesmo tempo, a indústria do gesso apresenta forte crescimento, gerando grande pressão sobre a vegetação nativa. Esse quadro expõe o Araripe como área susceptível à desertificação, e suas consequências podem ser irreversíveis nos aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Conforme informações contidas no relatório do evento Polo Gesseiro do Araripe: potencialidades, problemas e soluções (2014), o processo de calcinação da gipsita, etapa de produção do gesso na qual o minério é submetido a altas temperaturas, necessita de muita energia, na maioria das vezes proveniente de madeira de espécies nativas retiradas da vegetação da Caatinga, onde predominam as formações vegetais xerófilas, que não apresentam produtividade suficiente nos planos de manejo florestal sustentados, para atender o atual consumo só por parte da indústria do gesso.

Entre os principais condicionantes da condição da vegetação atual do referido município se podem citar a ineficiência energética do polo

gesseiro, uma vez que o uso de uma só fonte de energia impacta diretamente e de forma mais intensa sobre a fonte explorada, bem como a ausência de investimentos em reflorestamento para recuperar as áreas degradadas.

Devido à forte intensidade com que a degradação da vegetação se processa em Araripina, faz-se necessário a promoção de estratégias de contenção da devastação florestal que incluam, sobretudo a aplicação de técnicas de plantio, planos de manejo florestal sustentado e medidas para evitar o processo de desertificação propiciado pela prática inadequada de exploração florestal.

Avaliação climática

No ano de 2006 as chuvas mais expressivas se concentraram no primeiro trimestre do ano. Em meados de janeiro a março ocorreu reposição hídrica. De fevereiro a maio excedente hídrico, acima de 130 mm. Nos meses seguintes apresentou-se novamente o déficit hídrico (de junho a dezembro), apresentando culminância dessa condição no mês de dezembro, onde já não ocorria mais retirada, Figura 7.

Figura 7 – Extrato do Balanço Hídrico do ano de 2006.

Em 2011 é possível perceber reposição de janeiro até abril, Figura 8.

Essa reposição ultrapassou os 100 mm no mês de março, que registrou o maior índice de

precipitação do ano (189 mm). O excedente hídrico foi registrado de fevereiro a maio, acentuando-se em março, contudo, não chegando a atingir os 50 mm. A retirada foi mais expressiva entre os meses de junho e julho, enquanto o déficit, que se apresenta de junho a dezembro, atinge nesse último mês - 100 mm. Quando comparado com 2011 é

possível perceber que a deficiência hídrica em 2006 foi mais evidente do que 2011. Isto fez com que em 2011 ocorresse uma melhor distribuição da cobertura vegetal do que em 2006. Sendo 2006 mais evidente as áreas degradadas.

Figura 8 – Extrato do Balanço Hídrico do ano de 2011.

Detectar as mudanças na cobertura vegetal e relaciona-las com as condições hidroclimáticas é de grande importância para que possamos observar o quanto a vegetação está sendo modificada pelo clima e /ou pelas ações antrópicas. Este estudo mostrou o quanto o clima causa impacto na vegetação em diferentes tempos de resposta.

A análise quantitativa das respostas da cobertura vegetal com sensoriamento remoto deve ser usada com cuidado uma vez que as condições físicas naturais interferem nas respostas, como também, as nuvens. Assim, para quantificar a degradação é muito importante a observação em campo.

Algumas análises tem se utilizando apenas dos princípios básicos: o tempo, a data, a localização e as condições atmosféricas. Assim, as aproximações baseadas apenas nestes princípios não representam a realidade e é inconsistente. É importante ressaltar a observação em campo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de pesquisa do primeiro, quarto e quinto autor. A FACEPE pelo apoio financeiro a pesquisa e bolsa para o segundo e terceiro autor, através do projeto PRONEM/PROMASSA. A CAPES ao projeto A103/2013.

Conclusão

O NDVI apresentou um bom desempenho na demonstração das alterações na vegetação no município de Araripina no período estudado, se configurando como uma importante ferramenta na obtenção e análise de dados ambientais relativos à cobertura vegetal. As análises permitiram identificar alterações na cobertura vegetal, mas não é possível quantificá-las.

A área com vegetação esparsa aumentou nos 13 anos analisados. A área com vegetação semidensa diminuiu. A vegetação em regeneração diminuiu. Este fato está relacionado às condições físicas naturais e antrópicas.

A análise dos balanços hídricos do município de Araripina para os anos de 2006 e 2011 evidenciou primeiramente a má distribuição da precipitação ao longo do ano, concentrando sempre os índices de chuva no primeiro e início do segundo trimestres.

A área leste/sul do município apresentou a maior degradação/solo sem vegetação. Essa degradação aumenta a vulnerabilidade da caatinga e contribui para a diminuição do armazenamento de água no solo.

A área nordeste do município de Araripina ainda apresenta vegetação densa, mas essa tem diminuído ao longo dos anos.

Referências

Andrade, M.C., 2003. Atlas escolar de Pernambuco. Grafset, João Pessoa.

Andrade, M.C., 2009. Geografia de Pernambuco: ambiente e sociedade. Grafset, João Pessoa.

Araújo, S. M. S. de, O Pólo Gesseiro do Araripe: Unidades geo-ambientais e impactos da mineração. Campinas, Universidade Estadual de Campinas. Tese, 2004.

Accioly, L. J. Pachêco; A., Thomaz C. Costa, C. Lopes; O. F. Oliveira, M. A. J. de. 2002. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. Rev. bras. eng. agríc. Ambiental 6 [CrossRef](#)

Baltar, C. A. M.; Bastos, F. F.; Luz, A. B. Diagnóstico do Pólo Gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento, 2003.

BDE. Base de Dados do Estado, 2010. Perfil municipal de Garanhuns. Disponível: <http://www.bde.pe.gov.br>. Acesso: 10/05/2015.

CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco, 2011. Pernambuco em mapas. Recife.

CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco, 2012. Pernambuco em redes: caracterização das regiões de influência das cidades pernambucanas. Recife.

Elmore, Andrew J., Mustard, John F., Manning, Sara J., Lobell, David B. 2000. Quantifying Vegetation Change in Semiarid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. Remote Sensing Environment 73, 87-102

Elvidge, C., and R. Lyon, 1985. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass, Remote Sensing of Environment 17, 265-279.

Huete, A.R. 1988. A soil adjusted vegetation Index (SAVI). Remote Sensing Environment 25, 295-309.

Huete, A. R., Jackson, R. D., Post, D. F. 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. Remote Sensing of Environment 17, 37-53.

Huete, A., C. Tucker, 1991. Investigation of soil influences in AVHRR red and near-infrared vegetation index imagery. International Journal of Remote Sensing 12, 1223-1242.

Huete, A. R., Liu, H. Q. 1994. An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 32, 897-905.

Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., Leeuwen van, W. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment 59, 440-451.

Huete, A. R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment 83, 195-213.

Hoffmann, W. A., Jackson, R. (2000). Vegetation-climate feedbacks in the conversion of tropical savanna to grassland. Journal of Climate 13, 1593-1602.

Jackson, R. D 1983. Spectral indices in n-space. Remote Sensing Environment 13, 409-421.

Lyon JG, Yuan D, Lunetta RS, Elvidge CD 1998. A change detection experiment using vegetation indices, Photogrammetric Eng. Remote Sensing 64, 143-150.

Major, D. J., Baret, F., Guyot, G. 1990. A ration vegetation index adjusted for soil brightness. International Journal Remote Sensing 11, 727-740.

- Marshall, G., Zhou, X. 2004. Drought detection in semi-arid regions using remote sensing of vegetation indices and drought indices. [CrossRef](#)
- Nemani, R., & Running, S. W. 1996. Global vegetation cover changes from coarse resolution satellite data. *Journal of Geophysical Research* 101, 7157–7162.
- Purevdorj, T., Tateishi, R., Ishiyama, T., & Honda, Y. 1998. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing* 19, 3519–3535.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Earth Resources Technology Satellite -1 Symposium*, 3, Washington, Proceedings... 309-317.
- Schmidt, H., Karnieli, A. 2000. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. *Journal of Arid Environments* 45, 43-59.
- Schimel, D. S., House, J. I., Hibbard, K. A., Bousquet, P., Ciais P., et al. 2001. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature* 414, 169–172.
- Tueller, P. T. 1987. Remote sensing science applications in arid environments. *Remote Sens. Environment* 23, 143–154.
- Todd, S.W.; Hoffer, R.M. 1998. Responses of spectral indices to variations in vegetation cover and soil background. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 64, 915-921.
- Toniolo, E.R.; Kazmierczak, M.L. 1998. Mapeamento da Floresta Nacional do Araripe (Flona-Araripe). Fortaleza: IBAMA, 12p.
- Ward, R. C., Robinson, M. 2000. *Principles of Hydrology* (4th edition). McGraw hill. 450 pp.
- Woodwell, G. M., Hobbie, J. E., Houghton, R. A., Melillo, J. M., Moore, B., Park, A. B., Peterson, B. J., and Saver, G. R. (1984), Measurement of changes in the earth by satellite imagery. In *The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: Measurement by Remote Sensing*, SCOPE 23 (Woodwell, G. M., Ed.), Wiley, New York, pp. 221–240.