

Estimativa de variáveis biofísicas em áreas de Caatinga a partir de dados MODIS/TERRA

Francineide Amorim Costa Santos¹
Carlos Antonio Costa dos Santos²

¹ Universidade Federal do Cariri – UFCA/IFE
Caixa Postal 63.260-000- Brejo Santo CE, Brasil
francineide.amorim@ufca.edu.br

² Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/UACA
Caixa Postal 58.429 – 140 – Campina Grande – PB - Brasil
carlos.santos@ufcg.edu.br

Abstract. The present study aims to study the differences in the behavior of important variables such as albedo (α) and NDVI (normalized difference vegetation index) in the Caatinga area in recovery (CREC) and degraded (CDEG) in the state of Paraíba. Variables were estimated from MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data on the Terra satellite and then compared to field measurements. The estimates showed higher values of albedo for the CDEG when compared to CREC, evidencing that in the CREC there must be a greater availability of energy to carry out the physical processes. Comparisons between measurements and albedo estimates resulted in percentage errors ranging from 12% on average. The NDVI estimation was also satisfactory, which resulted in higher values for the CREC, besides showing a negative correlation with the surface temperature values, proving the expected, since in the areas where NDVI is larger there is a reduction in the Surface temperature due to increased soil cover. Thus, we prove the success of using the MODIS sensor for the present study, in order to analyze the differences resulting from the change in soil cover.

Palavras-chave: Remote sensing, recovering, degraded, albedo, NDVI, estimation.

1. Introdução

Os processos em que ocorrem mudanças na cobertura do solo podem afetar o clima, já que a atmosfera é influenciada pelas características da superfície, podendo ser afetadas as trocas de energia, água e carbono (Oyama e Nobre, 2004; Twine, 2004; Souza, 2006; Souza e Oyama, 2011). As características biofísicas relacionadas às propriedades radiativas da superfície (como o albedo) afetam o balanço de energia e as trocas turbulentas de calor sensível e latente entre a superfície e a atmosfera (Cunha et al., 2013). Mesmo pequenas mudanças no albedo da superfície podem afetar significativamente o tempo e a magnitude das perdas evaporativas para a atmosfera e, por sua vez, a quantidade de água que entra no solo e eventualmente atinge córregos (Twine, 2004). Muitos estudos têm mostrado que um albedo elevado como resultado de degradação resulta em menos precipitação sobre os continentes tropicais (Clark et al., 2001).

Tendo sido um dos biomas mais ameaçados, devido às centenas de anos de uso inadequado e insustentável dos solos e recursos naturais, a Caatinga é o mais negligenciado dos biomas brasileiros, nos mais diferentes sentidos. Apenas recentemente, essa grave situação passou a ser considerada por diversos setores governamentais e não-governamentais, pois há, além da grande necessidade de preservação dos seus sistemas naturais, uma séria insuficiência de conhecimento científico (Velloso et al., 2002). Nesse sentido, o sensoriamento remoto pode ser utilizado na identificação de alterações da cobertura vegetal, sejam elas antrópicas ou naturais, e das consequências advindas dessas transformações. Segundo Santos e Silva (2010), a técnica traz a grande vantagem de

permitir a quantificação do BE para áreas heterogêneas, com grande cobertura espacial e facilidade de aquisição das imagens, além de um baixo custo para o usuário.

A partir dos avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas nas plataformas orbitais (satélites), ampliou-se a capacidade de monitoramento de parâmetros biofísicos. Utilizando imagens provenientes do sensor MODIS, a bordo do satélite Terra, o presente estudo, investiga como as propriedades radiativas da superfície como o albedo (importante componente do BR) e o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) podem ser alterados devido a mudanças na cobertura da superfície. Duas áreas de Caatinga com diferentes níveis de degradação são os alvos para tais análises.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo e coleta de dados

A área de estudo (Figura 1) compreende o estado da Paraíba, com foco na mesorregião do Agreste para análise de algumas variáveis. A área de coleta dos dados de campo utilizados na validação pertence ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande, estado da Paraíba, onde estão instaladas duas torres micrometeorológicas, separadas por aproximadamente 4,5 Km de distância. Uma torre situa-se em área de Caatinga em recuperação cuja coordenada é 7°16'47.76"S, 35°58'29.21" W e de altitude 490 m. A segunda torre, instalada em área degradada localiza-se em 7°14'59.78"S, 35°56'49.70"W e 500 m altitude.

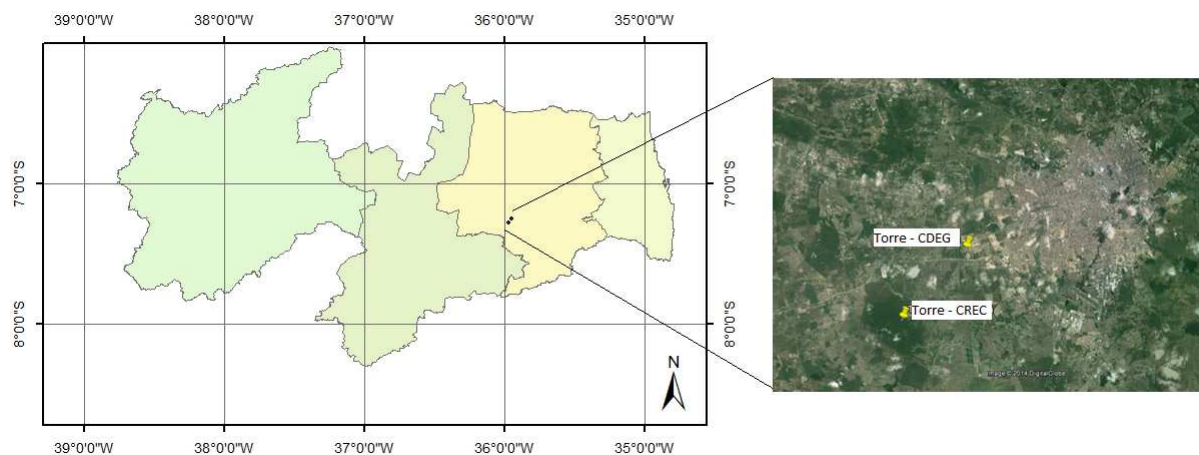


Figura 1: Área de estudo, com destaque para a localização das torres micro meteorológicas na área de Caatinga em recuperação (CREC) e de Caatinga degradada (CDEG). Fonte: Santos (2015).

As imagens MODIS foram convertidas do formato HDF (*Hierarchical Data Format*) para o formato GeoTIFF utilizando o software MRT (*MODIS Reprojection Tool*), as quais foram mosaicasadas e recortadas segundo o limite da área de estudo, para posterior processamento. A área de estudo está inserida no *tile* h14v9 e as imagens selecionadas foram do ano de 2013, correspondendo aos dias de ordem do ano (DOA) 25, 65, 73, 81, 89, 105, 129, 169, 201, 209, 233, 265, 281, 289, 337 e 345. Os dados MODIS necessários ao estudo estão disponíveis no endereço: <http://reverb.echo.nasa.gov/>.

2.2 Estimativa do Albedo da Superfície

O albedo é definido pela razão entre a radiação solar global refletida por cada pixel e a radiação solar incidente no mesmo, em todo o domínio da radiação de onda curta (0,3 a 3,0 μm). Para a sua determinação, no intuito de uma melhor precisão das estimativas,

foram utilizados dois métodos: um proposto por Liang (2000) e outro por Tasumi et al. (2008). O albedo segundo o método Liang (2000) - α_L é dado pela Equação 1:

$$\alpha_L = 0,160.\rho_1 + 0,291.\rho_2 + 0,243.\rho_3 + 0,116.\rho_4 + 0,112.\rho_5 + 0,081.\rho_7 - 0,0015 \quad (1)$$

onde $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_7$, representam as refletâncias monocromáticas relativas a cada uma das seis bandas espectrais do MODIS, distribuídas por meio do produto MOD09A1, e são adimensionais.

Para a estimativa do albedo conforme a metodologia descrita em Tasumi et al. (2008) - α_T , utilizou-se a Equação 2:

$$\alpha_T = \sum_{b=1}^n [\rho_{s,b} w_b] \quad (2)$$

onde os pesos w_b são os coeficientes de ponderação que representam a fração da radiação solar que ocorre no intervalo espectral da banda específica, constantes na Tabela 1; n é o número de bandas correspondente e $\rho_{s,b}$ é a refletância espectral à superfície, obtida do produto MOD09A1.

Tabela 1 Coeficientes de ponderação (w_b) da Equação (2), para uso em imagens MODIS (Tasumi et al., 2008)

Coeficiente	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
W_b	0,215	0,215	0,242	0,129	0,101	0,062	0,036

2.3 Estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) é a razão entre as diferenças na refletividade das bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma delas (Equação 3):

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (3)$$

para o sensor MODIS – Terra, ρ_{IV} corresponde ao canal 2 e ρ_V ao canal 1.

3. Resultados e Discussão

3.1 Albedo da superfície

Na Tabela 2 encontram-se os valores do albedo da superfície observados em campo e estimados através das duas metodologias de sensoriamento remoto descritas, para as áreas de Caatinga em recuperação (CREC) e degradada (CDEG), com os respectivos erros relativos percentuais (EP).

Tabela 2: Albedo da superfície observado e estimado pelas metodologias propostas e seus respectivos erros relativos percentuais – EP (%).

DOA	Observado		Albedo Liang			Albedo Tasumi				
	CREC	CDEG	CREC	EP	CDEG	EP	CREC	EP	CDEG	EP
25	0,13	-	0,15	15,4	0,19	-	0,14	7,7	0,19	-
65	0,13	-	0,12	7,7	0,20	-	0,12	7,7	0,20	-
73	0,11	0,2	0,12	9,1	0,19	5,0	0,11	0,0	0,19	5,0
81	0,12	0,22	0,11	8,3	0,19	13,6	0,11	8,3	0,19	13,6
89	0,12	0,22	0,13	8,3	0,19	13,6	0,13	8,3	0,18	18,2

105	0,12	0,21	0,13	8,3	0,22	4,8	0,13	8,3	0,22	4,8
129	0,12	0,22	0,12	0,0	0,24	9,1	0,11	8,3	0,23	4,5
169	0,12	0,17	0,12	0,0	0,14	17,6	0,11	8,3	0,13	23,5
201	0,13	0,2	0,13	0,0	0,16	20,0	0,12	7,7	0,15	25,0
209	0,13	0,21	0,14	7,7	0,2	4,8	0,13	0,0	0,18	14,3
233	0,11	0,21	0,12	9,1	0,16	23,8	0,11	0,0	0,15	28,6
265	-	0,19	0,1		0,13	31,6	0,1	-	0,13	31,6
281	0,12	0,2	0,11	8,3	0,22	10,0	0,11	8,3	0,21	5,0
289	0,11	0,19	0,12	9,1	0,2	5,3	0,12	9,1	0,2	5,3
337	0,11	-	0,14	27,3	0,18	-	0,14	27,3	0,18	-
345	0,11	0,19	0,17	54,5	0,21	10,5	0,17	54,5	0,21	10,5
Média	0,12	0,20	0,13	11,5	0,19	13,1	0,12	10,9	0,18	14,6

Houve boa concordância entre os valores medidos e estimados para as duas metodologias, na maioria dos dias estudados. Exceto para o dia 345 na área em recuperação. O albedo médio observado foi de 0,12 para a área em recuperação e 0,20 para a área degradada. O albedo Liang médio foi de 0,13 para a CREC e de 0,19 para a CDEG e o albedo médio Tasumi foi de 0,12 para a CREC e 0,18 para a CDEG. Fica claro, portanto, os maiores valores de albedo para a CDEG, evidenciando que nessa área deve existir uma menor disponibilidade de energia.

Para a CREC não se consegue observar diferenciação nítida nos valores do albedo com relação ao período seco ou chuvoso. Já na CDEG, o dia 169 que corresponde a 18 de junho, apresenta o menor valor albedo com relação aos dias anteriores estudados, tanto com os valores observados como com os estimados a partir das metodologias propostas.

Bezerra et al (2014) em estudo realizado em área de Caatinga, na Unidade de Conservação do Parque Nacional da Furna Feia entre os municípios de Mossoró e Baraúna – RN, encontraram que, em geral, as áreas com cobertura vegetal de Caatinga apresentaram albedo no intervalo de 0,10 a 0,15 e as áreas com cobertura vegetal de Caatinga mais densa no período de estiagem apresentaram valores entre 0,15 e 0,20, devido à perda da parte aérea do dossel foliar. Os autores utilizaram para o estudo seis imagens orbitais do TM/ LANDSAT 5 no período de 2007 a 2010. Borges (2011) encontrou para vegetação natural Caatinga, no município de Mossoró – RN, valores de albedo situando-se entre 0,12 e 0,14 para o instante da passagem do TM/Landsat 5 para os dias 31 de julho e 03 de outubro de 2009, acrescenta ainda que os valores não apresentaram grande variação durante o período de estudo. A partir de dados do sensor MODIS/Aqua, Nicácio (2008) encontrou valores de albedo variando de 0,13 a 0,17 para Caatinga densa e de 0,17 a 0,20 para Caatinga aberta. É importante salientar que a passagem do satélite Aqua ocorre por volta das 13 horas e 45 minutos. O referido autor cita que o albedo da superfície, estimado com o uso do sensor MODIS, apresentou o mesmo padrão de distribuição espacial que o obtido com o sensor TM/Landsat (passagem por volta das 9 horas e 30 minutos), sendo as estimativas mais elevadas a partir do MODIS, provavelmente como reflexo da variação do ângulo de elevação solar. Já com relação a comparação com as medições de campo ocorreu uma superestimativa em torno de 20%. Teixeira et al (2008), a partir de medidas de campo encontraram para Caatinga próxima a cidade de Lagoa Grande no estado de Pernambuco valores mínimos de 0,11 e máximos de 0,17 para o albedo nos anos de 2004 e 2005. Em área de Caatinga no município de Petrolina, Pernambuco, utilizando o albedo estimado a partir do produto pronto MOD43B3, Cunha (2013) observou uma pequena variabilidade sazonal e menores valores de albedo nos meses mais secos. A autora relata que as incertezas nos dados de albedo do MODIS também devem ser consideradas, uma vez que estes dados são

estimados a partir de uma série temporal de 16 dias das observações multiangulares da reflectância, com resolução de 1 km. Ainda no referido trabalho, experimentos de conversão da cobertura da vegetação natural utilizando-se o modelo de superfície IBIS (*Integrated Biosphere Simulator*) levam a conclusão que a conversão da vegetação natural de Caatinga para Caatinga degradada ocasiona aumento do albedo médio anual da superfície de 0,16. Esse resultado corrobora com o presente trabalho, que também revela aumento no albedo médio entre a CREC e CDEG, sendo de 0,08 a partir dos dados das torres, e 0,06 a partir das estimativas Liang e Tasumi.

As distribuições espaciais do albedo da superfície estão mostradas na Figura 2, para alguns dias do estudo.

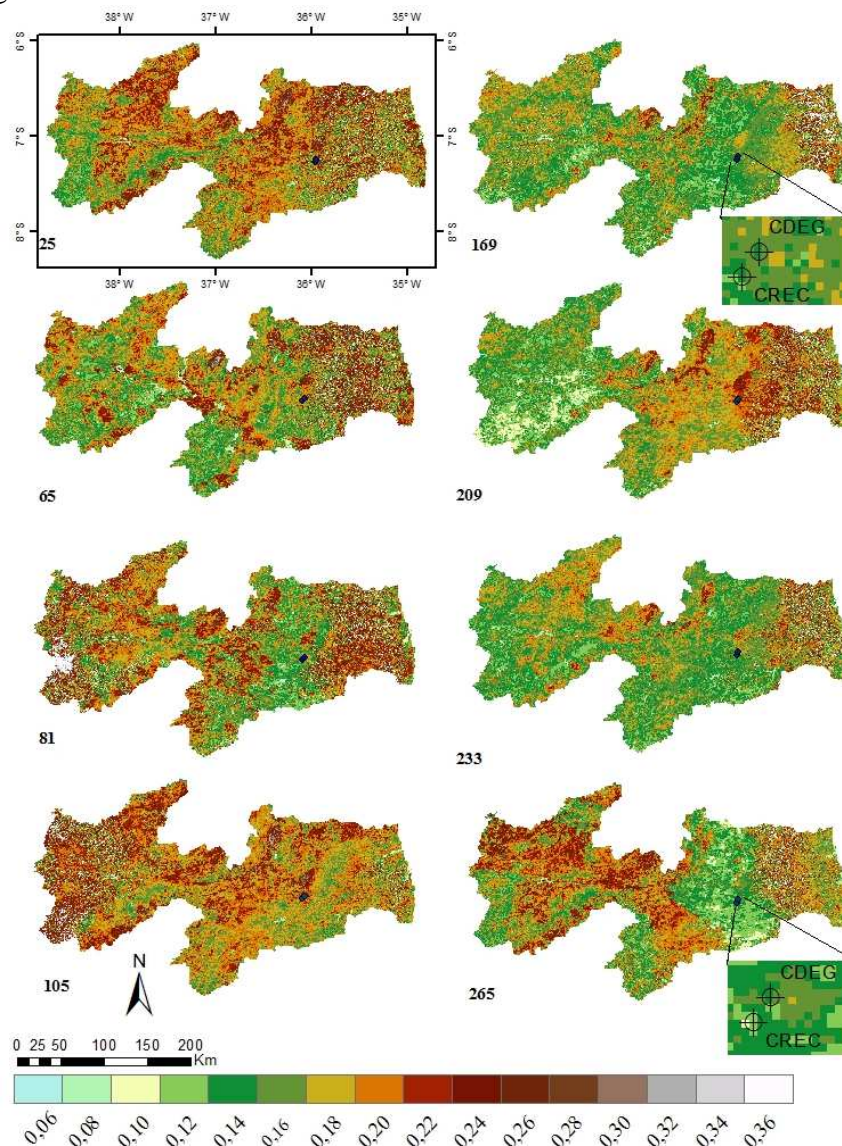


Figura 2: Distribuição espacial do albedo da superfície obtidas através das metodologias Liang para os dias sequenciais 25, 65, 81, 105, 169, 209, 233 e 265. Em destaque os pontos correspondentes às torres micro meteorológicas da área de Caatinga em recuperação - CREC e degradada - CDEG (Projeção: geográfica, Datum: WGS 84).

A área degradada apresentou maiores valores, em comparação com a área em recuperação. Esse resultado, que concorda com o esperado, evidencia que o solo mais exposto, devido à degradação, reflete mais energia devido ao albedo ser elevado.

3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

A variação espacial do NDVI é apresentada na Figura 3, onde constata-se os maiores valores para os dias 169 e 209. A porção nordeste da mesorregião do Agreste, apresenta sempre valores mais altos de NDVI, onde localiza-se a microrregião do Brejo.

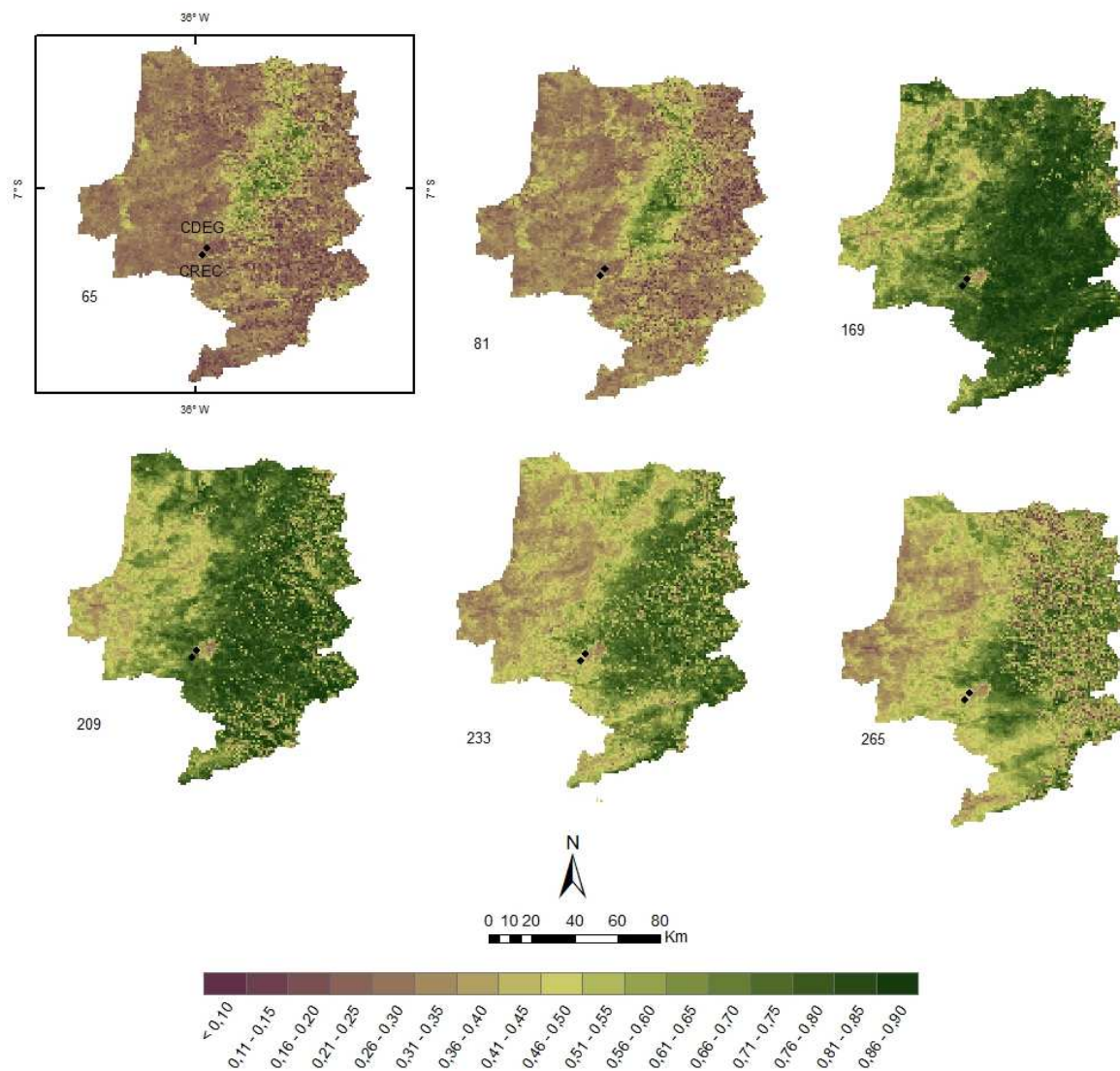


Figura 3: Distribuição espacial do NDVI (Projeção: geográfica, Datum: WGS 84).

Bezerra et al. (2014) encontraram maiores valores de NDVI (0,6 – 0,8), em área de Caatinga densa para as datas 12/07/2008 e 31/07/2009 fato justificado pelos autores supondo-se ser a precipitação a principal causa de modificações em razão da umidade presente no solo. Da mesma forma os menores valores de NDVI (0,2 – 0,3) foram encontrados para áreas de Caatinga rala e solo exposto durante o período seco compreendendo os dias 28/09/2007; 19/12/2008 e 03/10/2009. Os referidos autores ainda citam que são verificados valores mais elevados de NDVI, especificamente no período de inverno, que corresponde à presença de vegetação nativa densa em virtude da elevada produção de biomassa e, opostamente se constata, no período de estiagem, a presença de valores elevados de NDVI em talhões de polo agrícola marcados por fruticultura irrigada.

Araújo (2014) encontrou valores de NDVI médio anual, para os anos de 2002 a 2011 variando de 0,37 a 0,46. Para o presente estudo, o valor médio foi de 0,52, considerando apenas os 16 dias estudados, variando de 0,27 para o período mais seco a 0,85 para o período mais chuvoso.

Na Figura 4 é apresentada a correlação entre o NDVI e a temperatura da superfície, obtida do produto MOD11A2, para o instante da passagem do satélite. Como era de se esperar, as duas variáveis apresentam uma correlação negativa, visto que nas áreas em que o NDVI é maior se tem uma redução na temperatura da superfície devido a maior cobertura do solo. Fato também comprovado observando-se que os valores de NDVI foram maiores na CREC em comparação à CDEG.

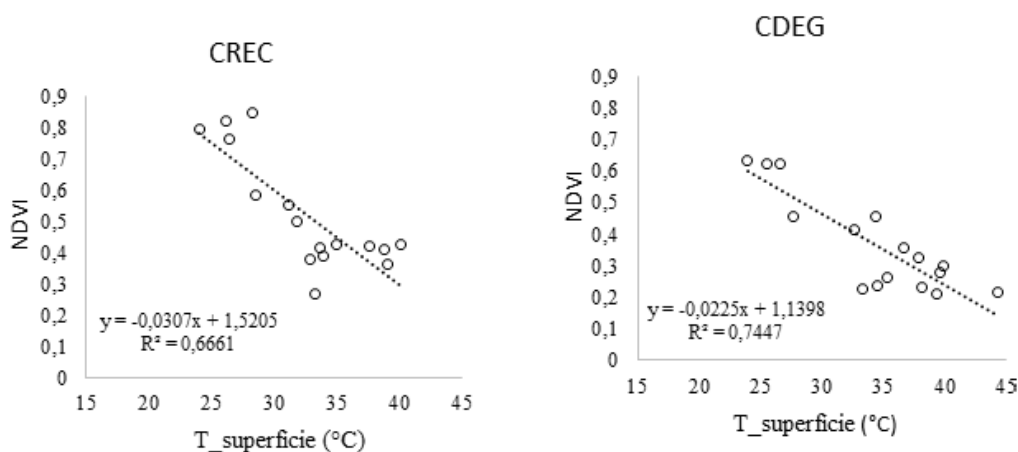


Figura 4: Relação entre NDVI e Temperatura da superfície (°C) para os instantes da passagem do MODIS

4. Conclusões

As variáveis obtidas, para o bioma Caatinga (albedo e NDVI) mostram a importância da preservação do bioma, visto que, os resultados evidenciam uma maior disponibilidade de energia, para realização dos processos físicos, na área com maior quantidade de vegetação (CREC), que apresenta menores valores de albedo e maiores valores de NDVI em comparação com a área degradada (CDEG).

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Projetos: 471497/2012-6, 446172/2015-4 e 301348/2015-4) e pela bolsa de produtividade e pesquisa concedida ao segundo autor, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Projeto Pró-Alertas - 88887.091737/2014-01) pelo apoio financeiro pela bolsa concedida à primeira autora e ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) pelo apoio financeiro e logístico para com este projeto.

Referências Bibliográficas

Araújo, A. L. Operacionalização do balanço de energia e evapotranspiração em escala regional com dados de sensores orbitais. 102f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande Paraíba, 2014.

Bezerra, J. M.; Moura, G. B. de A.; Silva, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. de F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 73–84, 2014

Borges, V. P. **Necessidades hídricas e produtividade de água da cultura do meloeiro irrigado na região de Mossoró – RN**. 2011. 138f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2011.

Clark, D. B.; Xue, Y. Harding, R. J.; Valdes, P. J. Modeling the impact of land surface degradation on the climate of tropical North Africa. **J. Climate**, v.14, 1p. 809–1822, 2001.

Cunha, A. P. M. A.; Alvalá, R. C. S.; Oliveira, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 139 - 152, 2013

Liang, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 213- 238, 2000.

NASA – MODIS. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/>>. Acesso em: 28 de junho de 2015.

Nicácio, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco**. 2008. 337f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Oyama, M. D.; Nobre, C. A. Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: a GCM simulation study. **Journal of Climate**, v. 17, p. 3203–3213, 2004.

Santos, C. A. C. dos; Silva, B. B. Obtenção dos fluxos de energia à superfície utilizando o algoritmo S-SEBI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 365 - 374, 2010.

Santos, F. A. C. **Estimativa dos Fluxos de CO₂ e Evapotranspiração em Áreas de Caatinga em Recuperação e Degradada no Estado da Paraíba**. Campina Grande, 2015. 122 f. Tese (Doutorado em meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande Paraíba, 2015.

Souza, D. C. de; Oyama, M. D. Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 103, p. 345-357, 2011.

Tasumi, M.; Allen, R. G.; Trezza, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, p. 51-63, 2008.

Teixeira, A. H. C.; Bastiaanssen, W. G. M.; Ahmad, M. D.; Moura, M. S. B.; Bos, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 362, p. 110– 127, 2008.

Twine, T. E.; Kucharik, C. J.; Foley, J. A. Effects of Land Cover Change on the Energy and Water Balance of the Mississippi River Basin. **Journal of Hydrometeorology**. v. 5, p. 640-655, 2004.

Velloso, A. L.; Sampaio, E. V. S. B.; Pareyn, F. G. (Ed). **Ecorregiões do bioma Caatinga**. Resultados do Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga – 1ª Etapa. Brasília: The Nature Conservancy/Associação Plantas do Nordeste, 2002. 75 p.