

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



**ESTIMATIVADO BALANÇO DE RADIAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA
DOS ESTADOS DA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE
UTILIZANDO O SENSOR MODIS**

Verônica Gabriella de Oliveira

**CAMPINA GRANDE/PB
FEVEREIRO/2016**

VERÔNICA GABRIELLA DE OLIVEIRA

**ESTIMATIVADO BALANÇO DE RADIAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA
DOS ESTADOS DA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE
UTILIZANDO O SENSOR MODIS**

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: **Agrometeorologia e Micrometeorologia**

Linha de pesquisa: **Sensoriamento Remoto Aplicado**

Orientador: **Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos**

Campina Grande/PB

Fevereiro/2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- O48e Oliveira, Verônica Gabriella de.
Estimativa do balanço de radiação na região semiárida dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte utilizando o sensor MODIS / Verônica Gabriella de Oliveira. – Campina Grande, 2016.
76 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos".
Referências.
1. Saldo de Radiação. 2. Caatinga. 3. Semiáridas. 4. Albedo.
5. MODIS. I. Santos, Carlos Antonio Costa dos. II. Título.
- CDU 551.521.1(043)

VERÔNICA GABRIELLA DE OLIVEIRA

ESTIMATIVA DO BALANÇO DE RADIAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA DOS
ESTADOS DA PARAIBA E RIO GRANDE DO NORTE

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Universidade Federal de Campina Grande


Profa. Dra. FRANCINEIDE AMORIM COSTA SANTOS
Instituto de Formação de Educadores
Universidade Federal do Cariri

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e eternamente a Deus pela graça da vida, por ser meu porto seguro, pela fé, por sempre me dar forças, por me segurar sempre que tentei fraquejar, por sempre está do meu lado, iluminando-me e protegendo-me.

A Nossa Senhora da Luz, minha Santa protetora, iluminando em todos os dias de minha vida.

À melhor MÃE (Lourdes) do mundo, que é a pessoa mais importante e especial da minha vida, que sempre acreditou em mim, uma mãe GUERREIRA que sempre estimulou meus estudos, principalmente nos momentos de dificuldades. A meu pai, por ter me concedido a vida e ser um exemplo de honestidade.

Agradeço a orientação e compreensão do Prof. Carlos Antonio que colaborou de forma fundamental nesse trabalho, acreditando sempre nas coisas que apresentava-lhe, indicando sugestões que contribuíram de forma significativa. Agradeço o carinho, atenção e acolhimento. Obrigada pela oportunidade de aprendizado e a confiança.

Ao meu irmão Vanderlei, homem inteligente, admirável e do coração “maior do mundo”, agradeço por ter desempenhado o papel de pai e por nunca ter medido esforços para ajudar a família.

Agradeço as minhas irmãs Vanuza, Valéria e Rafaela pelo apoio. Ao meu sobrinho, William, que tanto amo, tia Neta. E aos outros membros da minha família.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG, aos integrantes que aceitaram fazer parte da minha banca e a secretária Arilene de Almeida.

Ao CNPq, pela bolsa de Mestrado concedida.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), pelos dados das três torres micrometeorológicas relativos ao ano de 2014.

Agradeço também a Francineide Amorim por suas contribuições.

E aos amigos que ganhei durante a pós, em especial à Adriana, Irene, Nayara, Maryana, Alécio, Leonardo, Milena, Camilla Borges, Lindenberg e Argemiro Lucena. A todos que, de alguma forma, contribuíram e torceram por mim, meu muito obrigado!

Tu, ó Senhor Deus, és tudo o que tenho.

O meu futuro está em Tuas mãos.

Tu diriges a minha vida.

(Salmos 16:5)

A Deus e a minha mãezinha (Maria de Lourdes).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	O semiárido brasileiro onde dominam as Caatingas. Fonte: IBGE (2004).	17
Figura 2-	Localização dos Estados da PB e RN. Em destaques os pontos na cor laranja especificam as localizações das três torres micrometeorológicas.	20
Figura 3-	Localização das mesorregiões dos Estados da PB e RN e os pontos das torres (Serra Negra do Norte-RN e Campina Grande- PB).	21
Figura 4-	Torres micrometeorológicas instaladas nas áreas de Caatinga em recuperação no estado da Paraíba (a) e degradada (b) e (c) área de vegetação de Caatinga preservada no estado do Rio grande do Norte.	24
Figura 5-	Tiles do sensor MODIS. Fonte: NASA (2014).	25
Figura 6-	Médias mensais do albedo da superfície segundo o Método Tasumi para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	31
Figura 7-	Médias mensais do albedo da superfície segundo o Método Tasumi para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	33
Figura 8-	Médias mensais do IVDN para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	35
Figura 9-	Médias mensais do IVDN para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	36
Figura 10-	Médias mensais da T_s para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	39
Figura 11-	Médias mensais da T_s para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	40
Figura 12-	Médias mensais do saldo de radiação (Wm^{-2}) para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	43
Figura 13-	Médias mensais do saldo de radiação (Wm^{-2}) para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-	Características do MODIS a bordo do satélite Terra	15
Quadro 2-	Descrição dos produtos MODIS utilizados nesse estudo	26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda curta incidente estimada – $R_{S\downarrow_estim}$ ($W\ m^{-2}$), Radiação de onda curta incidente medida – $R_{S\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida estimada – $R_{S\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida medida - $R_{S\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga em recuperação na PB para o ano de 2014. 47
- Tabela 2-** Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda longa incidente estimada – $R_{L\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa incidente medida – $R_{L\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida estimada – $R_{L\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida medida – $R_{L\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga em recuperação na PB para o ano de 2014. 49
- Tabela 3-** Valores do IVDN, albedo Tasumi (α_estim), albedo medido pela torre meteorológica (α_med), saldo de radiação estimado (Rn_estim), saldo de radiação medido (Rn_med), temperatura da superfície estimada (T_s_estim) e temperatura da superfície medida (T_s_med), para a Caatinga em recuperação da PB, com os respectivos erros relativos percentuais (%) – ERP. 50
- Tabela 4-** Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda curta incidente estimada – $R_{S\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta incidente medida – $R_{S\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida estimada – $R_{S\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida medida – $R_{S\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga degradada na PB para o ano de 2014. 54
- Tabela 5-** Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda longa incidente estimada – $R_{L\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa incidente medida – $R_{L\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida estimada – $R_{L\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida medida – $R_{L\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga degradada na PB para o ano de 2014. 56
- Tabela 6-** Valores do IVDN, albedo Tasumi (α_estim), albedo medido pela torre meteorológica (α_med), saldo de radiação estimado (Rn_estim), saldo de radiação medido (Rn_med), temperatura da superfície estimada (T_s_estim) e temperatura da superfície medida (T_s_med), para a Caatinga degradada da PB, com os respectivos erros relativos percentuais (%) – ERP. 57
- Tabela 7-** Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda curta incidente estimada – $R_{S\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta incidente medida – $R_{S\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida estimada – $R_{S\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida medida – $R_{S\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga preservada no RN 61

em cada dia sequencial do ano.

- Tabela 8-** Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda longa incidente estimada – $R_{L\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa incidente medida – $R_{L\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida estimada – $R_{L\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida medida – $R_{L\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga preservada no RN em cada dia sequencial do ano. 63
- Tabela 9-** Valores do IVDN, albedo Tasumi (α_estim), albedo medido pela torre meteorológica (α_med), saldo de radiação estimado (Rn_estim), saldo de radiação medido (Rn_med), temperatura da superfície estimada (T_s_estim) e temperatura da superfície medida (T_s_med), para a Caatinga preservada do RN, com os respectivos erros relativos percentuais (%) – ERP. 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CZSC	Coastal Zone Color Scanne
DEM	Digital Elevation Model (em inglês)
DSA	Dia Sequencial do Ano
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMP	Erro Médio Percentual
EOS	Earth Observing System
GSFC	Goddard Space Flight Center
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEB	Nordeste Brasileiro
PAN-Brasil	Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

LISTA DE SÍMBOLOS

R_n	Saldo de radiação instantâneo (Wm^{-2})
$R_{L\downarrow}$	Radiação de onda longa incidente (Wm^{-2})
ϵ_a	Emissividade da aparente da atmosfera
T_s	Temperatura da superfície (K)
$R_{S\downarrow}$	Radiação solar incidente (Wm^{-2})
α	Albedo da superfície
$R_{L\uparrow}$	Radiação de onda longa emitida (Wm^{-2})
$R_{S\uparrow}$	Radiação de onda curta emitida (Wm^{-2})
ϵ_0	Emissividade termal à superfície
T_a	Temperatura da atmosfera (K)
G_{SC}	Constante solar (Wm^{-2})
Θ_{hor}	Ângulo zenital solar
d^2	Quadrado da distância relativa Terra-Sol
τ_{sw}	Transmissividade atmosférica
z	Elevação do pixel (m)
N	Quantidade de dados analisados
P	Pressão atmosférica (kPa)
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
X	Valor observado
X'	Valor estimado

RESUMO

Pesquisas relacionadas às trocas energéticas através dos ecossistemas e a atmosfera são relevantes para a compreensão de como a vegetação funciona sobre o microclima local, entretanto sendo muito escassos quando se referindo à vegetação da Caatinga. O presente trabalho tem por objetivo avaliar os componentes do balanço de radiação a partir de dados de sensores multiespectrais de alta e moderada resolução espacial (MODIS/TERRA) e validar com dados obtidos de torres micrometeorológica sem área de Caatinga em recuperação, degradada e recuperada. Com intuito de estimar o saldo de radiação (R_n) para regiões semiáridas é interessante utilizar o sensoriamento remoto (SR), devido o mesmo não ser frequentemente medido em estações meteorológicas, porque depende da natureza da superfície e, conseqüentemente, sofre grande influência sobre algumas variáveis (albedo e temperatura da superfície). Primeiramente, foram utilizados dados provenientes do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo do satélite Terra referentes ao ano de 2014, cobrindo áreas dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte para estimar o R_n e depois os resultados foram validados com os dados das torres micrometeorológicas. A utilização apenas dados de SR (MODIS/TERRA) constituiu uma proposição útil para a estimativa e espacialização dos componentes do R_n na região semiárida. Os dados medidos em campo são de fundamental importância para a validação de resultados de modelos, por possuir comportamento mais realístico para um local específico. Também foi possível observar um comportamento atípico nos resultados das áreas da PB, onde a área degradada apresentou NDVI maior e albedo menor do que o da área em recuperação, esse comportamento pode estar associado à ausência de precipitação na área em recuperação, e para a estimativa do R_n foi calculado o Erro médio percentual e os resultados foram satisfatórios ficando em torno de 20%.

Palavras-chave: Caatinga; saldo de radiação; semiáridas; MODIS; albedo.

ABSTRACT

Studies related to energy exchange through ecosystems and the atmosphere are relevant to understanding how vegetation runs the local microclimate, however being very scarce when referring to the Caatinga vegetation. This study aims to evaluate the components of the radiation balance from multispectral sensor data of high and moderate spatial resolution (MODIS / TERRA) and validate with data from micrometeorological towers in Caatinga area in recovery, degraded and recovered. In order to estimate the net radiation (R_n) for semi-arid regions it is interesting to use remote sensing (RS), because it does not often be measured at weather stations, because it depends on the nature of the surface and consequently suffers been great influence on some variables (albedo and surface temperature). First, have been used data from the MODIS (MODIS) aboard the Terra satellite for the year 2014, covering the areas of the States of Paraíba and Rio Grande do Norte to estimate the R_n and then the results were validated with data of micrometeorological towers. Use only SR data (MODIS/TERRA) was a useful proposition for estimation and spatial distribution of components of the R_n in the semiarid region. The data measured in the field are of fundamental importance for the validation of model results, by having more realistic behavior for a specific location. It was also possible to observe an unusual behavior in results across PB, where the area degrades presented NDVI larger and albedo smaller than the area of retrieval, this behavior can is associated with the absence of rainfall in the area in recovery, and for estimating the R_n was calculated the average percentage error and the results were satisfactory getting around 20%.

Keywords: Caatinga; radiation; semiarid; MODIS; albedo.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	4
2 - OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GERAL.....	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3.1 BALANÇO DE RADIAÇÃO.....	9
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO E DADOS ORBITAIS.....	10
3.3 O SENSOR MODIS E SEUS PRODUTOS.....	12
3.4 CAATINGA.....	16
4 - MATERIAL E METÓDOS	20
4.1 MATERIAL.....	20
4.1.1 Descrição da área de estudo e período estudado.....	20
4.1.2 Dados.....	23
4.1.3 Processamento dos dados.....	26
4.2 MÉTODOS.....	26
4.2.1 Estimativa do balanço de radiação.....	27
4.3 - ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	30
5 - RESULTADOS E DUSCUSSÃO	31
5.1 COMPONENTES DO SALDO DE RADIAÇÃO.....	31
5.1.1 Comportamentos médios mensais do albedo.....	35
5.1.2 Comportamentos médios mensais do IVDN.....	38
5.1.3 Comportamentos médios mensais da Temperatura da superfície (T _S)..	43
5.1.4 Comportamentos médios mensais do saldo de radiação.....	46
5.2 VALIDAÇÃO DO R _n E SUAS COMPONENTES.....	46
4.5.1 Caatinga em recuperação - PB.....	46
4.5.2 Caatinga degradada- PB.....	53
4.5.3 Caatinga preservada – RN.....	61
6 - CONCLUSÕES	64
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

O clima é sensível às flutuações no balanço ou saldo de radiação (R_n) à superfície da terra, e é regulado por componentes e processos relacionados ao fluxo de radiação solar entre atmosfera e a superfície. Então, a energia solar incidente gera uma dinâmica contínua entre atmosfera e a superfície, representada através do clima. Algum fator que mude a radiação solar incidente ou refletida de volta para o espaço, ou até mesmo que altere a redistribuição de energia dentro da atmosfera e entre a atmosfera e a superfície, interfere no clima. Portanto, monitorar os diferentes componentes da radiação possibilita identificar alterações que venham ocorrer à superfície, e que possam impactar em vários setores, em particular, no clima em diferentes escalas.

Nas últimas décadas discute-se muito sobre alterações climáticas globais, no intuito de explicar questões acerca das reais consequências dos processos antrópicos no clima global. Jensen (2009) defende que as atividades humanas têm causado mudanças no mecanismo de aquecimento radiativo do planeta que se igualam ou excedem às mudanças naturais, essas mudanças provocaram um aumento dos gases de efeito estufa na medida em que anos os avançaram. Ele ainda afirma que se esse aumento for mantido durante o século XXI, pode resultar em um acréscimo acentuado da temperatura média global por década, durante este século.

Atualmente, com o desenvolvimento do sensoriamento remoto orbital (SR) a partir das técnicas de obtenção de imagens aerofotográficas e com o uso de sensores eletromagnéticos instalados em satélites, as possibilidades de obtenção de imagens à longa distância aumentaram consideravelmente, permitindo, inclusive, a observação da superfície da terra em tempo real (BERNHARDSEN, 2001; FERREIRA et al. 2003).

Existem muitas vantagens ao utilizar o SR com o propósito de identificar alterações no uso da terra e as alterações climáticas advindas de tais mudanças. Destaque-se a grande

cobertura espacial, a facilidade de obtenção das imagens e a possibilidade de estimar alguns parâmetros que só seriam obtidos com instrumentos normalmente utilizados em estudos experimentais. As técnicas baseadas em imagens de satélite cobrem grandes extensões terrestres, são relativamente simples de empregar e as imagens são facilmente adquiridas na internet e, na maioria dos casos, são disponibilizadas gratuitamente (SANTOS, 2011).

O SR orbital fornece uma excelente cobertura espacial, e é uma das ferramentas mais promissoras para estimativas de vários parâmetros da superfície, tais como temperatura da superfície, o albedo, o saldo de radiação, evapotranspiração (DIAK e GAUTIER, 1983; GAUTIER et al., 1980; JACOBS et al., 2000; MA et al., 2002). Alguns modelos necessitam de observações feitas em superfície para serem incrementados, por exemplo, o modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) desenvolvido por BASTIAANSEN et al. (1998).

Uma questão de grande relevância consiste em avaliar o balanço radiativo de áreas heterogêneas podendo ser obtido com imagens MODIS com qualidade, já que o R_n não é usualmente medido em estações meteorológicas, pois depende muito da natureza da superfície, sofrendo grande influência do albedo e da temperatura da superfície. Em decorrência desses fatores, as medições de R_n são realizadas com maior frequência em estudos destinados à obtenção dos componentes do balanço de energia (AZEVEDO et al., 2003 e 2007; SILVA et al., 2007; ZHANG et al., 2008).

Conforme Silva et al. (2005), o R_n desempenha um papel fundamental nos processos de troca de calor e massa na baixa troposfera. Os fluxos radiativos são as fontes essenciais que determinam a temperatura, e conseqüentemente influenciam o movimento e circulação do ar o que acaba determinando as condições climáticas em todas as escalas. As características biofísicas relacionadas às propriedades radiativas da superfície (como o albedo) afetam o balanço de energia (CUNHA et al., 2013). Várias pesquisas têm evidenciado que um albedo

elevado como resultado de degradação tem como consequência menos precipitação sobre os continentes tropicais (CLARK et al., 2001).

Cerca de 40% do globo terrestre está ocupado pelas florestas tropicais e subtropicais, entre as quais, 42% de florestas secas, onde se inclui a Caatinga. Essas regiões estão entre os ecossistemas mais explorado e degradado do mundo, devido ao uso intensivo da terra. Caracterizada como floresta arbórea ou arbustiva, a Caatinga é composta de árvores e arbustos baixos com algumas características xerofíticas (PRADO, 2003). Assim como nas diversas matas secas tropicais, a vegetação da Caatinga também é alvo de grande exploração humana, em virtude da atividade agrícola desenvolvida, do extrativismo de madeira e da lenha e do uso da pecuária extensiva.

Conforme assegura Cunha (2013) é importante explorar o Semiárido brasileiro, que é uma das regiões do Brasil mais vulneráveis do ponto de vista social à mudança de clima, como a substituição da vegetação natural da Caatinga, bem como a degradação da mesma, podem causar modificações nos balanços de energia, água e carbono nessa região.

A importância desse estudo é dada pelo fato de que a Caatinga é inúmeras vezes, “julgada” como uma vegetação de pouca ou nenhuma relevância. Essa circunstância pode ocasionar no aumento da degradação e alterações climáticas nesses ecossistemas. Considerando-se que existem poucos estudos nas regiões áridas e semiáridas e influência da vegetação sobre o clima, é fundamental a necessidade por um maior conhecimento sobre o papel exercido pela Caatinga, tanto quanto como outros tipos de cobertura do solo, no equilíbrio energético de tais regiões.

Nesse contexto, a utilização de imagens de satélite apresenta-se como uma alternativa para operacionalizar esses estudos, tendo em vista a praticidade e facilidade de aquisição das imagens. Por existir carência de dados e destes estudos sobre os parâmetros ambientais no ecossistema Caatinga fez-se necessário a realização do presente estudo, sendo o SR a forma

de obtenção desses dados utilizados nas estimativas para posterior comparação com os medidos em campo para fins de validação. Com resultados adquiridos na presente proposta transcorrerão pedidos de conscientização da preservação ambiental, concedendo contribuições aos representantes públicos para as providencias cabíveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOGERAL

O objetivo principal deste estudo é obter os componentes do balanço de radiação, a partir de dados do sensor multiespectrais de moderada resolução espacial (MODIS), no semiárido dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte e compará-los com dados obtidos em estações experimentais de superfície.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estimativa dos componentes do balanço de radiação, utilizando apenas produtos derivados de sensoriamento remoto orbital;
- b) Obter medições em superfícies do balanço de radiação utilizando radiômetros instalados em áreas de Caatinga na região semiárida compreendendo os Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte;
- c) Validar a metodologia utilizada para verificar a sua aplicabilidade em ambientes semiáridos do Nordeste Brasileiro.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BALANÇO DE RADIAÇÃO

O R_n representa a energia disponível aos processos físicos que ocorrem na superfície terrestre. Essa energia é a diferença entre os fluxos totais da radiação incidente e a “perdida” (emitida e/ou refletida) por uma superfície, medida, normalmente, em um plano horizontal. Dessa maneira, ao longo do dia, nas horas de brilho solar, o R_n tende a ser positivo em uma superfície qualquer, pois os fluxos incidentes (global e atmosférico) são superiores às frações refletidas e emitidas. Por outro lado, durante a noite, é comum que esses valores sejam negativos, pois o fluxo incidente passa a ser apenas atmosférico e a energia emitida pela superfície se torna superior a este, resultando em um R_n negativo (MONTEITH e UNSWORTH, 1990; PEZZOPANE et al., 1995).

Como afirma Santos (2011), o balanço de radiação é de extrema importância por possibilitar a quantificação do R_n , que é a principal fonte de energia a diversos processos naturais que ocorrem à superfície do nosso planeta. Em agrometeorologia o mesmo representa a principal fonte de energia responsável pela perda de água por superfícies vegetadas, tornando-se de grande relevância na gestão dos recursos hídricos destinados a agricultura.

A radiação solar é um dos principais fatores que assegura a vida na Terra, ao penetrar na atmosfera essa radiação sofre vários processos de atenuação e absorção que a modificam. Uma fração da radiação incidente é refletida pelas nuvens e espalhada pela atmosfera. Apenas uma parte atinge diretamente a superfície da Terra, enquanto que o restante representa as contribuições difusas e térmicas da atmosfera (OKE, 1987).

Quando a radiação solar penetra na atmosfera passa por uma série de processos que a modificam, parte dessa radiação solar incidente é refletida e outra parte é absorvida. O planeta Terra também emite radiação eletromagnética que ocorre na faixa do infravermelho distante,

pois tanto os objetos terrestres como a atmosfera emitem energia eletromagnética de acordo com as suas temperaturas, então, parte dessa energia é emitida pela superfície terrestre chega ao espaço e parte é absorvida pela atmosfera, acarretando o aumento da temperatura desta e, assim, ampliando a sua reemissão de energia eletromagnética tanto em direção ao espaço quanto em direção à superfície (HARTMANN, 1994).

Outras perdas ocorrem devidas, principalmente, à absorção da radiação solar pelo ozônio e vapor de água, ou seja, apenas parte atinge diretamente a superfície terrestre (OKE, 1987). O estudo da interação da radiação solar entre a atmosfera e uma superfície vegetada é de grande importância para a compreensão dos processos de trocas turbulentas de energia e massa entre a área vegetada (culturas, florestas, pastagens) e a atmosfera (BASTABLE et al., 1993; MARQUES FILHO, 1997). De acordo com (MOLION, 1987) é nas porções equatoriais dos continentes cobertos por florestas que se encontram as principais fontes de aquecimento da atmosfera.

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO E DADOS ORBITAIS

Novo (2010) definiu SR como sendo a utilização integrada de sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem o meio de propagação em suas mais diversas manifestações.

Novo (2010) considera ainda que o aspecto chave dessa definição é o uso de sensores de radiação eletromagnética para se obter conhecimento das propriedades de alvos terrestres. Por outro lado, abrange também a variedade de equipamentos utilizados para coletar,

processar e transmitir os dados em nível sub-orbital, orbital e em outras plataformas, como no nível de campo. Resumidamente, Meneses e Almeida (2012) definiram SR como uma técnica de obtenção de informações dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.

Com o advento do SR, se tornou possível o monitoramento espacial e temporal dos diversos biomas que constituem a superfície do nosso planeta e a identificação, em tempo real, de mudanças que venham a ocorrer nos mesmos, resultantes de processos naturais e/ou antrópicos (BASTIAANSSEN et al., 1998). Ao interagir com a superfície terrestre, a radiação eletromagnética pode sofrer absorção, reflexão e transmissão, dependendo das propriedades desta superfície e do intervalo espectral considerado. Os comprimentos de onda nos quais a radiação é refletida e transmitida são utilizados na identificação dos alvos em SR.

Os sistemas de aquisição de dados de SR, definidos como sistemas sensores, constituem-se de qualquer equipamento capaz de transformar a radiação eletromagnética refletida pelos alvos da superfície terrestre em um sinal passível de ser convertido em informações sobre o meio ambiente (NOVO, 1989). Dentre a grande variedade de equipamentos que apresentam essa capacidade, podem ser destacados os sensores imageadores, os quais fornecem como produto uma imagem da cena observada. Duas variáveis indispensáveis à determinação do Rn utilizando o SR orbital são o albedo (SILVA et al., 2005) e a temperatura da superfície (SOUZA e SILVA, 2005; SOUZA et al., 2008; BEZERRA et al., 2008).

Conforme descreve Novo (1989), os diferentes sistemas sensores são caracterizados pela sua resolução, definida como uma medida da habilidade que o sensor possui de distinguir entre respostas espectralmente semelhantes e espacialmente próximas. Além da resolução espacial que mede a menor separação linear ou angular entre dois objetos da superfície terrestre, os sistemas de varredura instalados em satélites podem ser caracterizados em termos

de sua resolução espectral, que é uma medida da largura das faixas espectrais nas quais o sensor opera; resolução radiométrica, relacionada com a sensibilidade do sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno; e resolução temporal, relativa ao intervalo de tempo entre a aquisição de duas imagens de uma mesma área.

Para Curran (1985), o SR ampliou a capacidade do homem em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente, colocando-se como mais uma ferramenta complementar para facilitar trabalhos temáticos e de levantamentos. A utilização de dados de SR surge como alternativa viável, pois possibilita a estimativa dos componentes do balanço radiativo com vasta cobertura espaço-temporal.

3.3 O SENSOR MODIS E SEUS PRODUTOS

Segundo menciona a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2014) o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é um instrumento desenvolvido pela *Goddard Space Flight Center* (GSFC), com a sua faixa de visualização em 2.330 km de largura, o MODIS vê cada ponto em nosso mundo. Possui também alta resolução temporal, de 1 a 16 dias (JUSTICE et al., 2002) e estão adequadas para a observação da superfície terrestre, nuvens, aerossóis, vapor d'água, perfis de temperatura e incêndios florestais (JENSEN, 2009).

O sensor MODIS está instalado a bordo dos satélites Terra (lançado em dezembro de 1999) e Aqua (lançado em maio de 2002), juntos, os dois instrumentos conseguem adquirir imagens da Terra. O MODIS opera em 36 canais espectrais em comprimentos de onda que variam de 0,4 a 14,4 μm e resolução espacial que varia de 250 a 1.000 metros. O período de revisita é diário para as latitudes acima de 30° e de dois dias para as latitudes inferiores a 30° (NASA, 2014). De acordo com Justice et al., (2002), esse sensor foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos diferentes: atmosfera, oceano e terra.

O MODIS rastreia um amplo conjunto de sinais vitais da Terra, em princípio mais adequado do que qualquer outro sensor disponível no satélite Terra (VERMOTE et al, 1997). Como exemplo, cita-se, a capacidade do sensor de medir a porcentagem da superfície do planeta que é coberta por nuvens quase todos os dias. Esta cobertura espacial ampla permite que o sensor MODIS, juntamente com MISR e CERES, ajude os cientistas a determinar o impacto das nuvens e dos aerossóis no balanço energético da Terra (STRAHLER et al., 1999).

As imagens do MODIS oferecem uma base sistemática de dados na elaboração de produtos sobre as interações entre atmosfera, terra e oceano. É utilizado na medição de propriedades das nuvens, fluxo de energia radiante, propriedades dos aerossóis, mudanças no uso e cobertura das terras, queimadas, atividades vulcânicas, entre outros. Essas imagens estão disponíveis para *download* de forma gratuita no site da NASA, onde já são oferecidas imagens georreferenciadas e corrigidas de efeitos atmosféricos tais como: nuvens aerossóis entre outros (WOLF et al., 2002).

O MODIS é o principal sensor desenvolvido para estes satélites, apresenta, segundo Barker et al. (1992), inúmeras características, entre elas:

- a) Ampla cobertura espacial e espectral;
- b) Continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais, que já estão sendo estimadas por outros satélites, vindo a complementar as informações, já adquiridas por estes. Como exemplo, o conjunto de dados adquiridos pelo *Advanced Very High Resolution Radiometer* AVHRR, usado para a meteorologia e monitoramento da temperatura da superfície do mar, gelo e vegetação; e pelo *Coastal Zone Color Scanner* (CZSC), usado para monitorar a biomassa oceânica e os seus padrões de circulação; e
- c) É a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais.

No Quadro 1, a seguir, é demonstrado um resumo das características das bandas, resoluções do sensor MODIS.

Quadro 1 - Características do MODIS a bordo do satélite Terra.

Banda	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial	Utilidade da Banda
1	0,620 – 0,670	250 x 250 m	Classificação de cobertura da terra, absorção por clorofila, mapeamento do índice de área foliar
2	0,841 – 0,876	250 x 250 m	
3	0,459 – 0,479	500 x 500 m	Propriedades da terra, nuvens e aerossóis
4	0,545 – 0,565	500 x 500 m	
5	1,230 – 1,250	500 x 500 m	
6	1,628 – 1,652	500 x 500 m	
7	2,105 – 2,155	500 x 500 m	
8	0,405 – 0,420	1 x 1 km	Cor dos oceanos, fitoplâncton, biogeoquímica
9	0,438 – 0,448	1 x 1 km	
10	0,483 – 0,493	1 x 1 km	
11	0,526 – 0,536	1 x 1 km	
12	0,546 – 0,556	1 x 1 km	
13	0,662 – 0,672	1 x 1 km	
14	0,673 – 0,683	1 x 1 km	
15	0,743 – 0,753	1 x 1 km	
16	0,862 – 0,877	1 x 1 km	
17	0,890 – 0,920	1 x 1 km	Vapor d' água atmosférico
18	0,931 – 0,941	1 x 1 km	
19	0,915 – 0,965	1 x 1 km	
20	3,600 – 3,840	1 x 1 km	Temperatura de superfície-nuvem
21	3,929 – 3,989	1 x 1 km	
22	3,929 – 3,989	1 x 1 km	
23	4,020 – 4,080	1 x 1 km	
24	4,433 – 4,498	1 x 1 km	Temperatura atmosférica Nuvens cirrus
25	4,482 – 4,549	1 x 1 km	
26	1,360 – 1,390	1 x 1 km	
27	6,535 – 6,895	1 x 1 km	Vapor d' água
28	7,175 – 7,475	1 x 1 km	
29	8,400 – 8,700	1 x 1 km	
30	9,580 – 9,880	1 x 1 km	Ozônio
31	10,780 – 11,280	1 x 1 km	Temperatura de superfície-nuvem
32	11,770 – 12,270	1 x 1 km	
33	13,185 – 13,485	1 x 1 km	Altitude do topo das nuvens
34	13,485 – 13,785	1 x 1 km	
35	13,785 – 14,085	1 x 1 km	
36	14,085 – 14,385	1 x 1 km	

Fonte: Jensen (2009).

Na atualidade, existem 44 produtos de dados que compõem o MODIS, os estudos utilizando esses produtos estão sendo utilizados na ciência por uma variedade de disciplinas, incluindo oceanografia, biologia e ciências atmosféricas. Há muitos produtos de dados

padronizados do MODIS que estão sendo usados por cientistas, ajudando a determinar a quantidade de vapor de água em uma coluna da atmosfera e a distribuição vertical de temperatura e de vapor de água, que são medições cruciais para a compreensão do sistema climático da Terra. Além disso, é ideal para monitorar mudanças em larga escala na biosfera que estão trazendo novos conhecimentos sobre o funcionamento do ciclo de carbono global (NASA, 2015).

A NASA (2015) assegura que o MODIS estima a atividade fotossintética da terra e plantas marinhas (fitoplâncton) para produzir melhores estimativas de quanto dos gases de efeito estufa está sendo absorvidos e utilizados na produtividade da planta. O sensor MODIS juntamente com as medições de temperatura da superfície e as medições da biosfera estão ajudando os cientistas a rastrear as fontes e sumidouros de dióxido de carbono em resposta às mudanças climáticas.

Os produtos MODIS foram satisfazendo às expectativas de inúmeros pesquisadores, e assim muitos estudos/pesquisas têm sido realizados com o propósito de determinar o R_n instantâneo e/ou diário com sensores orbitais. Podem ser destacadas as pesquisas de Ataíde et al. (2006), Tang e Li (2008), Bisht et al. (2010), Santos et al. (2011), Jin et al. (2011), Lima et al. (2012), e Ruhoff et al. (2012), que optaram fazer uso de produtos MODIS em estudos de balanços de radiação e/ou de energia.

3.4 CAATINGA

Genuinamente brasileiro, a Caatinga é o principal ecossistema da região Nordeste do Brasil (NEB). A Caatinga é o bioma menos conhecido do país, já que se realizaram poucas coletas no mesmo, esse ecossistema recobre 11% do território brasileiro e 70% do NEB (EMBRAPA, 2012). A Caatinga ocupa, aproximadamente, a área do semiárido brasileiro

(Figura 1), exceto as zonas de transições onde prevalecem as formações vegetais da Mata Atlântica e do Cerrado.

Segundo o IBGE (2004), a Caatinga está na porção mais seca do NEB, estende-se pelo Ceará, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Piauí e do Rio Grande do Norte, Alagoas e Sergipe, além de pequenas porções de Minas Gerais e do Maranhão. Com uma área de 844.453 km², este bioma é considerado de importância biológica, pois é o único de ocorrência geográfica restrita ao Brasil.



Figura 1- O semiárido brasileiro onde dominam as Caatingas. **Fonte:** IBGE (2004).

A Caatinga apresenta grande diversidade de ambientes e também apresenta muitas espécies endêmicas que são muito importantes para a biologia (PAN-BRASIL, 2005), ainda desconhecidas e/ou não catalogadas (ALVES et al., 2009). Sua variabilidade espacial e temporal na composição e no arranjo de seus componentes botânicos é resposta aos processos de sucessão e de diversos fatores ambientais, onde a densidade de plantas, a composição florística e o potencial do estrato herbáceo variam em função das características de solo, pluviosidade e altitude (BISPO et al., 2010).

De acordo com o IBAMA (2015), a Caatinga é um bioma que inclui diversas formações vegetais, sendo a região semiárida mais populosa do mundo. Estudos de avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre a estabilidade dos biomas predominantes no Brasil (OYAMA e NOBRE, 2003), indicam que a Caatinga está entre os mais vulneráveis num cenário de aumento das temperaturas globais, o que coloca o NEB em Estado especial de alerta, uma vez que a vulnerabilidade da Caatinga aos efeitos das mudanças climáticas representa um forte fator de grande influência para a desertificação na região.

A origem da vegetação da Caatinga tem sido debatida ao longo de muitos anos, mas resultados de estudos recentes sugerem que a Caatinga é parte de uma floresta tropical seca sazonal que ocupou grandes áreas da América do Sul em períodos mais secos e frios durante o Pleistoceno (PENNINGTON et al., 2000, 2004). Atualmente, a Caatinga é considerada o segundo domínio morfoclimático mais degradado do Brasil e um importante centro de biodiversidade (CASTELLETTI et al., 2004; LEAL et al., 2005).

As ameaças à conservação da Caatinga devem-se à prática de atividades como contínuos desmatamentos para estabelecer pastagens e utilização de técnicas de irrigação inadequadas; essas práticas intensificam a desertificação; o assoreamento dos rios e aceleram ainda mais o desgaste do solo (LEAL et al., 2005). Esse tipo de exploração em um ambiente pouco conhecido e complexo poderá levar o mesmo a um processo irreversível de degradação (SANTANA e SOUTO, 2006).

Os padrões morfológicos da vegetação dependem das condições edafoclimáticas locais, podendo apresentar-se com um porte arbóreo e denso, até um subarbustivo aberto. Com frequência, em áreas mais impactadas, a densidade de plantas lenhosas diminui, predominando gramíneas e cactáceas. Um dos fenômenos mais espetaculares da Caatinga é a perda da folhagem da maioria das espécies no período de estiagem e sua exuberante recuperação no período das chuvas (GUIMARÃES, 2009).

Sampaio e Sampaio (1999) ressaltaram que, hoje grande parte da vegetação do Nordeste Semiárido é secundária. O NEB encontra-se hoje com áreas em desenvolvido processo de degradação ambiental e em processo de desertificação (MATALLO Jr., 1999). A Caatinga é também caracterizada por um sistema de chuvas extremamente irregular de ano para ano, o que resulta em secas severas periódicas (KROL et al., 2001; CHIANG e KOUTAVAS, 2004). Essas secas tornam a vida na Caatinga difícil para o sertanejo e determinam mudanças adaptativas na biota da região.

Albuquerque (1999) afirmou que, na Caatinga, nem sempre a degradação é regida pelo antropismo, pois devem ser considerados, também, fatores abióticos como o clima, que tem grande influência sobre a vegetação. Esse autor observou, ao estudar a dinâmica da Caatinga submetida a diferentes intensidades de uso por bovinos, que a mortalidade das espécies arbustivas se deu mais em consequência da seca prolongada ocorrida no período do experimento, do que pela intensidade de uso.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

4.1.1 Descrição da área de estudo e período estudado

Para realização deste estudo foram escolhidas as áreas semiáridas dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, cujo período selecionado para o estudo foi referente ao ano de 2014.

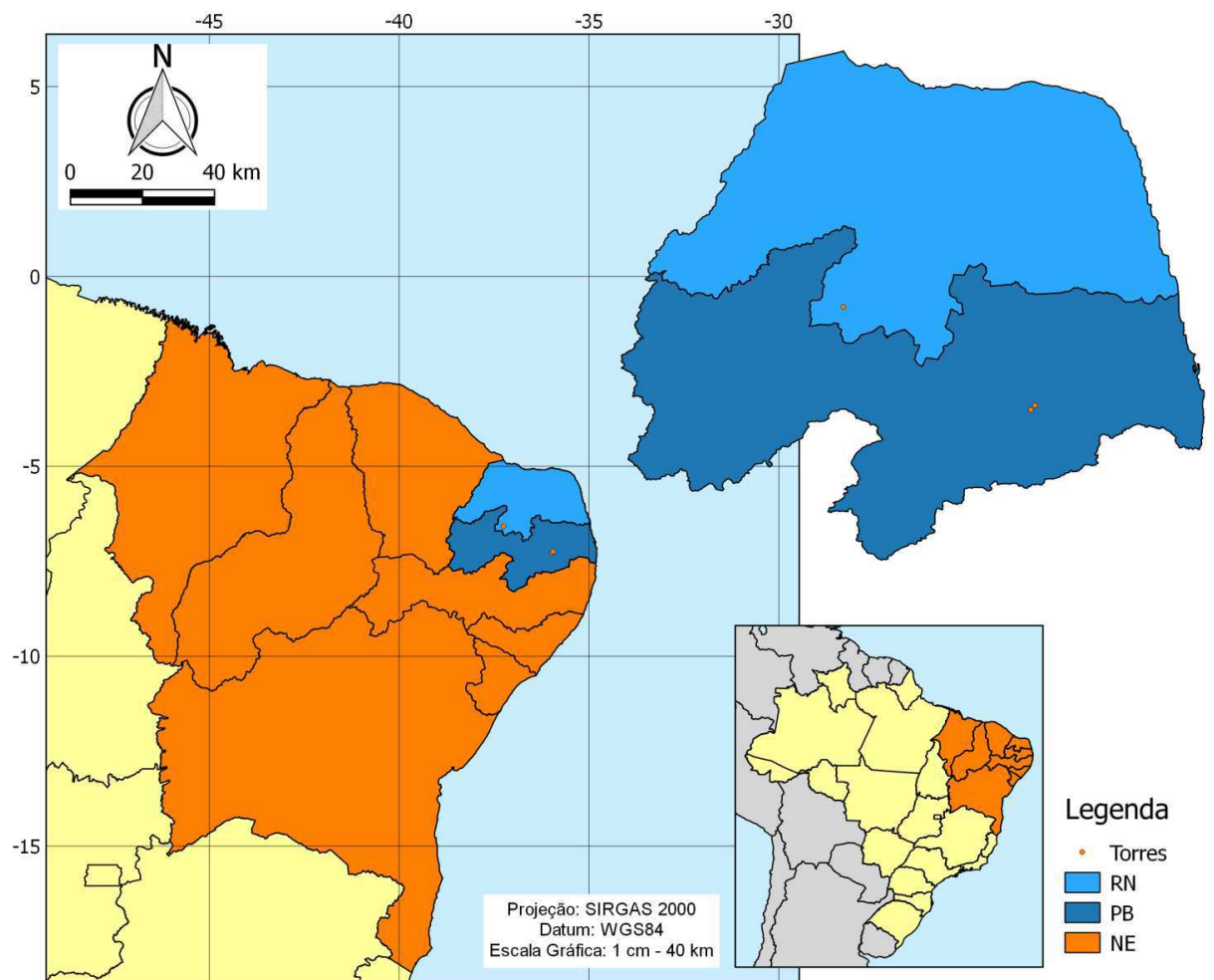


Figura 2 - Localização dos Estados da PB e RN. Em destaques os pontos na cor laranja especificam as localizações das três torres micrometeorológicas.

Na Figura 3 são ilustrados as localizações das mesorregiões dos Estados da PB e RN e os pontos das torres micrometeorológicas (Serra Negra do Norte-RN e Campina Grande- PB).

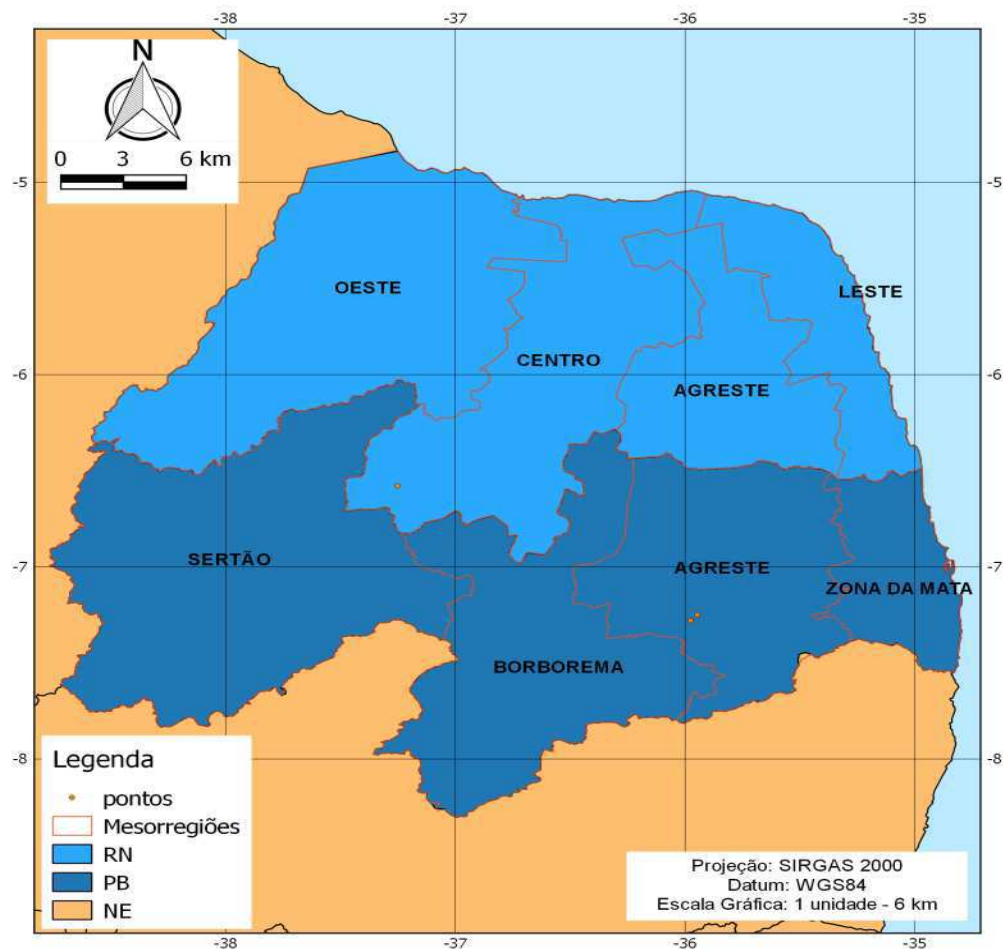


Figura 3 – Localização das mesorregiões dos Estados da PB e RN e os pontos das torres (Serra Negra do Norte-RN e Campina Grande- PB).

A Paraíba possui a quinta menor extensão territorial diante das demais Unidades da Federação, equivalendo a uma superfície de 56.469,744 km², e correspondendo a 3,63% da área do NEB. O Estado da Paraíba, está localizado entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45" de longitude Oeste e entre os paralelos de 6°02'12" e 8°19'18" de latitude Sul. É limitado ao norte, com o Estado do Rio Grande do Norte; a oeste, com o Ceará; ao sul, com Pernambuco, e a leste com o Oceano Atlântico. Possui ao todo 223 Municípios e tem uma população total de 3.972.202 habitantes (IBGE, 2015).

A precipitação pluvial média anual no semiárido do Estado da Paraíba é inferior a 800 mm e, na parte litorânea, os totais anuais podem superar os 1500 mm. A variação espacial da precipitação pluvial no Estado é provocada por diferentes sistemas atmosféricos que atuam na

costa Leste do NEB. No NEB os principais mecanismos causadores de chuvas são os Sistemas Frontais, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que segundo a FUCENE (2002), esse sistema meteorológico é o mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do NEB, e as perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios (MOLION e BERNARDO, 2002).

A Paraíba é o Estado do Nordeste que apresenta uma das maiores variabilidades espacial nas chuvas, e as distribuições anuais e interanual das chuvas nas microrregiões da Paraíba são muito semelhantes àquelas das microrregiões circunvizinhas, apresentando estações chuvosas bem definidas. No verão, além de ser a época mais quente do ano, também é a aquela onde são registrados os maiores índices pluviométricos no Cariri e Sertão da Paraíba, no Agreste de março a maio e na Mata Paraibana de abril a junho (AESA, 2015).

O Rio Grande do Norte limita-se com os Estados do Ceará e da Paraíba, além de ser banhado pelo oceano Atlântico. Sua extensão territorial é de 52.811,126 km², divididos em 167 municípios. Conforme dados do Censo Demográfico, realizado pelo IBGE (2015), a população estadual totaliza 3.442.175 habitantes. O relevo é formado por planície litorânea, com depressão na maior parte, e planaltos ao sul. A vegetação apresenta áreas de mangue no litoral, faixa de floresta tropical e caatinga a oeste. O litoral e a porção oeste têm clima tropical; já o centro é semiárido.

De acordo com Araújo et al. (2008), os dois principais sistemas meteorológicos atuantes no RN são os Distúrbios de Leste que atuam no período de maio a agosto. Seu deslocamento é de leste para oeste até atingir o continente adentro. São comuns na maioria dos anos, só que sua intensidade depende da temperatura da superfície do Mar (TSM), do cisalhamento do vento e dos efeitos da orografia e da circulação de brisa marítima e terrestre, de forma que intensificam ou dissipam esse tipo de sistema, e a ZCIT é formada pela junção

dos ventos alísios de nordeste e os ventos alísios de sudeste, resultando em movimento ascendente do ar com alto teor de vapor d'água. Ao subir, o ar se resfria, dando origem às nuvens. É considerado o principal sistema produtor de chuva no norte do NEB, atuando de fevereiro a maio, no oeste do Rio Grande do Norte e interior da Paraíba.

No Estado do Rio Grande do Norte, verifica-se uma distribuição espaço-temporal de chuvas bastante peculiar. No litoral a precipitação máxima ocorre em junho. Na parte central, o Seridó, que é uma região típica de semiárido sofre com secas prolongadas, o mês de maior precipitação é março. Na faixa oeste, que faz parte do semiárido, o máximo de precipitação também ocorre em março; porém, apresenta algumas características de clima tropical úmido e, portanto, registra chuvas mais regulares e abundantes que o Seridó (EMPARN, 2015).

Um dos resultados discutidos no último relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (AR4 - IPCC, 2007) foi sobre a possível transformação do semiárido nordestino em semideserto nos próximos 60 anos. Se de fato isso ocorrer a PB e o RN serão muito afetados, pois apresentam cerca de 90% de seu território com características de clima semiárido.

No Rio Grande do Norte, a vegetação da região do Seridó tem sido identificada como um dos tipos de Caatinga, nas classificações, tem sido descrita como uma vegetação aberta, formando parques e facultando o trânsito por toda a parte, com o solo coberto de relva áspera e com plantas arbustivas e arbóreas atrofiadas e esparsas (ANDRADE-LIMA 1981).

4.1.2 Dados

Os dados diários de superfície usados correspondem ao banco de dados do ano de 2014, e foram empregados na validação do saldo de radiação, estimado com base nas imagens geradas pelo sensor MODIS a bordo do satélite Terra, os dados foram obtidos das três torres micrometeorológicas, instaladas em três áreas, sendo (a) e (b) no Agreste da Paraíba no

município de Campina Grande, nas imediações do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), e a (c) no município de Serra Negra do Norte-RN (Figura 4).

Essas torres micrometeorológicas estão situadas nas coordenadas ($7^{\circ}16'47.8''$ S; $35^{\circ}58'30.3''$ W; 489 m) para (a) área de vegetação de Caatinga em recuperação, ($7^{\circ}14'57.4''$ S; $35^{\circ}56'52.8''$ W; 493 m) para (b) área de vegetação de Caatinga degradada, e ($6^{\circ}34'46.8''$ S; $37^{\circ}14'55.9''$ W; 193 m) para (c) área de vegetação de Caatinga preservada; os sensores estão instalados da seguinte forma: 8 m acima da superfície, e os do solo estão a 2 cm e 5 cm. Os dados de superfície foram fornecidos pelo INSA.



Figura 4 - Torres micrometeorológicas instaladas nas áreas de Caatinga em recuperação no estado da Paraíba (a) e degradada (b) e (c) área de vegetação de Caatinga preservada no estado do Rio grande do Norte.

Os dados MODIS/Terra utilizados neste trabalho foram adquiridos por meio da plataforma *Reverb* (<http://reverb.echo.nasa.gov/>) disponibilizada pela agência EOSDIS (*Earth Observing System Data and Information System*) pertencente à NASA. Na página inicial dessa plataforma é possível visualizar toda área por onde o MODIS faz varreduras, e assim é possível selecionar a região de estudo, como mostrado na Figura 5, e inserir os critérios da pesquisa para obtenção dos produtos disponíveis de acordo com seu interesse.

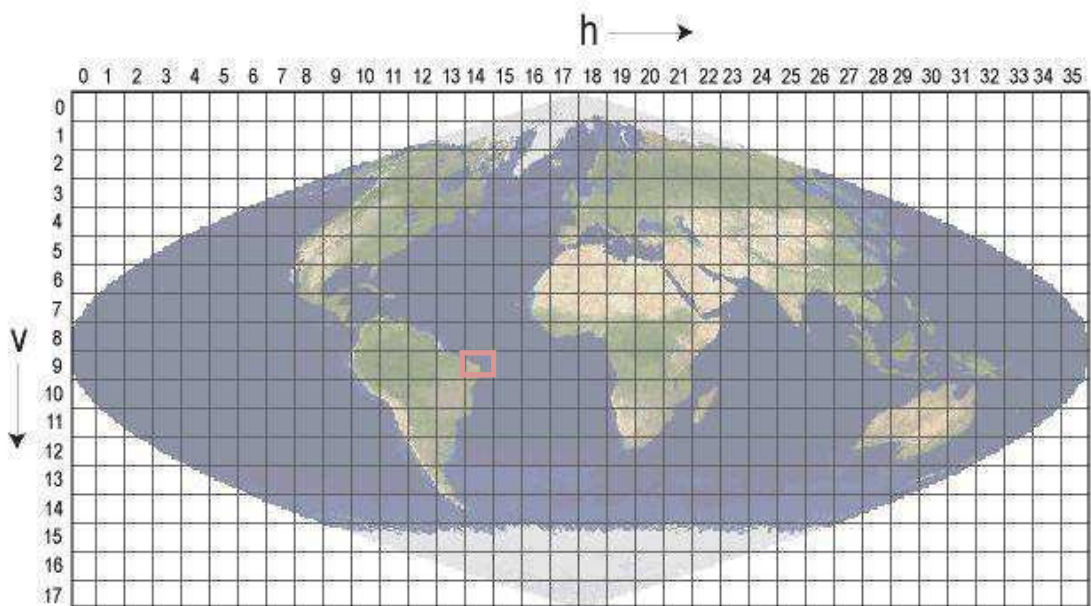


Figura 5 - Tiles do sensor MODIS. **Fonte:** NASA (2014).

Esses produtos são encontrados sistematicamente organizados e projetados, divididos em mosaicos que recebem a denominação de “*tiles*”. Os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte estão inseridos no *tile* h14v09, como é mostrado em destaque pela Figura 5. Todos os produtos do sensor MODIS são calibrados e corrigidos atmosféricamente antes de serem fornecidos aos centros de distribuições.

Para os resultados foram utilizadas imagens correspondentes ao período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2014 com base nos produtos de *8-day* (produto gerado a cada 8 dias com os melhores pixels do período). Os produtos MODIS utilizados neste estudo encontram-se detalhados no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Descrição dos produtos MODIS a serem utilizados nesse estudo.

Produto	Descrição	Fator Multiplicativo	Fator adicional	Resolução (espacial e temporal)	Unidades
MOD11A2	Temperatura da Superfície	0,02	-		Kelvin
	Emissividade das bandas 31 e 32	0,002	0,490	1000 m 8 dias	Adimensional
	Hora da passagem dosatélite	0,1			Hora
MOD09A1	Refletância da Superfície	0,0001	-	500 m 8 dias	Kelvin
	Angulo zenital solar	0,01		1000 m 8 dias	Grau
	Dia sequencial do ano (DSA)	-	-	1000 m 8 dias	Dia Juliano

Fonte: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

4.1.3 Processamento dos dados

Todas as etapas envolvidas no processo de estimativa do balanço de radiação em estudo foram realizadas através da ferramenta *Model Maker* do programa Erdas Imagine na versão 9.1, onde o mesmo possui avançadas ferramentas para modelagem espacial e tratamento de novas informações, além de recursos de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

4.2 MÉTODOS

Nesse tópico será abordada a metodologia utilizada a fim de estimar os componentes do balanço de radiação, para a região estudada. Serão utilizados dados do sensor multiespectral MODIS, o qual tem sido considerado eficaz para estimar R_n fornecendo uma boa alternativa para estudar o balanço de energia da superfície da terra.

4.2.1 Estimativa do balanço de radiação

O balanço de radiação à superfície

O balanço de radiação para o momento de passagem do sensor MODIS foi estimado com base na Equação 1:

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

em que R_n é o saldo de radiação, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente (Wm^{-2}); α é o albedo da superfície; $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa incidente ou recebida pela atmosfera (Wm^{-2}); e $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela superfície para o espaço e ε_0 a emissividade termal à superfície (adimensional). O termo $(1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow}$ representa a fração da radiação de onda longa incidente que é refletida pela superfície.

Estimativa do fluxo de radiação

Fluxo de radiação de onda curta incidente

A radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) é a radiação recebida diretamente ou indiretamente do Sol na superfície da Terra por unidade de tempo e por unidade de área, integrada sobre todos os comprimentos de onda no intervalo de ondas curtas. A $R_{s\downarrow}$, como radiação direta e difusa na superfície da Terra (Wm^{-2}), representa a principal fonte de energia para a evapotranspiração (ET) e é dada por:

$$R_{s\downarrow} = \frac{G_{sc} \cdot \cos\theta_{hor} \cdot \tau_{sw}}{d^2} \quad (2)$$

Nesta equação, G_{sc} é a constante solar (1367 Wm^{-2}), θ_{hor} é o ângulo zenital solar para superfície horizontal obtido através da banda do produto MOD09, o d^2 é o quadrado da distância relativa Terra-Sol e τ_{sw} transmissividade atmosférica (adimensional).

A transmissividade τ_{sw} foi calculada de forma simples com auxílio do modelo de elevação digital (DEM – *Digital Elevation Model*) pela equação de ALLEN et al., (1998):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5}z \quad (3)$$

em que z representa a altitude de capa pixel, que foi obtido do modelo DEM, gerado pelo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), junto ao site <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/conteudo/relevo/metodo.htm>.

O parâmetro d^2 (distância relativa Terra-Sol) foi calculado em função do dia sequencial do ano (DSA), obtido segundo Duffie e Beckman (1991):

$$d^2 = \frac{1}{1+0,033 \cos(DSA \cdot 2\pi/365)} \quad (4)$$

com o DSA= dia sequencial do ano. O valor do DSA para cada pixel foi utilizado do produto MOD09A1.

Albedo da superfície

O albedo da superfície (α) tem como definição a razão entre a radiação refletida e a incidente no domínio da radiação de ondas curtas, é uma medida indireta da energia solar pela superfície. Para o cômputo do albedo conforme a metodologia descrita em Tasumi et al. (2008), utilizou-se a equação:

$$\alpha_{\tau} = \sum_{b=1}^n (p_{s,b} w_b) \quad (5)$$

em que 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 2; n é o número de bandas correspondente e $p_{s,b}$ é a refletância espectral à superfície, obtida do produto MOD09A.

Valores da constante W_b para o sensor MODIS.

Coefficiente	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

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

IVDN é um índice utilizado principalmente em estudos de cunho ambiental, que nos permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada região. O IVDN foi obtido através da relação entre as reflectividades das bandas 1 e 2 do Terra/MODIS, que correspondem às bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente:

$$IVDN = \frac{\rho_{t,2} - \rho_{t,1}}{\rho_{t,2} + \rho_{t,1}} \quad (6)$$

Fluxo de radiação de onda longa emitida

A radiação de onda longa emitida pela superfície $R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) é obtida a partir da temperatura e da emissividade da superfície segundo a lei de Stefan-Boltzmann:

$$R_{L\uparrow} = \sigma \varepsilon_0 T_s^4 \quad (7)$$

em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$), ε_0 é a emissividade da superfície e T_s (K) representa a temperatura da superfície, obtidos do produto MOD11 que fornece a temperatura da superfície terrestre diariamente. A emissividade da superfície foi considerada igual à média aritmética das bandas 31 e 32, disponíveis no produto MOD11A2, conforme proposto por Bisht et al. (2005).

Fluxo de radiação de onda longa incidente

A radiação de onda longa incidente ($R_{L\downarrow}$) é a radiação recebida a partir da atmosfera por unidade de tempo e por unidade de área. Quando o efeito das nuvens é ignorado, pode ser

integrada em todos os comprimentos de onda no intervalo de onda longa, e foi calculada por meio da equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (8)$$

em que ε_a é a emissividade atmosférica e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e T_a é a temperatura do ar próxima à superfície.

A estimativa da T_a foi realizada de acordo com o método utilizado por Araújo (2014). A proposta é que a temperatura da superfície T_S de cada pixel da imagem pode ser utilizada no lugar da T_a , sugerindo que a $R_{L\downarrow}$ varia proporcionalmente à T_S . Em outras aplicações, pode-se utilizar um valor fixo de T_a para toda a cena, considerando no caso $R_{L\downarrow}$ constante em toda a imagem, com T_a igual à T_S do pixel frio (ALLEN et al., 2007).

Uma equação empírica para ε_a desenvolvida por Bastiaanssen (1995) pode ser aplicada para o Nordeste Brasileiro utilizando os coeficientes propostos por Araújo et al. (2012), qual seja:

$$\varepsilon_a = 0,9565(-\ln\tau_{sw})^{0,1362} \quad (9)$$

4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a análise dos resultados utilizou-se o Erro Médio Percentual - EMP, representado pela expressão:

$$EMP = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{X'_i - X_i}{X_i} \right] \quad (10)$$

em que X corresponde ao valor observado, X' ao valor estimado e N a quantidade de dados analisados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPONENTES DO SALDO DE RADIAÇÃO

5.1.1 Comportamentos médios mensais do albedo

A Figura 6 ilustra a distribuição espacial do albedo para a PB e RN, dando ênfase aos municípios de Campina Grande e Serra Negra do Norte, onde foram realizadas análises mais detalhadas, em virtude das três torres micrometeorológicas experimentais para validação dos resultados desta pesquisa estarem inseridas nestes locais.

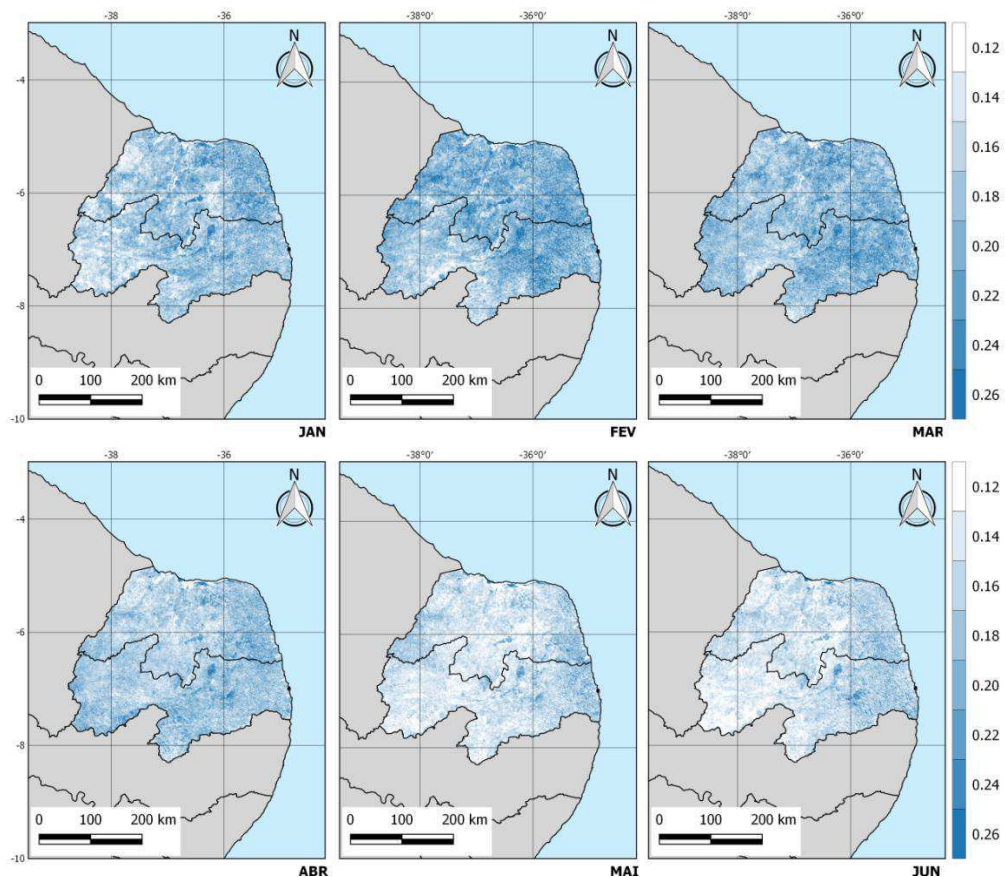


Figura 6 - Médias mensais do albedo da superfície segundo o Método Tasumi para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

Nas cartas de albedo, verifica-se o comportamento médio mensal, para o ano de 2014 dos Estados da PB e RN. No primeiro trimestre, que corresponde aos meses de janeiro (JAN), fevereiro (FEV) e março (MAR), é possível verificar que os valores de albedo encontrados foram bem elevados, em ambos os Estados. Pode-se observar também que o albedo para esse primeiro trimestre possui um comportamento semelhante entre si, e apenas para JAN encontramos valores de albedo variando de 12% a 24%. Em geral observou-se que os maiores valores foram encontrados para FEV e MAR e mantiveram-se em torno de 22% e 24% em ambos os Estados. Já com relação a abril (ABR), maio (MAI) e junho (JUN) é possível notar que os valores de albedos foram menores comparando-se ao primeiro trimestre do ano de 2014, para o mês de ABR foram encontrados valores de albedo em torno de 20%, e para MAI e JUN os valores decresceram nos dois Estados por completo, onde foram registrado valores de albedo referente a 12%.

Na Figura 7 ilustra a distribuição espacial do albedo de julho (JUL) a DEZ (dezembro) para a PB e RN. Com relação a julho (JUL), agosto (AGO) e setembro (SET), os menores valores de albedos (12%) foram situados no sertão paraibano e os maiores valores desse trimestre situam-se em SET na Mata Paraibana, Agreste Potiguar e Leste Potiguar.

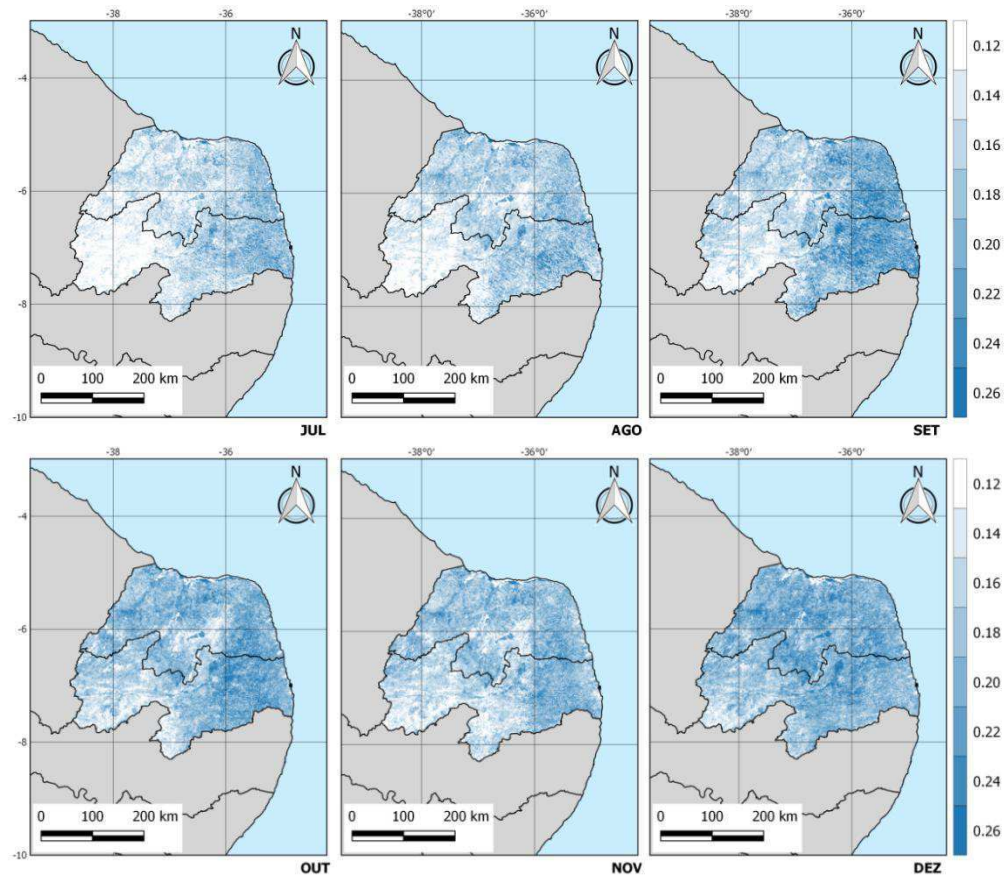


Figura 7 - Médias mensais do albedo da superfície segundo o Método Tasumi para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

E com relação ao último trimestre (outubro (OUT), novembro (NOV) e dezembro (DEZ)) prevalece os valores de albedo da ordem de 24%, e em NOV para a PB a variação de menor ordem do albedo foi de 14% a 20%, localizando-se especificamente na Mata Paraibana, e no RN os menores valores de albedo foram observado na região do Agreste Potiguar. Desta forma, é possível afirmar que as respostas da vegetação e da umidade do solo influenciaram de forma que, os menores registros de albedo foram detectados na época de inverno, que é o período onde a superfície reflete menos, e no verão apresentou os maiores valores de albedo, pelo motivo de que nessa estação do ano a superfície reflete mais radiação.

Bezerra et al. (2014) realizaram um estudo em área de Caatinga utilizando imagens orbitais do TM/LANDSAT 5 no período de 2007 a 2010, na Unidade de Conservação do Parque Nacional da Fuma 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, em consequência à perda da parte aérea do dossel foliar. Borges (2011) obteve para vegetação natural Caatinga, no município de Mossoró – RN, valores de albedo 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, e inclui que os valores não apresentaram grande variação durante o período de estudo.

De um modo geral identificam-se classes de albedo variando de 12 a 26% e, em dois alvos específicos em parte do Curimataú e Agreste (Campina Grande), localizados na PB foi possível identificar que para todos os meses detectaram-se valores altos de albedo que ficaram em torno de 0,24. É possível verificar que as distribuições espaciais do albedo da superfície, para o período estudado, na área degradada para alguns dias apresentaram maiores valores, ao ser comparado com os valores da área em recuperação. Esse resultado corresponde com o esperado, e comprova que o solo mais exposto, devido à degradação, reflete mais radiação devido ao albedo ser elevado.

No computo do albedo utilizando o produto MOD09-A1, surgiram valores superiores a 24% nas localidades onde as torres da PB estão instaladas, em praticamente todos os dias estudados, provavelmente em virtude de maiores incidências de nuvens na imagem, já que o produto MOD09-A1 não é um produto unicamente de albedo, e sua resolução temporal é de 8 dias. E com relação à estimativa do albedo para a localidade da torre do RN, os valores de albedo mantiveram-se mais baixos do que na PB em todos os dias estudados.

Santos (2015) realizou um estudo também para áreas de Caatinga em recuperação e degradada no Estado da PB do presente trabalho, para o ano de 2013 utilizando o MODIS, e foi estimado o albedo médio através do método de Tasumi, verificando o valor de 0,12 para as áreas de Caatinga em recuperação e 0,18 para a degradada. Os resultados corroboram com o presente estudo, com os maiores valores de albedo para as áreas de Caatinga degradada.

Costa (2015) realizou um estudo utilizando para o ano de 2013 o albedo calculado pelo produto MOD09A1, surgiram valores superiores a 30% em praticamente todos os dias estudados, e concluiu que isso ocorre devido a maiores incidências de nuvens na imagem, pois o produto MOD09A1 é um produto de reflectância, isto é, não é um produto exclusivo de albedo, e sua resolução temporal é de 8 dias.

5.1.2 Comportamentos médios mensais do IVDN

A variação espacial do IVDN é verificada na Figura 8, onde pode-se observar o comportamento médio mensal no período de 2014 para as regiões da PB e RN.

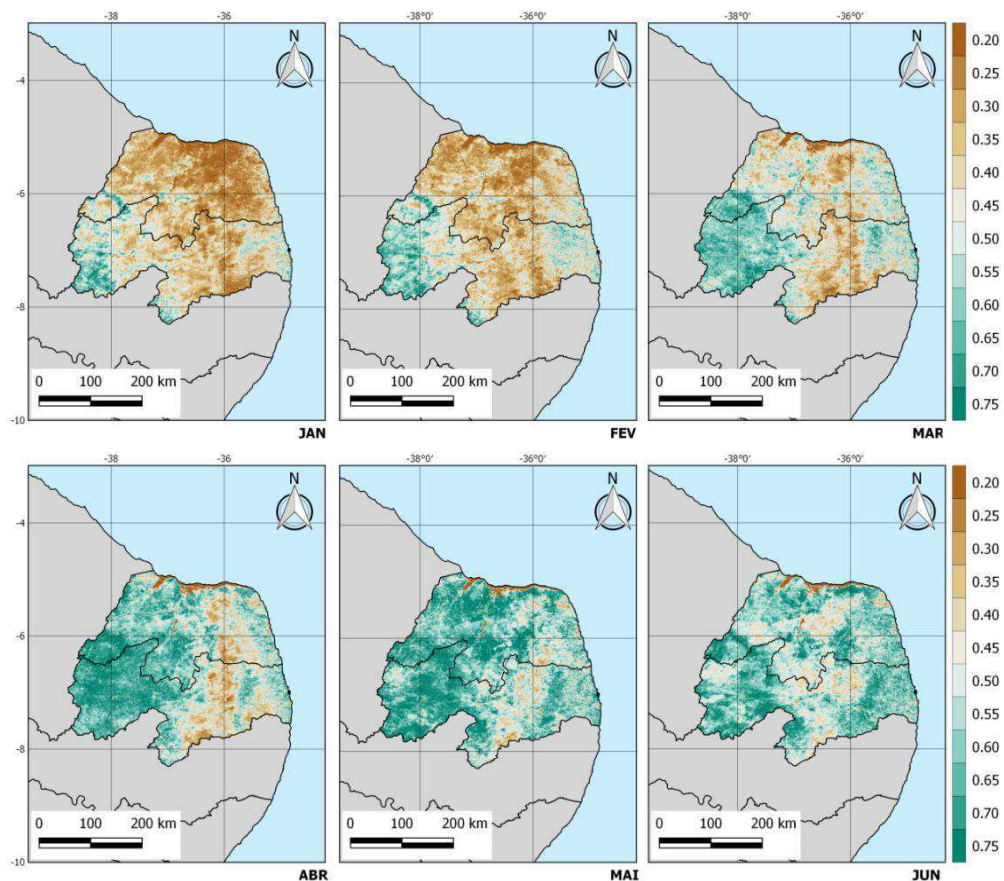


Figura 8 - Médias mensais do IVDN para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

Observa que JAN e FEV apresentaram um perfil semelhante, ou seja, os menores valores de IVDN estão focados o Centro até o Leste Potiguar e Agreste Paraibano, e os maiores valores de IVDN de ordem 0,65 foram encontrados no Sertão Paraibano, Borborema, e em uma pequena parte do Oeste Potiguar. Com relação ao mês de MAR para o RN é notório que os valores de IVDN aumentaram se comparados aos valores de JAN e FEV, e para a PB com exceção de uma parte do Agreste Paraibano, todas as outras mesorregiões foram caracterizados por valores elevados de IVDN atingindo valores de 0,70 e 0,75. No segundo trimestre os valores menores de IVDN são observados no Agreste Paraibano e Agreste Potiguar, já os maiores valores ocuparam as demais áreas da cena.

De acordo com a figura 9 verifica-se a variação espacial do IVDN, onde pode-se observar o comportamento médio mensal no período de julho a dezembro de 2014 para as regiões da PB e RN.

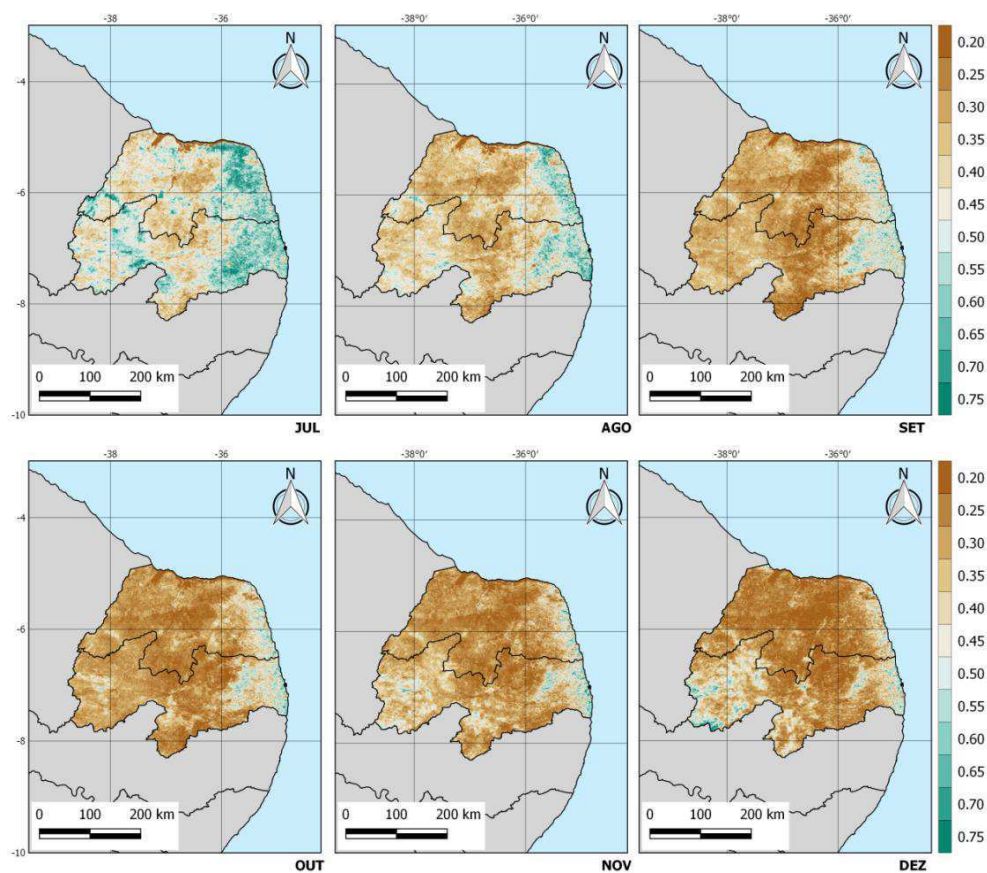


Figura 9 - Médias mensais do IVDN para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

Analisando o penúltimo trimestre que equivale a JUL, AGO e SET é possível verificar que o padrão da distribuição de valores do IVDN é diferente em todos os meses. Com relação ao mês JUL para o RN percebe-se que na maior parte do Estado prevaleceu valores baixos de IVDN, apenas em uma parte do Agreste Potiguar e no Leste Potiguar atingiram valores por volta de 0,60 a 0,75. Para a PB esse mesmo índice se mostrou variando de 0,30 a 0,75 no Sertão Paraibano e no Agreste Paraibano na Borborema valores situaram-se entre 0,30 a 0,35, já a Mata Paraibana apresentou índices de vegetação entre 0,60 e 0,70.

Analisando o mapa referente à AGO no RN, todo o Estado apresentou valores baixos de IVDN oscilando de 0,20 a 0,35, com exceção do Leste Potiguar que apresentou valores altos de IVDN. Com relação a PB temos um comportamento semelhante, onde na Mata Paraibana detectou-se valores altos de índice de vegetação em torno de 0,60 e 0,65 e o restante do Estado valores oscilando de 0,45 a 0,30. Um perfil bem semelhante foi encontrado para o mês de SET, no qual os maiores valores de IVDN foram localizados para o Leste Potiguar e a Mata Paraibana que marcaram de 0,50 a 0,60, e para os restantes dos Estados foram encontrados valores aproximadamente de 0,20 a 0,35. No último trimestre foram detectados os menores valores de IVDN em termos de valores e espacialmente. Em ambos os Estados, foram encontrados valores baixos (0,20 a 0,35) de IVDN, e para o Leste Potiguar e Mata Paraibana foram registrados valores de 0,50 a 0,60. Ao comparar esse trimestre com os demais meses, pode-se afirmar que, houve um decréscimo dos valores de índices de vegetação para o ano de 2014. Esse trimestre representa a transição entre o período anterior e o período seco do trimestre subsequente.

Para o presente estudo, o valor médio foi de aproximadamente 0,48, considerando todas as imagens do ano de 2014, variando de 0,25- 0,35 para o período mais seco a 0,70-0,75 para o período mais chuvoso de Campina Grande- PB.

Constata-se que, para o RN e a PB os maiores valores de IVDN que foram estimados encontram-se representados nas cartas referentes aos meses de ABR, MAI e JUN, e os menores valores de SET a DEZ. Na observação realizada para as localidades da PB foi possível detectar que os maiores valores de IVDN estão registrados no período de maio a junho, incluindo-se na época onde a vegetação apresentou melhores condições hídricas que foi de maio a agosto, segundo o monitoramento da AESA (2014). O IVDN é um indicador sensível da quantidade e vigor da vegetação verde, e o comportamento do mesmo estão diretamente relacionados com as precipitações e queimadas.

No estudo realizado para os anos de 2002 a 2011 para o Ceará, Araújo (2014) encontrou valores de IVDN médio anual com variações de 0,37 a 0,46. Santos (2015) na realização de pesquisa em áreas de caatinga em recuperação e degradada no Estado da PB, encontrou o valor médio foi de 0,52, considerando apenas os 16 dias estudados, variando de aproximadamente 0,27 para o período mais seco a cerca 0,85 para o período mais chuvoso, neste trabalho de Santos não foram avaliados máximos e mínimos para toda a cena em nenhuma imagem, foi considerado apenas as áreas onde estão instaladas as torres. No estudo atual, o valor médio mensal foi de 0,475, tendo variação de 0,20 a 0,75 ao longo dos trimestres.

5.1.3 Comportamentos médios mensais da Temperatura da superfície (T_s)

Na figura 10 é verifica-se o comportamento das variações espaciais médias mensais da T_s , para o ano de 2014, obtido por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN. No esboço dos mapas de T_s são ilustrados em pontos pretos (ND) os valores iguais à zero, ou seja, correspondentes aos pixels que foram filtrados pelo produto MOD11. Observando as cartas de T_s , correspondentes ao primeiro trimestre (JAN, FEV e MAR) do ano, os registros de temperaturas médias mensais em 2014 variaram de 25°C até valores

superiores a 30 °C, para os dois Estados esse comportamento foi para JAN e FEV que são os meses que também correspondem ao verão. E com relação à variação espacial do mês de MAR as temperaturas da PB são marcadas por se manterem constantes, registrando valores da ordem de 25 °C para todo o Estado, e no RN registrou valores de até 39 °C em regiões específicas.

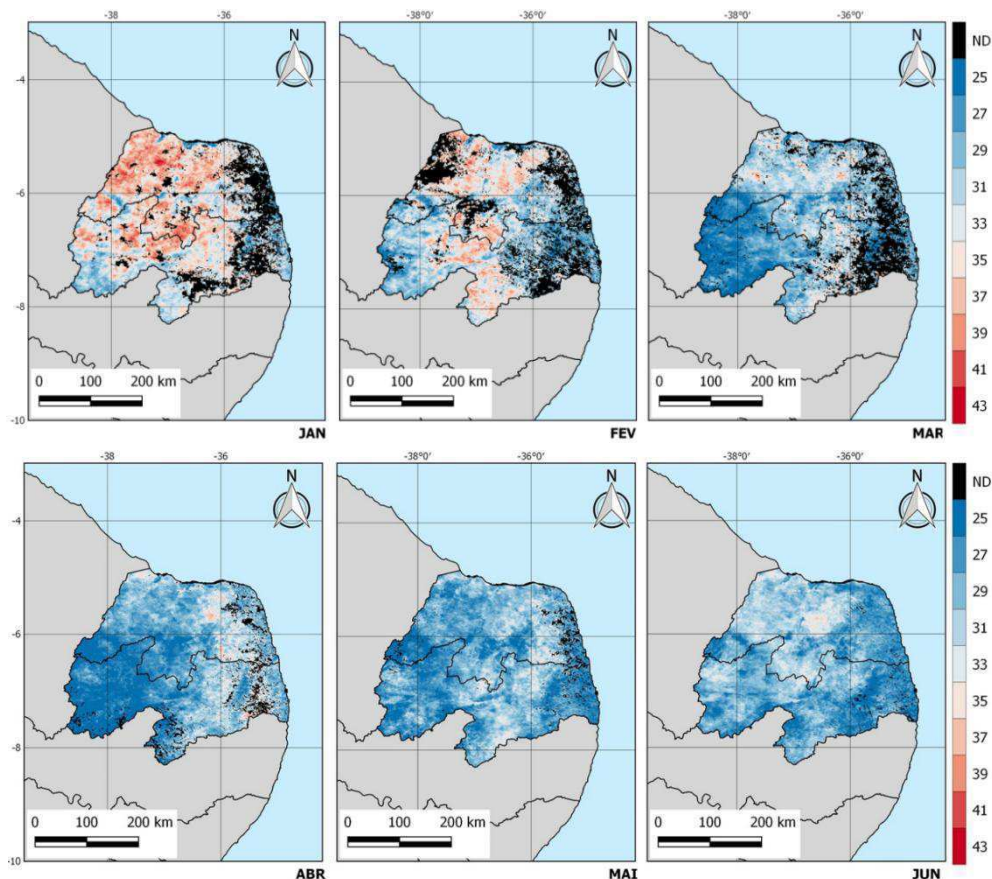


Figura 10 - Médias mensais da T_s para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

No mês de ABR, para o RN as maiores temperaturas foram demarcadas no Agreste Potiguar ficando acima de 35 °C e para o restante do Estado houve uma redução dessa variável obtendo registros de 25°C a 27°C. Com relação à análise do perfil de temperatura para a PB, podemos perceber que para a região do Agreste Paraibano foram observadas as temperaturas próximas de 33°C, e para o restante das mesorregiões as temperaturas ficaram praticamente estáveis em torno de 25°C. Com relação a MAI e JUN, essa mesma variável revelou um comportamento semelhante para os dois Estados, onde as maiores temperaturas

foram registradas no Centro Potiguar e numa pequena parte do Sertão Paraibano, e para ambos os Estados as demais temperaturas situaram-se de 25°C a 29 °C. Portanto, as temperaturas mais amenas para o ano de 2014 foram observadas para MAR, ABR, MAI e JUN.

De acordo com a Figura 11 verifica-se o comportamento das variações espaciais médias mensais da T_s , para o ano de 2014, obtidos por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN, referente ao período de JUL à DEZ.

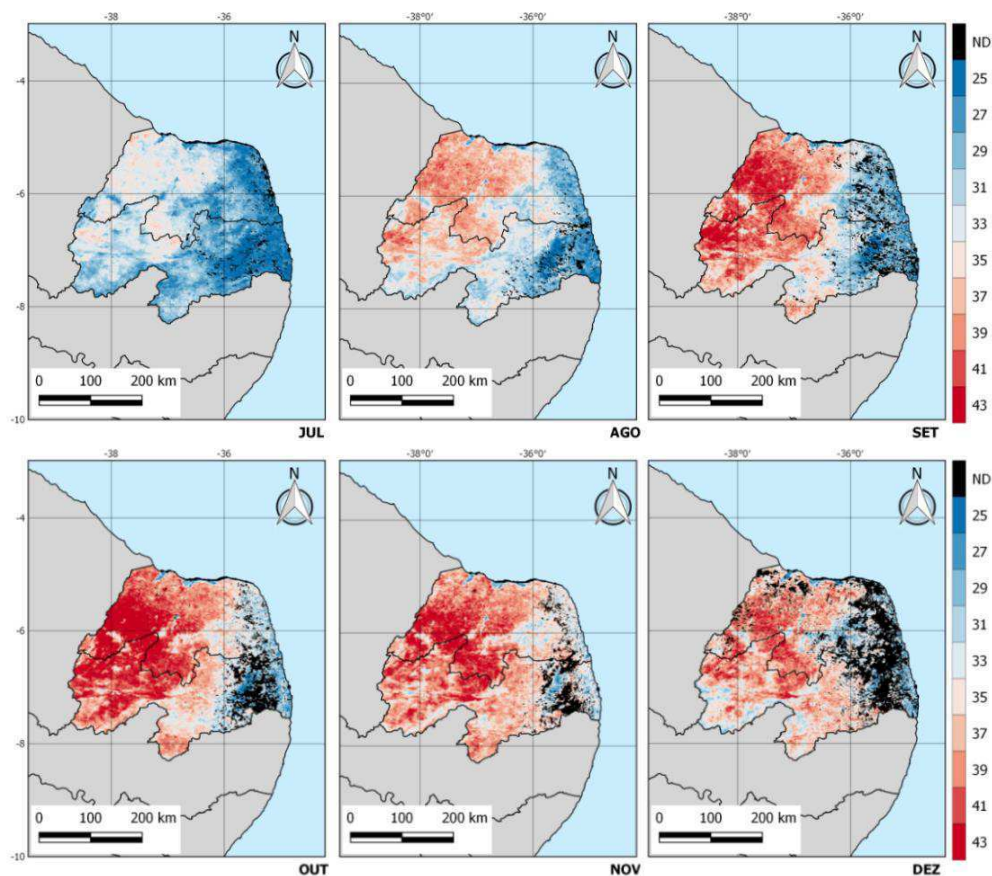


Figura 11 - Médias mensais da T_s para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

Com a relação ao perfil de T_s , no mês de JUL para o Oeste Potiguar, Central Potiguar e parte do Sertão Paraibano registrou-se valores de 33°C e 35°C, e para as outras regiões é possível verificar que as T_s diminuíram ficando próximas de 25 °C. Na análise correspondente a AGO e SET as temperaturas altas foram destaques para ambos os Estados, no Oeste e

Central Potiguar, Sertão Paraibano e Borborema as T_S ultrapassaram os 39°C , e as demais mesorregiões tiveram registros de aproximadamente 25°C . Averiguando o desempenho da T_S para o último trimestre (OUT, NOV e DEZ) do ano, tanto para o RN quanto a PB foram registrados as temperaturas mais elevadas do ano correspondendo como de fato já se espera, pois é nesse período antecede o verão, observa-se que os maiores valores situam-se nas regiões do semiárido e tendem a crescer na direção do sertão.

No SR, a obtenção da T_S é importante na detecção e monitoramento de recursos hídricos, na estimativa da radiação de onda longa incidente para esse estudo, como também na estimativa da radiação de onda longa emitida por cada pixel, sendo esta indispensável no cálculo do saldo de radiação à superfície. Observa-se que, as menores temperaturas ocorreram supostamente sobre superfícies úmida e corpos d'água (azul) na estação de inverno, e as maiores sobre áreas secas e de solo exposto (tonalidade vermelha). A T_S variou ao longo do ano de 25 a 43°C com média de 34°C , correspondendo à tonalidade da quinta classe.

A Caatinga é um bioma caracterizado com diferentes níveis de degradação, e o desequilíbrio nessa área de estudo, ocasionado, por exemplo, por mudanças da cobertura do solo, pode resultar em aumento da T_S e da T_a , como também na diminuição da energia disponível para realização dos processos físicos e diminuição da ET, levando-se em conta o regime de chuvas, encontra-se sobre o Nordeste (NE) uma alta variabilidade climática, sabendo que 2014 foi um ano de El Niño, para períodos de incidência de tal fenômeno espera-se que o padrão de chuva e de temperatura em vários locais do planeta seja alterado. No Brasil, os efeitos clássicos são a diminuição da chuva sobre a Região NE, e conseqüentemente variações na temperatura na medida em que, este fenômeno enfraquece ou se fortalece.

A partir de SET é possível verificar um aumento acentuado das T_S , e em OUT foram significativamente mais altas comparando-se aos outros meses, portanto de acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se comprovar que as maiores T_S foram registradas

justamente na época antecedente que antecede o verão, esse comportamento é comum, pois, o verão é uma estação tipicamente caracterizada pelas altas temperaturas.

É importante a utilização de produtos derivados de satélite, com uma boa precisão na estimativa da temperatura, uma vez que a disponibilidade de medidas de temperatura está basicamente limitada aos dados oriundos de estações meteorológicas, que nem sempre se encontra nos locais em estudo, ou campanhas experimentais. À vista disso, é pertinente a validação de estimativas por SR, o que dá mais credibilidade para sua utilização.

Santos (2015) em pesquisa semelhante à atual também fez uso do SR para estimativa de temperatura do ar, ao invés da temperatura da superfície como foi feita no estudo atual, a mesma observou que o erro envolvido na estimativa é relativamente pequeno, especialmente quando levamos em conta a vantagem de não utilizar um valor pontual de temperatura, e sim uma imagem que compreende toda a heterogeneidade da área.

5.1.4 Comportamentos médios mensais do saldo de radiação

De acordo com a Figura 12, verifica-se os valores instantâneos do saldo de radiação à superfície (R_n), no momento da passagem do satélite no momento da passagem do satélite.

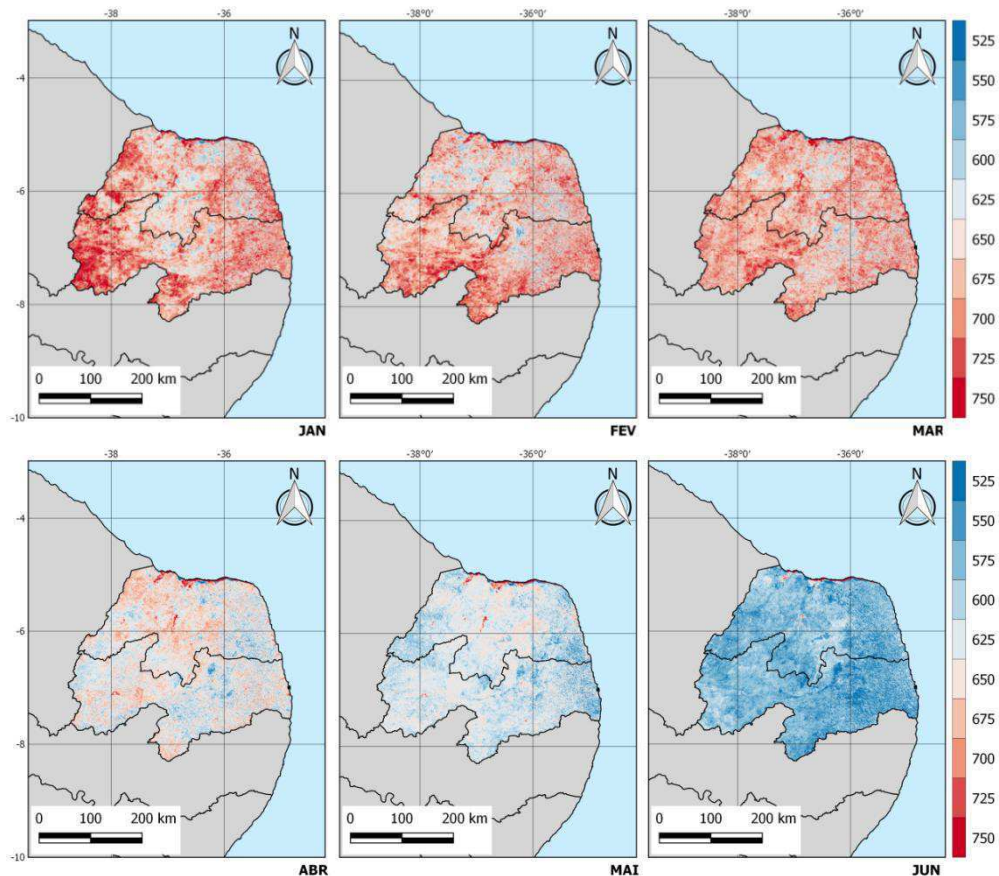


Figura 12- Médias mensais do saldo de radiação (Wm^{-2}) para os meses de janeiro a junho do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

As áreas com tonalidade azul representam as áreas da superfície com valores de R_n de 525 a $625 Wm^{-2}$. As áreas com tonalidade quente (laranja a vermelho) representam valores de R_n acima de $700 Wm^{-2}$. Observa-se que esses valores concentram-se na vegetação de maior densidade.

O R_n é um componente que possui forte dependência da precipitação e, de acordo com resultados encontrados por Oliveira et al. (2006), diferentes condições de precipitação e de umidade do solo ocasionam alteração das componentes do balanço de energia. A AESA (2015) divulga que nos últimos 4 anos a escassez de chuva foi intensificada em projeção bem

preocupante na PB, em decorrência dos baixos índices pluviométricos registrados desde 2012 a seca castigou o Estado até o final de 2014. A projeção foi feita com base em pesquisas climáticas que apontam que a estiagem, considerada a pior dos últimos 50 anos ainda permanecem, e que chuvas serão fenômenos raros em todo o Nordeste.

É possível notar que para o primeiro quadrimestre (JAN, FEV, MAR e ABR) não houve variação espacial significativa de R_n , podemos verificar que seus valores nas localidades das torres se mantiveram altos o que comprova a relação dessa variável com a precipitação. Segundo a (AESAs, 2014), durante o primeiro quadrimestre de 2014, verificou-se uma maior concentração de chuvas nas regiões do Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão, característico do período mais favorável à ocorrência de chuvas nestas regiões. Portanto, ao localizar essas regiões nas cartas de R_n para esse estudo podemos verificar valores mais baixo de R_n em pontos isolados.

Com relação a MAI, JUN, JUL e AGO podem observar que o saldo de radiação diminuiu significativamente em ambos os Estados, registrando para a localidade da área degradada da PB valores em torno de 575 a 625 Wm^{-2} , na área preservada da PB valores em torno de 550 Wm^{-2} , e na área preservada do RN variou entre 550 e 600 Wm^{-2} , esse decaimento nos registros de R_n pode ser explicado por ocorrência de precipitação já que esse período é o de inverno.

Na ilustração da Figura 13, observa-se as imagens com valores instantâneos do saldo de radiação à superfície (R_n), no momento da passagem do satélite referentes aos meses de julho a dezembro.

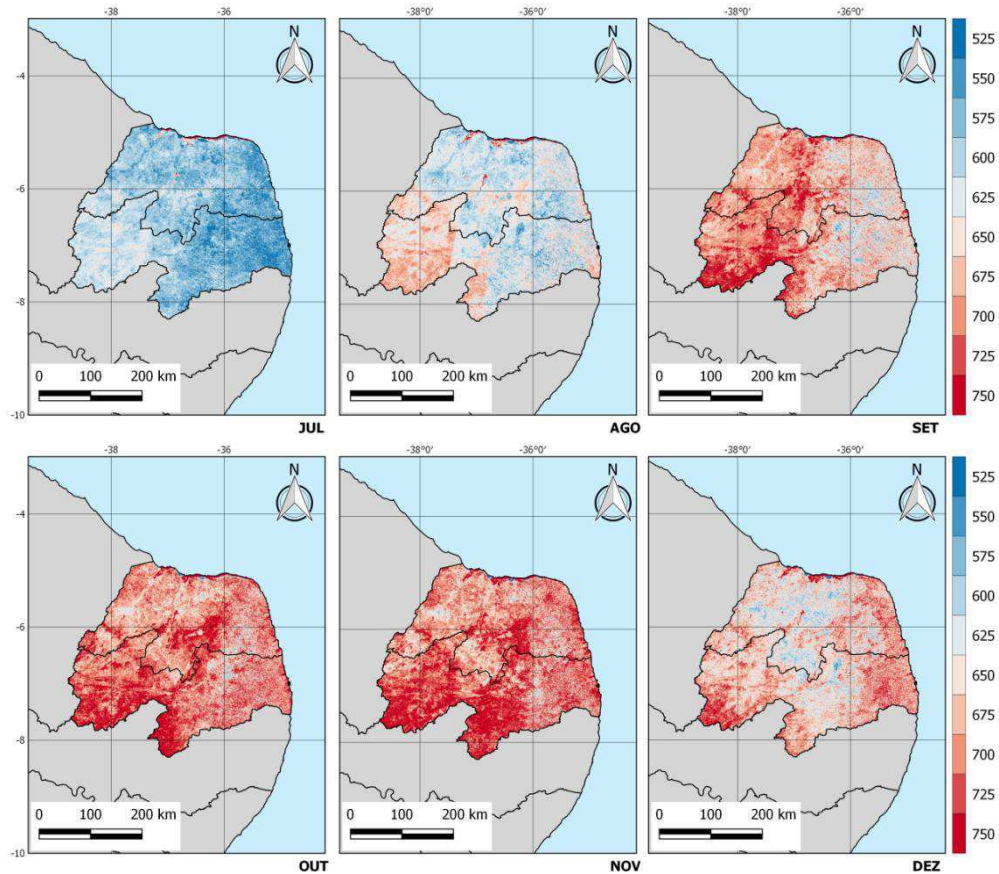


Figura 13 - Médias mensais do saldo de radiação (Wm^{-2}) para os meses de julho a dezembro do ano 2014, obtidas por meio de imagens do sensor MODIS, para os Estados da PB e RN.

Para SET, OUT, NOV e DEZ pode observar que os valores de R_n aumentaram significativamente, chegando a atingir $750 Wm^{-2}$ na área preservada do RN, e nas áreas das torres da PB foram observados valores variando de 725 a $750 Wm^{-2}$ em ambas as áreas. Esses valores contemplaram os maiores registros de R_n para 2014, isso se deve a escassez hídrica provocada pelo baixo índice pluviométrico resultante da perda de umidade do solo.

Esse resultado pode ser comprovado pelo estudo de Costa (2015), onde afirma que para a data de 15/04/2013, foi contemplado com valores menores de R_n , devido a um bom índice pluviométrico mensal (116,4 mm). E a partir do mês de setembro o R_n começa a

apresentar valores mais elevados, devido à escassez hídrica provocada pelo baixo índice pluviométrico (34,2 mm) e conseqüentemente a perda de umidade do solo.

O ano de 2014, assim como 2013 e 2012 foram anos de grandes estiagens, e a irregularidade de chuvas foi presente durante o ano de 2014. Nas observações realizadas pela AESA (2014), o período um pouco mais chuvoso para 2014 no Agreste paraibano foi de MAI até a segunda quinzena de AGO, e nesse período de acordo com o essa pesquisa foi possível verificar uma diminuição do Rn e um aumento do IVDN, para esse período (MAI, JUN, JUL e AGO) na região semiárida. Fisicamente é compreensível esse comportamento para esse período, uma possível explicação seria o fato de que nessa época a radiação solar diminui, por ser a estação de inverno, portanto, o Rn diminui.

De acordo com investigações realizadas pelo INSA (2014), em 2013 e 2014 os meses de abril a julho, foram os meses onde a vegetação apresentou melhores condições hídricas, portanto, foram considerados os meses mais chuvosos deste ano, o que indica uma diminuição do saldo de radiação e um aumento do IVDN. De acordo com o estudo desenvolvido por Costa (2015) foi possível notar que o saldo de radiação foi consideravelmente menor nos dias sequenciais 169, 193, 209 na região semiárida da Paraíba.

5.2 VALIDAÇÃO DO Rn E SUAS COMPONENTES

5.2.1 Caatinga em recuperação - PB

Na Tabela 1 são observadas as componentes (radiação de onda curta) do Rn da área em recuperação da PB no ano de 2014 se comportaram, nas duas primeiras colunas apresenta a comparação entre os dados estimados e medidos (torre). A $R_{s\downarrow}$ estimada no DSA 181 foi de $769,30 \text{ Wm}^{-2}$, e para o DSA 24 foi de $982,11 \text{ Wm}^{-2}$, apresentaram um Erro Percentual (EP) de

11,62% e 28,27% (menor e maior erros), respectivamente. E para $R_{S\downarrow}$ medida foi detectado para o DSA 277 o menor valor de $544,73\text{Wm}^{-2}$ e para o dia 320 o maior valor $802,96\text{Wm}^{-2}$.

Tabela 1- Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda curta incidente estimada – $R_{S\downarrow_estim}$ (W m^{-2}), Radiação de onda curta incidente medida – $R_{S\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida estimada – $R_{S\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida medida - $R_{S\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga em recuperação na PB para o ano de 2014.

Dia DJ	$R_{S\downarrow_estim}$ W/m ²	$R_{S\downarrow_med}$ W/m ²	$R_{S\uparrow_estim}$ W/m ²	$R_{S\uparrow_med}$ W/m ²	EP	
					$R_{S\downarrow}$ %	$R_{S\uparrow}$ %
3	952,28	621,82	205,53	68,78	53,14	198,82
24	982,11	765,63	127,38	86,74	28,27	46,86
28	937,93	789,77	172,19	89,68	18,76	92,01
69	926,54	677,17	192,98	71,58	36,83	169,60
99	919,32	793,15	114,54	84,74	15,91	35,17
108	891,66	681,38	179,45	70,37	30,86	155,01
131	852,96	713,93	137,27	78,75	19,47	74,31
140	824,43	707,60	140,89	79,26	16,51	77,76
181	769,30	689,24	117,50	80,92	11,62	45,20
195	798,53	713,04	122,24	89,52	11,99	36,55
231	824,36	639,26	133,83	75,66	28,96	76,89
234	889,52	601,02	74,02	73,06	48,00	1,32
245	886,58	721,67	130,16	77,60	22,85	67,73
277	956,50	544,73	180,29	59,62	75,59	202,40
307	993,73	682,17	155,36	78,83	45,67	97,08
320	935,98	802,96	165,05	99,28	16,57	66,25
357	936,73	569,78	206,54	68,80	64,40	200,20
Erro Médio					32,1	96,7

Observa-se que a Radiação de onda curta incidente ($R_{S\downarrow}$) apresentou valores elevados de EP para alguns dias. É possível observar superestimativa da $R_{S\downarrow}$, e essa discrepância pode estar associada a algum tipo de manutenção necessária (ou recém-aplicada) nos sensores que pode ter ocorrido nos dias analisados ou até mesmo por alguma interferência natural, como sujeira na lente do instrumento como mancha por queda de algum fruto das árvores, entre outros fatores naturais.

Dos resultados apresentados na Tabela 1, pode ser evidenciado que, mesmo o Estado da Paraíba estando enfrentando uma estiagem intensificada e apresentar baixo teor de vapor

de água na atmosfera, a aplicação da equação simplificada para obtenção da transmissividade atmosférica sobre a região estudada não impactou, significativamente, os resultados obtidos através do MODIS/Terra, visto que foram coerentes com os valores medidos à superfície. No estudo realizado por Santos et al. (2014), usando metodologia semelhante à pesquisa atual, os autores evidenciaram que, apesar do Estado de Rondônia apresentar elevado teor de vapor de água na atmosfera, a aplicação da equação simplificada para obtenção da transmissividade atmosférica sobre a região estudada também não impactou, consideravelmente, os resultados obtidos através do MODIS/Aqua, em razão de, serem coesivos com os valores medidos à superfície.

Na análise da radiação de onda curta refletida ($R_{S\uparrow}$) estimada foram encontrados os valores de $206,54 \text{ Wm}^{-2}$, como máximo para estação de verão e $74,02 \text{ Wm}^{-2}$ valor mínimo, com EP de 64,40% e 1,32%, por essa ordem, já para a radiação medida foi $99,28 \text{ Wm}^{-2}$ e $59,62 \text{ Wm}^{-2}$. O erro médio calculado foi de 96,7%, é possível verificar que os valores estimados são incompatíveis com os medidos, ou seja, os valores medidos se mostraram bem atenuados com relação ao estimado, e uma explicação para isso, pode ser dada devida o satélite gerar o pixel com 1 km de resolução espacial e as torres terem campo de visão de apenas 70 m.

Na Tabela 2 está apresentando as componentes (radiação de onda longa) do R_n da área em recuperação da PB no ano de 2014 se comportaram, nas duas primeiras colunas apresentam a comparação entre os dados estimados e medidos (torre).

Tabela 2 – Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda longa incidente estimada – $R_{L\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa incidente medida – $R_{L\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida estimada – $R_{L\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida medida – $R_{L\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga em recuperação na PB para o ano de 2014.

Dia DJ	$R_{L\uparrow_estim}$ W/m ²	$R_{L\uparrow_med}$ W/m ²	$R_{L\downarrow_estim}$ W/m ²	$R_{L\downarrow_med}$ W/m ²	EP	
					$R_{L\uparrow}$ %	$R_{L\downarrow}$ %
3	503,40	488,76	410,15	486,09	2,99	15,62
24	514,06	494,44	418,84	491,14	3,97	14,72
28	525,71	495,30	428,33	492,22	6,14	12,98
69	522,61	501,56	425,80	499,19	4,20	14,70
99	459,20	501,68	374,13	499,51	8,47	25,10
108	484,08	503,41	394,41	500,68	3,84	21,23
131	485,60	490,54	395,65	488,16	1,01	18,95
140	459,20	490,62	374,13	488,45	6,40	23,40
181	439,16	470,82	357,81	468,77	6,72	23,67
195	437,16	466,96	356,18	465,19	6,38	23,43
231	451,92	472,30	368,21	470,61	4,31	27,76
234	463,23	468,76	377,43	467,14	1,18	19,21
245	484,59	486,32	394,82	483,66	0,36	18,37
277	463,85	485,38	377,93	483,48	4,44	21,83
307	495,47	490,38	403,69	487,78	1,04	17,24
320	514,06	506,88	418,84	503,29	1,42	16,78
357	462,25	492,41	376,63	489,77	6,12	23,10
Erro Médio					4,1	19,5

As estimativas da radiação de onda longa emitida estimada pela superfície ($R_{L\uparrow_estim}$) apresentaram bons resultados, com relação aos dados medidos pelas torres. O maior valor de $R_{L\uparrow_estim}$ foi de 525,71 Wm^{-2} e o menor valor foi de 437,16 Wm^{-2} , os EP máximos e mínimos foram de 6,14% e 6,38%, respectivamente. A $R_{L\uparrow_med}$ apresentou 506,88 Wm^{-2} como maior valor e 466,96 Wm^{-2} menor valor para o DSA (320 e 195). O erro médio para essa variável foi de 4,1 %, considerado satisfatório. Santos et al., 2014 ao avaliar o comportamento da radiação de onda longa emitida pela superfície obtiveram resultados satisfatório ao compararem os dados medidos por torres para as duas áreas, utilizando um piranômetro modelo CG1 (KIPP & ZONEN), apresentando valores de EP máximos e mínimos de 9% e 1% para a Rebio (floresta) e de 10% e 1% para a Fazenda Nossa Senhora (pastagem). Os resultados para a estimativa da radiação de onda longa incidente - ($R_{L\downarrow}$) foi de 428,33 Wm^{-2} registrado como

maior estimativa e $356,18 \text{ Wm}^{-2}$ como menor, nos DSA (28 e 195), e para $R_{L\downarrow}$ medos registros foram de 465,19 e $503,93 \text{ Wm}^{-2}$, para os DSA (195 e 320), os resultados da variável $R_{L\downarrow}$ evidenciaram que ocorreu subestimativa em torno de 19,5% com relação às medições. Uma observação importante deve ser feita, para essa variável da R_L a cerca desses dias estudados, é possível notar que, tanto os menores valores estimados quanto os medidos foram registrados no dia 195 (correspondente à estação de inverno).

Na tabela 3 foram expostos os resultados gerados através dos dados estimados por satélite e os dados obtidos através das torres micrometeorológicas, para as variáveis: IVDN, Albedo (α), saldo de radiação (R_n) e Temperatura da superfície, e foi calculados os Erros percentuais, correspondentes a cada variável.

Tabela 3 - Valores do IVDN, albedo Tasumi (α_{estim}), albedo medido pela torre meteorológica (α_{med}), saldo de radiação estimado (R_n_{estim}), saldo de radiação medido (R_n_{med}), temperatura da superfície estimada (T_s_{estim}) e temperatura da superfície medida (T_s_{med}), para a Caatinga em recuperação da PB, com os respectivos erros relativos percentuais (%) – ERP.

Dia	IVDN	α_{estim}	α_{med}	R_n_{estim}	R_n_{med}	T_s_{estim}	T_s_{med}	EP		
								α	R_n	T_s
DJ	adm	adm	adm	W/m^2	W/m^2	K	K	%	%	%
3	0,19	0,22	0,11	646,94	550,36	308,20	301,60	96,21	17,55	2,19
24	0,30	0,13	0,11	752,80	675,59	309,80	302,31	17,91	11,43	2,48
28	0,29	0,18	0,11	661,50	697,02	311,60	302,57	66,90	5,10	2,97
69	0,24	0,21	0,10	629,95	603,22	311,10	302,73	108,28	4,43	2,76
99	0,40	0,12	0,11	713,74	706,25	301,20	303,03	13,26	1,06	0,60
108	0,27	0,20	0,10	616,23	608,29	305,20	302,88	101,26	1,30	0,77
131	0,51	0,16	0,11	619,41	632,81	305,40	301,29	46,30	2,12	1,38
140	0,62	0,17	0,11	592,49	626,17	301,20	301,77	55,36	5,38	0,19
181	0,76	0,15	0,12	564,72	606,27	297,90	298,96	27,28	6,85	0,37
195	0,76	0,15	0,13	589,61	621,75	297,50	299,02	17,76	5,17	0,50
231	0,57	0,16	0,12	600,92	561,92	300,00	298,80	35,29	6,94	0,40
234	0,51	0,08	0,12	723,65	526,34	301,90	298,93	30,65	37,49	0,98
245	0,45	0,15	0,11	660,34	641,40	305,30	300,33	33,46	2,95	1,65
277	0,46	0,19	0,10	684,24	483,21	302,00	301,11	88,49	41,60	0,28
307	0,34	0,16	0,11	740,13	600,73	307,00	301,09	42,13	23,20	1,96
320	0,38	0,18	0,12	669,01	700,09	309,80	302,87	46,95	4,44	2,29
357	0,25	0,22	0,12	638,54	498,35	301,70	301,94	83,74	28,13	0,08
Erro Médio								53,60	12,1	1,3

De acordo com os resultados da Tabela 3 para área em recuperação, ao fazer um comparativo com a ilustração da Tabela 6 no estudo da área degradada da PB, ficou claro que para a componente do IVDN são observados valores menores na área em recuperação do que na área degradada, possivelmente esse comportamento pode ser justificado, pelo fato que na Caatinga, a recomposição da vegetação se dá de forma rápida com a chegada das primeiras chuvas, possivelmente, a área degradada deve ter recebido alguma precipitação, e conseqüentemente, os registros de IVDN foram significativamente maiores que na área em recuperação. Além disso, nesse estudo foi possível verificar que, quando o IVDN aumenta a temperatura estimada pelo satélite tendem a diminuir. O mesmo comportamento entre essas variáveis foi observado por Araújo (2010) onde revelou que existe uma tendência de redução da temperatura média de cada classe (mínimo, máximo e médio) com o aumento do IVDN médio. Estes resultados apresentam-se de acordo com a literatura (KUSTAS et al., 2003; BADECK et al., 2004).

Analisando de forma geral o comportamento do IVDN para o ano de 2014, é observado que os valores na região semiárida da Paraíba, variaram de 0,19 a 0,76, predominando os valores acima de 0,30. Para análise do IVDN, Rodrigues et al. (2009) observou que ao comparar as áreas de estudo para os dias 17/12/2004 e 28/10/2009 houve um aumento da área cujos valores de IVDN variaram entre 0,30 e 0,45, assim como, uma diminuição das áreas com valores abaixo de 0,25. Como esperado, esses resultados são indicadores de regiões com vegetação bastante rala ou sem vegetação, algo bastante característico do semiárido brasileiro.

Para o albedo estimado (α_{estim}) foi encontrado o menor valor na ordem de 0,08 % para o DSA 234 e os maiores valores na ordem de 0,22 % para os DSA (3 e 357) onde esses valores foram registrados no período que corresponde a estação de verão, com relação ao α_{med} detectou-se como valor mínimo 0,10 % e valor máximo de 0,13 %, ainda sob essa

componente considerando apenas os valores medidos, ao fazer o comparativo com o albedo da área da PB degradada constata-se que os valores de albedos da área em recuperação são de ordens menores do que o da área degradada.

Os valores encontrados nesta pesquisa são harmoniosos com estudos semelhantes, pois com esta mesma metodologia, utilizando produtos MODIS e o método de Tasumi et al. (2008) para estimar o albedo, Mendonça (2007) obteve na região Norte Fluminense do Rio de Janeiro albedo da superfície entre as classes de 14 a 22% para ano de 2006 em cultura de cana-de-açúcar. Em estudo mais recente, Santos (2011) utilizou também produtos MODIS e o albedo de Tasumi et al. (2008) em São Paulo, ocasião que encontrou no cerrado ($9,10 < \alpha < 13\%$) e no bioma cana-de-açúcar ($10 < \alpha < 18\%$). Andrade (2008) realizou estudo de albedo da superfície em cana-de-açúcar tendo como base as reflectâncias do produto MOD09GA e obteve variação do albedo na faixa de 9 a 27%. Essa condição de baixo albedo eleva a componente de onda curta, com implicações no R_n , como será visto mais adiante.

Com relação aos resultados de R_n , pode-se afirmar que o maior valor registrado para o R_{n_estim} foi de ($752,80 \text{ Wm}^{-2}$) na época de verão no DSA 24, e para o R_{n_med} foi de ($706,25 \text{ Wm}^{-2}$) correspondente ao DSA 99, e os menores registros foram de $564,72 \text{ Wm}^{-2}$ para o R_{n_estim} e $483,21 \text{ Wm}^{-2}$ para o R_{n_med} , esses menores valores foram para os dias sequencias (181 e 277), respectivamente. Ainda sobre essa variável é possível verificar que os valores do R_{n_estim} são maiores comparando aos do R_{n_med} , isso pode ser justificado devido ao pixel ter 1 km de resolução, o que abrange toda a área compreendida seja ela, vegetada ou com solo exposto, já os dados medidos pela torre abrange apenas área vegetada.

As variáveis de temperaturas demonstraram comportamentos homólogos, ou seja, quando os valores das T_{s_estim} decrescem os das T_{s_med} também decrescem, e quando os valores de T_{s_estim} crescem, as T_{s_med} também crescem. O maior registro de temperatura foi à estimada pelo satélite, onde demarcou 311,60 K no período de verão para o DSA 28, e a

menor foi de 297,50 K para o DSA 195. Pode-se observar, também, que para a T_{s_med} temos para o dia 99 a maior temperatura que foi de 303,03 K, e para o DSA 234 registrou-se a menor de 298,93 K na estação de inverno. Esses resultados são satisfatórios e condizentes com o esperado, pois de acordo com a AESA o ano de 2014 foi marcado como ano em que as temperaturas foram na maioria dos meses relativamente altas. Com relação ao erro percentual para a temperatura estimada obteve-se os resultados de 2,97 e 0,50 %, para os dias anteriormente citados.

5.2.2 Caatinga degradada - PB

Na Tabela 4 é demonstrado os valores de algumas das componentes do R_n para a Área degradada da PB, correspondentes a vários dias sequenciais de todo o ano de 2014, onde são apresentados os valores da radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) estimada e observada e os da radiação de onda curta emitida ($R_{s\uparrow}$) estimada e observada.

Tabela 4 – Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda curta incidente estimada – $R_{s\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta incidente medida – $R_{s\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida estimada – $R_{s\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida medida – $R_{s\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga degradada na PB para o ano de 2014.

Dia	$R_{s\downarrow_estim}$	$R_{s\downarrow_med}$	$R_{s\uparrow_estim}$	$R_{s\uparrow_med}$	EP	
					$R_{s\downarrow}$	$R_{s\uparrow}$
DJ	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	%	%
3	952,79	793,82	138,23	153,30	20,03	9,83
24	982,63	893,42	111,35	172,73	9,99	35,53
28	938,60	936,19	140,50	175,84	0,26	20,10
69	927,30	849,21	179,15	155,95	9,20	14,87
99	920,06	732,58	131,12	136,45	25,59	3,91
108	892,49	872,68	155,90	166,92	2,27	6,60
131	853,80	827,61	123,53	159,70	3,16	22,65
140	825,28	822,89	124,46	162,36	0,29	23,34
181	770,04	767,49	108,75	145,72	0,33	25,37
195	799,27	806,13	113,04	155,17	0,85	27,15
231	825,10	503,01	130,88	96,91	64,03	35,06
234	890,33	711,99	202,63	139,46	25,05	45,30
245	887,40	894,53	132,93	169,33	0,80	21,50
277	956,50	945,88	148,33	175,94	1,18	35,08
307	994,31	1022,51	269,35	192,28	2,76	40,08
320	936,56	913,86	150,77	169,84	2,48	11,23
357	937,22	979,53	184,55	186,47	4,32	1,03
Erro Médio					10,2	22,3

Para a estimativa da $R_{s\downarrow}$ utilizou-se a transmissividade constante para toda a imagem. Com relação aos valores de $R_{s\downarrow_estim}$, foi detectado valor mínimo de 770,04 Wm^{-2} para o DSA 181 e valor máximo de 994,31 Wm^{-2} para o DSA 307 e os erros relativos percentuais foram de 0,33 % e 2,76 %, respectivamente. Para $R_{s\downarrow_med}$ foi possível observar 503,01 Wm^{-2} como menor valor referente ao dia juliano 231 e o maior valor de 1022,51 Wm^{-2} para o dia juliano 307. Ao fazer um comparativo dos resultados estimados com os observados é possível evidenciar que houve uma superestimativa.

Em estudo semelhante ao presente trabalho, Santos (2011) obteve resultados bem próximo para a variável $R_{s\downarrow}$, onde para a Radiação de onda curta incidente medida do DSA 212 foi de 651,4 W/m^2 valor mínimo e para a Radiação de onda curta incidente estimada foi

729,9 W/m², com o erro de 12,04 %. Com os maiores valores foram correspondentes aos DSA 338 foi registrando 957,7 W/m² radiação estimada e 965,9 W/m² radiação medida, com erro de 0,86%.

Para a variável $R_{S\uparrow_estim}$ o menor valor foi de 108,75 Wm⁻² detectado para o DSA 181 e o maior valor foi de 269,35 Wm⁻² para o DSA 307, onde os erros relativos percentuais calculados foram de 25,37 % e 40,08 %, por essa ordem. Já para a $R_{S\uparrow_med}$ foi encontrado para o menor valor igual a 96,91 Wm⁻² referente ao dia sequencial do ano 231 e o maior valor foi obtido foi de 192,28 Wm⁻² para o DSA 307.

Ainda sobre a variável da radiação de onda curta é importante enfatizar que, no DAS 307 apresentou um comportamento significativo tanto para os resultados estimados quanto para os medidos, ou seja, de todos os dias estudados no dia 307 foram registrados os maiores valores para esta variável especificamente. Foram calculados os Erros Médios para as variáveis $R_{S\downarrow}$ e $R_{S\uparrow}$ com os seguintes resultados 10,2 % e 22,3%.

Os resultados para as estimativas da radiação de onda longa incidente - $R_{L\uparrow_estim}$ (Tabela 5) evidenciam que foi registrado o maior valor de 539,48 Wm⁻² para o DSA 24 e o menor valor de 432,25Wm⁻² referente ao dia sequencial do ano 195, com os erros percentuais de 9,83 % e 6,51 %, respectivamente. Como pode ser visto a componente $R_{L\uparrow_med}$ teve valor máximo de 505,45 Wm⁻² (DSA 320) e mínimo de 460,16 Wm⁻², registrado no DSA 231.

Tabela 5 – Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda longa incidente estimada – $R_{L\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa incidente medida – $R_{L\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida estimada – $R_{L\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida medida – $R_{L\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga degradada na PB para o ano de 2014.

Dia DJ	$R_{L\uparrow_estim}$ W/m ²	$R_{L\uparrow_med}$ W/m ²	$R_{L\downarrow_estim}$ W/m ²	$R_{L\downarrow_med}$ W/m ²	EP	
					$R_{L\uparrow}$ %	$R_{L\downarrow}$ %
3	527,47	488,71	429,65	485,34	7,93	11,48
24	539,48	491,17	439,43	487,44	9,83	9,85
28	525,71	494,99	428,21	491,27	6,21	12,84
69	496,25	495,11	404,22	491,81	0,23	17,81
99	483,83	496,02	394,10	493,52	2,46	20,15
108	495,99	505,18	404,01	501,47	1,82	19,44
131	455,99	493,51	370,67	490,02	7,60	24,36
140	447,84	489,22	364,79	486,12	8,46	24,96
181	440,77	469,19	358,30	466,26	6,06	23,16
195	432,25	462,33	352,09	460,09	6,51	23,47
231	454,94	460,16	370,57	458,25	1,13	19,13
234	458,59	465,82	373,54	463,44	1,55	19,40
245	483,45	487,95	393,79	484,35	0,92	18,70
277	454,94	485,06	370,57	481,93	6,21	23,11
307	489,94	495,32	399,08	491,48	1,09	18,80
320	535,09	505,45	435,85	501,40	5,86	13,07
357	462,87	501,44	377,03	497,57	7,69	24,23
ErroMédio					4,8	19,1

A $R_{L\downarrow_estim}$ como valor máximo obteve-se $439,43 Wm^{-2}$ para o dia sequencial 24, e mínimo de $352,09 Wm^{-2}$ (DSA 195), no calculo dos erros relativos percentuais foram encontrados $9,85 \%$ e $23,47 \%$, respectivamente. A $R_{L\downarrow_med}$ obteve maior valor medido de $501,47 Wm^{-2}$ para o dia de ordem do ano 108, e o menor valor medido foi de $458,25 Wm^{-2}$ no dia de ordem do ano 231. Ainda foram calculados os Erros Médios para as variáveis $R_{L\uparrow}$ e $R_{L\downarrow}$, resultando em $4,8 \%$ e $19,1\%$. Um fato observado, é que os erros referentes às estimativas na área degradada foram substancialmente menores que na área em recuperação. Talvez um dos fatores que influenciam nesse aumento do erro seja a própria dinâmica vegetal da Caatinga. As árvores mudam de cor e, além disso, tem o fato de chegar mais radiação difusa

na área degradada. Esse mesmo resultado (menores erros na área degradada) foi encontrado por Santos (2015) no estudo para essa mesma região para o ano de 2013.

Na tabela 6 foram expostos os resultados gerados através dos dados estimados por satélite e os dados obtidos através das torres micrometeorológicas, para as variáveis: IVDN, Albedo (α), saldo de radiação (Rn) e Temperatura da superfície, e foi calculados os Erros percentuais, correspondentes a cada variável.

Tabela 6 - Valores do IVDN, albedo Tasumi (α_{estim}), albedo medido pela torre meteorológica (α_{med}), saldo de radiação estimado (Rn_estim), saldo de radiação medido (Rn_med), temperatura da superfície estimada (T_{s_estim}) e temperatura da superfície medida (T_{s_med}), para a Caatinga degradada da PB, com os respectivos erros relativos percentuais (%) – ERP.

								EP		
Dia	IVDN	α_{estim}	α_{med}	Rn_estim	Rn_med	Ts_estim	Ts_med	α	Rn	Ts
DJ	adm	adm	adm	W/m ²	W/m ²	K	K	%	%	%
3	0,37	0,15	0,19	709,86	637,16	311,8	300,48	23,64	11,41	3,77
24	0,36	0,11	0,19	764,20	716,96	313,6	300,48	40,36	6,59	4,36
28	0,36	0,15	0,19	693,76	756,62	311,6	300,48	21,22	8,31	3,69
69	0,42	0,19	0,18	649,65	689,96	307,1	301,91	7,33	5,84	1,72
99	0,69	0,14	0,18	692,91	593,63	305,2	302,22	20,83	16,72	0,97
108	0,54	0,17	0,19	638,15	702,04	307,1	302,24	8,06	9,10	1,59
131	0,68	0,14	0,19	639,77	664,42	300,5	300,64	23,85	3,71	0,04
140	0,76	0,15	0,20	611,93	657,42	299,3	300,62	24,60	6,92	0,43
181	0,81	0,14	0,19	573,81	618,84	298,0	298,37	25,67	7,28	0,13
195	0,78	0,14	0,19	600,44	648,72	296,7	298,32	25,56	7,44	0,55
231	0,77	0,16	0,19	603,92	404,19	300,5	297,69	16,51	49,41	0,94
234	0,34	0,23	0,19	596,68	570,15	301,1	298,37	19,78	4,65	0,91
245	0,60	0,15	0,19	658,51	721,60	305,1	299,69	21,16	8,74	1,81
277	0,64	0,24	0,18	629,20	766,80	300,0	300,77	37,95	17,96	0,09
307	0,25	0,27	0,19	627,72	826,39	306,1	300,91	42,57	24,04	1,73
320	0,45	0,16	0,19	679,59	739,97	312,9	302,64	15,27	8,16	3,40
357	0,22	0,20	0,19	660,80	789,19	301,8	302,25	3,64	16,27	0,15
Erro Médio								22,2	12,5	1,5

Primeiramente foi gerada uma coluna com todos os registros de IVDN dados obtidos apenas por estimativas do satélite, onde os valores variaram de 0,22 até 0,81, caracterizando o menor valor correspondente ao DSA (357) e o maior valor para o DSA (181). Os valores mais altos do IVDN estão associados a um maior vigor na vegetação (HOLBEN, 1986). De um

modo geral, podemos observar que os valores encontrados para o IVDN foram variados, mas prevalecendo os valores altos, sendo o maior registro no inverno, fato este justificado supondo-se ser a precipitação a principal causa dessas modificações em razão da umidade presente no solo em função do aumento da precipitação. Tais averiguações são compatíveis com as realiza das por Silva e Bezerra (2006) e Bezerra et al., (2014) estudando regiões de climas semiáridos.

Rodrigues et al. (2009) encontraram o IVDN para a área degradada com índice mínimo de 0,23 para o DOA 81 (período de estiagem) e índice máximo de 0,65 para o DOA 193 (período chuvoso), esses resultados são indicadores da vegetação bastante rala ou sem vegetação, o que realmente caracteriza uma vegetação do semiárido brasileiro.

Com relação ao albedo (α_{estim}) foi calculado como menor 0,11, especificamente no DSA 24, e o maior valor registrando 0,27 para o DSA (307), e para o α_{med} verificou-se 0,18, como valor mínimo, correspondente aos DSA (69, 99 e 277), e 0,20 como o valor máximo, para o DSA (140).

Comparando o albedo estimado com o medido, foi possível verificar que mantiveram um comportamento relativamente semelhante, mas o α_{med} registrou valores maiores em comparação ao α_{estim} . Ainda é possível perceber que quando o valor α_{estim} diminui o valor do α_{med} também decresce, o mesmo ocorre quando acontece o inverso, ou seja, quando os valores tendem a aumentar. Como mencionado inicialmente, na Tabela 6 representando a área degradada, constata-se que os registros de α_{med} foram quatitivamente mais altos na maioria dos dias estudados, isso comparando com os resultados de α_{estim} , o comportamento, pode ser explicado devido a torre captar apenas informações de toda a região do pixel que incluir solos pode exposto.

Teixeira et al. (2008) a partir de medida de campo encontraram para a Caatinga próxima a cidade de Lagoa Grande no Estado de Pernambuco valores mínimos de 0,11 e máximo de 0,17 para o albedo nos anos de 2004 e 2005.

Na coluna referente ao Rn estimado por dados MODIS foi detectado como maior valor 792,54 Wm² no DSA 63, e o menor valor estimado foi de 596,68 Wm² para o DSA 234. Os valores de Rn_med das torres micrometeorológicas variaram de 404,19 Wm² no DSA 231 a 826,39 Wm² registrado no DSA 307. De um modo geral, na análise dos resultados do Rn da área degradada da PB constata-se que para a maioria dos dias selecionados o Rn estimado foi a variável que apresentou valores mais elevados, o que pode indicar uma maior energia disponível ou as componentes do Rn_estim podem ter sofrido alguma tipo de interferência.

No estudo dos perfis de temperaturas, em geral foram apontados valores elevados comparando, por exemplo, com os registros de anos anteriores, seja para a T_S_estim ou para T_S_med em todos os dias estudados as T_S mantiveram-se elevadas. Ainda é possível observar que ambas as temperaturas possuem comportamentos semelhantes (quando a T_S_estim aumenta a T_S_med também, quando a T_S_estim diminui a T_S_med também). Como já se esperava o maior registro de temperatura foi detectado no verão para a T_S_estim, correspondendo a 313,6 K e a temperatura mais amena foi de 293,8 K. É fácil observar que, as T_S não sofrem mudanças bruscas, ou seja, mantiveram-se altas em todas as estações do ano. O ano de 2014 foi o mais quente desde 1880 quando começaram os registros históricos, de acordo com análises da NASA. Os valores registrados de T_S_med das torres meteorológicas foram elevadas para todos os dias estudados, sendo a temperatura mais elevada de 302,66 K, para o DSA 117 e menor temperatura de 297,69 K, no DSA 231. Os cálculos dos erros percentuais para os valores máximos e mínimos das variáveis foram os seguintes: α_estim= (42,57; 40,36 %), Rn_estim= (7,28; 6,59 %), T_S_estim= (4,36; 0,55 %), com o erro médio para as mesmas variáveis respectivamente iguais a 22,2 %; 12,5 % e 1,5 %.

Fazendo uma comparação dos resultados de IVDN e albedo obtidos da área em recuperação da PB com os da área degradada da PB é possível verificar um diferencial nesses resultados, pois na área degradada obtiveram-se maiores valores de IVDN e menores valores de albedo do que na área em recuperação, e o mais comum seria esse comportamento para a área em recuperação. Sabendo que normalmente a degradação da vegetação nativa altera o balanço energético da região haja vista que ocasionam o aumento do albedo da superfície e diminuição do saldo de radiação, fatores que podem levar a alterações no microclima local. Portanto, uma justificativa para esse comportamento inverso pode ser dado devido há ocorrência de precipitação um pouco maior na área degradada do que na área em recuperação.

5.2.3 Caatinga preservada - RN

Verificam-se a partir da Tabela 7 os valores da radiação de onda curta incidente ($R_{S\downarrow}$) observada e estimada, empregadas no cômputo das diferentes componentes do balanço de radiação na área preservada do RN.

Tabela 7 – Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda curta incidente estimada – $R_{S\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta incidente medida – $R_{S\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida estimada – $R_{S\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda curta emitida medida – $R_{S\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga preservada no RN em cada dia sequencial do ano.

Dia	$R_{S\downarrow_estim}$	$R_{S\downarrow_med}$	$R_{S\uparrow_estim}$	$R_{S\uparrow_med}$	EP	
					$R_{S\downarrow}$	$R_{S\uparrow}$
DJ	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	%	%
3	960,84	777,67	146,17	108,80	23,55	34,34
14	890,53	773,45	178,33	105,64	15,14	68,81
28	916,31	796,76	201,34	109,47	15,00	83,92
62	894,89	717,76	189,23	91,96	24,68	105,77
83	925,10	783,05	160,62	104,05	18,14	54,37
108	905,05	579,95	242,26	74,84	20,23	61,14
115	875,25	744,87	136,96	93,91	17,50	45,84
140	814,06	685,77	125,27	85,87	18,71	45,88
147	811,30	671,73	122,25	81,99	20,78	49,11
154	809,58	664,54	110,98	80,26	21,83	38,28
172	771,95	656,13	128,10	85,04	17,65	50,63
181	758,86	665,59	122,58	81,61	14,01	50,21
186	791,97	670,06	117,38	84,71	18,19	38,57
202	807,34	684,76	129,55	87,51	17,90	48,05
213	793,30	713,60	142,84	83,43	11,17	71,20
225	864,38	742,72	133,38	93,10	16,38	43,27
234	877,07	727,77	153,58	92,98	20,52	65,17
243	889,59	744,55	170,59	99,44	19,48	71,55
257	943,28	778,05	149,40	94,98	21,24	57,29
273	973,05	808,90	162,31	106,82	20,29	51,95
282	975,81	801,24	177,89	103,52	21,79	71,55
289	990,17	777,87	171,31	104,61	27,29	63,76
305	993,15	822,58	178,72	113,07	20,74	58,06
314	981,42	783,93	189,28	108,53	25,19	74,41
328	987,56	822,10	160,92	114,33	20,13	40,75
330	969,74	822,22	177,10	120,27	17,94	47,25
343	904,30	785,82	177,33	111,94	15,08	58,41
348	933,71	718,70	205,50	101,63	29,92	102,21
Erro Médio					19,7	59,0

A $R_{S\downarrow_estim}$ obteve o menor valor de $758,86 \text{ Wm}^{-2}$ e o maior valor de $993,15 \text{ Wm}^{-2}$ para os DSA (181, 305), já a $R_{S\downarrow_med}$ $579,95$ e $822,58 \text{ Wm}^{-2}$ para os DSA (108 e 305), e o erro médio encontrado para esta variável foi de 19,7. Com relação a $R_{S\uparrow_estim}$ o maior valor foi de $242,26 \text{ Wm}^{-2}$ e o menor valor foi de $110,98 \text{ Wm}^{-2}$, para os DSA (108 e 154) os erros percentuais ficaram em torno de 20% para todos os outros dias estudados, e a $R_{S\uparrow_med}$ com maior e menor valor ($120,27$ e $74,84 \text{ Wm}^{-2}$), nos DSA (330 e 108).

De acordo com a Tabela 7 é possível identificar que os valores medidos foram menores do que os estimados, e ao comparar os erros percentuais é possível afirmar que, a $R_{S\downarrow}$ teve seus valores atenuados com relação a $R_{S\uparrow}$. Em um solo coberto de vegetação as folhas absorvem uma grande quantidade de radiação, impedindo a incidência direta na superfície. Na vegetação uma parte da energia é consumida na evaporação o que afeta significativamente o balanço de energia.

Os resultados encontrados neste estudo podem ser explicados pelo efeito combinado do albedo e da T_s , pois o primeiro influencia o balanço de ondas curtas e o segundo o balanço de ondas longas. Um maior albedo, caso observado sobre área de Caatinga, favorece uma maior reflexão da $R_{S\downarrow}$ e isso contribui para que o saldo de ondas curtas seja menor. Ao mesmo tempo em que, uma maior T_s , caso observado sobre bioma de Caatinga, favorecerá para que o balanço de ondas longas seja maior (em termos de valor) quando comparado a superfícies com menores temperaturas (floresta e transição e corpos d'água). Portanto, um maior valor de albedo e T_s favorecem para que o saldo de radiação seja menor sobre solo exposto.

Na Tabela 8 estão expostos os resultados das estimativas e observações da radiação de onda longa incidente e emitida.

Tabela 8 – Valores das componentes do saldo de radiação: Radiação de onda longa incidente estimada – $R_{L\downarrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa incidente medida – $R_{L\downarrow_med}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida estimada – $R_{L\uparrow_estim}$ (Wm^{-2}), Radiação de onda longa emitida medida – $R_{L\uparrow_med}$ (Wm^{-2}), e o erro relativo percentual (%) - ERP para a Caatinga preservada no RN em cada dia sequencial do ano.

Dia DJ	$R_{L\uparrow_estim}$ W/m ²	$R_{L\uparrow_med}$ W/m ²	$R_{L\downarrow_estim}$ W/m ²	$R_{L\downarrow_med}$ W/m ²	EP	
					$R_{L\uparrow}$ %	$R_{L\downarrow}$ %
3	473,92	499,30	388,56	497,06	5,08	21,83
14	467,95	508,03	383,67	505,64	7,89	24,12
28	505,51	505,32	414,46	502,86	0,04	17,58
62	495,34	514,73	405,30	512,30	3,77	20,89
83	458,75	501,29	376,12	499,06	8,49	24,63
108	456,68	492,44	374,43	490,78	7,26	23,71
115	448,24	498,50	367,51	496,79	10,08	26,02
140	460,82	499,75	377,82	497,44	7,79	24,05
147	467,34	503,34	383,16	500,97	7,15	23,52
154	472,17	502,20	387,13	499,91	5,98	22,56
172	461,07	498,13	378,02	495,91	7,44	23,71
181	481,33	499,81	394,63	497,21	3,70	20,63
186	495,88	491,16	406,57	488,58	0,96	16,79
202	490,10	495,52	401,82	492,71	1,09	18,45
213	494,34	493,45	405,30	490,81	0,18	17,42
225	534,27	499,41	438,04	490,81	6,98	11,77
234	532,63	499,05	436,70	496,17	6,73	11,99
243	538,65	496,80	440,73	493,77	8,42	10,74
257	530,04	507,83	433,69	504,78	4,37	14,08
273	533,58	510,94	436,59	507,84	4,43	14,03
282	536,60	502,63	439,95	499,59	6,76	11,94
289	554,21	509,59	454,39	506,44	8,76	10,28
305	559,70	513,73	458,89	510,42	8,95	10,10
314	540,99	525,75	443,55	522,54	2,90	15,12
328	519,67	516,06	426,07	513,41	0,70	17,01
330	531,01	508,70	436,25	505,89	4,38	13,77
343	514,48	511,26	421,81	508,55	0,63	17,06
348	533,59	509,50	437,48	506,89	4,73	13,69
Erro Médio					5,2	17,8

Na cena para 2014, a $R_{L\uparrow_estim}$ variou de 448,24 a 559,70 $W m^{-2}$, com os erros percentuais de 10,08 e 8,95% referentes aos DSA (115 e 305), e a $R_{L\uparrow}$ obtida através de medições variou de

491,16 Wm^{-2} no período de alto IVDN a 525,75 Wm^{-2} , para os dias julianos (186 e 314). Esse valores estão coerentes com os obtidos por Silva et al. (2005), que encontraram $R_{L\uparrow}$ em torno de 495 Wm^{-2} em solo exposto e até 458 Wm^{-2} em área de fruteiras irrigadas.

A radiação de onda longa emitida por uma superfície ($R_{L\uparrow}$) é função da temperatura absoluta e emissividade, de acordo com a equação de Stefan – Boltzman. Portanto, variações de $R_{L\uparrow}$ nesta área do RN em estudo estiveram condicionadas a mudanças na cobertura vegetal solo. A emissão de onda longa é um componente subtrativo do saldo de radiação, desta maneira quanto menor a $R_{L\uparrow}$ maior a energia disponível para os fluxos não radiativos.

Para a $R_{L\downarrow}$ estim destaca-se que o maior valor (458,89 W m^{-2}) obtido, correspondente ao dia 305, e 367,51 W m^{-2} foi o valor de menor magnitude referente ao dia 115. A $R_{L\downarrow}$ med obteve valores variando de 488,58 a 522,54 W m^{-2} para os DSA (186 e 314). A radiação de onda longa emitida $R_{L\uparrow}$ estim sofreu subestimativa os valores ficaram próximos dos medidos. Com relação ao cálculo do erro médio da $R_{L\uparrow}$ foi um erro pequeno de 5,2%, e o da $R_{L\downarrow}$ foi de 17,8%.

Na tabela 9 estão apresentados os resultados estimados e medidos das variáveis de IVDN, R_n , Albedo, T_s e os Erros percentuais para a Área preservada do RN. Na análise geral do IVDN, têm-se que a classe predominante na região semiárida do Rio Grande do norte são os valores acima de 0,21, que foi registrado como menor valor para o DSA 314 (correspondente ao mês novembro, época da estação seca) e 0,54 no DSA 140 (correspondente ao mês de maio, época do período chuvoso).

Tabela 9 - Valores do IVDN, albedo Tasumi (α_{estim}), albedo medido pela torre meteorológica (α_{med}), saldo de radiação estimado (Rn_{estim}), saldo de radiação medido (Rn_{med}), temperatura da superfície estimada ($T_{s_{estim}}$) e temperatura da superfície medida ($T_{s_{med}}$), para a Caatinga preservada do RN, com os respectivos erros relativos percentuais (%) – ERP.

								EP		
Dia	IVDN	α_{estim}	α_{med}	Rn_{estim}	Rn_{med}	$T_{s_{estim}}$	$T_{s_{med}}$	α	Rn	Temp
DJ	adm	adm	adm	W/m ²	W/m ²	K	K	%	%	%
3	0,45	0,15	0,14	722,32	666,64	303,70	303,60	8,66	8,35	0,05
14	0,45	0,20	0,14	621,01	665,42	302,80	304,84	43,03	6,67	0,68
28	0,40	0,22	0,14	616,46	684,83	308,70	304,68	56,95	9,98	1,31
62	0,39	0,21	0,12	609,14	623,38	307,00	305,08	76,21	2,28	0,62
83	0,52	0,17	0,13	675,08	676,76	301,30	303,35	33,56	0,25	0,68
108	0,54	0,17	0,12	642,16	637,50	300,90	302,22	39,47	0,73	0,42
115	0,54	0,16	0,13	650,94	649,26	299,50	302,77	20,37	0,26	1,07
140	0,54	0,15	0,13	598,99	597,58	301,60	303,23	18,37	0,24	0,53
147	0,45	0,15	0,12	597,97	587,37	302,70	303,73	25,57	1,81	0,35
154	0,50	0,14	0,12	606,58	581,98	303,50	303,92	14,24	4,23	0,15
172	0,38	0,17	0,13	554,00	568,47	301,70	302,93	27,65	2,55	0,42
181	0,36	0,16	0,12	542,48	581,37	304,90	303,96	34,44	6,69	0,32
186	0,32	0,15	0,13	577,95	582,77	307,20	302,55	14,01	0,83	1,54
202	0,29	0,16	0,13	582,27	594,44	306,30	303,14	23,44	2,05	1,04
213	0,27	0,18	0,12	554,13	627,53	307,00	302,57	50,04	11,70	1,45
225	0,26	0,15	0,12	626,89	646,70	313,00	303,28	28,59	3,06	3,20
234	0,25	0,18	0,13	619,70	631,90	312,70	303,05	34,69	1,93	3,20
243	0,24	0,19	0,13	614,03	642,08	313,50	303,03	47,51	4,37	3,44
257	0,25	0,16	0,12	690,59	680,03	312,20	303,67	31,98	1,55	2,81
273	0,23	0,17	0,13	706,76	698,99	312,70	304,74	28,31	1,11	2,62
282	0,24	0,18	0,13	693,35	694,69	313,30	304,48	40,23	0,19	2,90
289	0,23	0,17	0,13	710,85	670,11	315,90	304,91	33,09	6,08	3,59
305	0,23	0,18	0,14	705,36	706,20	316,60	304,92	28,54	0,12	3,84
314	0,21	0,19	0,14	686,71	672,19	314,00	305,46	37,76	2,16	2,78
328	0,34	0,16	0,14	725,37	705,12	310,80	305,05	16,39	2,87	1,89
330	0,41	0,18	0,15	689,16	699,14	312,70	304,46	21,75	1,43	2,69
343	0,37	0,20	0,14	626,72	671,17	310,00	305,11	40,07	6,62	1,62
348	0,35	0,22	0,14	624,23	614,47	312,90	304,17	57,21	1,59	2,86
Erro Médio								33,3	3,3	1,7

Esses resultados são característicos de vegetação de áreas preservadas com a vegetação nativa. O mês de março que é considerado o mais chuvoso para essa região onde está instalada a torre e no DSA 83 foi detectado o valor de IVDN na ordem de 0,52.

Rodrigues et al. (2009) encontraram, em estudo realizado na região semiárida do Ceará, na bacia hidrográfica do Rio Trussu, nos anos de 2000 e 2001, valores de IVDN na

ordem de 0,003 a 0,20 em período de estiagem; já no período de ocorrência de precipitações variou de 0,003 a 0,76, com predominância de valores na classe de 0,20 a 0,39.

Os dados quantitativos do α_{estim} da superfície apresentaram valores de 0,15 a 0,22 para os DSA (3, 140, 147, 186, 225 e 28, 348). Na coluna seguinte estão descritos os valores do albedo medidos pelas torres, sendo o menor valor foi de 0,12 e o maior de 0,15 para os DSA (62, 147, 154, 181, 213, 225, 257 e 330). O valor médio medido do α_{med} foi da ordem de 13% e o estimado de 18%. E o erro médio calculado para essa variável foi de 33,3%.

Para o R_n houve variação entre os valores de 542,48 a 722,32 Wm^{-2} para a estimativa através de dados MODIS, e houve a variação de 568,47 Wm^{-2} (correspondente ao mês mais chuvoso dessa região) a 706,20 Wm^{-2} (correspondente a época de seca), para os dados captados pela torre micrometeorológica. É possível perceber que o R_n_{estim} possui o perfil semelhante ao R_n_{med} , ou seja, quando o R_n_{estim} sofre alguma alteração o R_n_{med} também é alterado. Verifica-se que o Erro Médio, dos valores observados e estimados a partir de dados MODIS, foi de 3,3%.

As aplicações de técnicas de SR orbital, por exemplo, para climas semiáridos e tropicais úmidos são difíceis. O principal problema é a constante presença de nuvens devido ao processo convectivo que é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical (SANTOS et al., 2011). Entende-se que dados medidos são cruciais na validação de resultados de modelos meteorológicos, devido serem mais realísticos para um local específico. No entanto, eles apresentam dificuldades operacionais, sua obtenção requer um alto investimento financeiro e, usualmente, limitam-se às pequenas áreas e não tem representatividade espacial. Dessa forma, o SR se apresenta como um ferramenta importante na obtenção das variações temporais e espaciais das características físicas e biológicas da superfície, por exemplo, o R_n , albedo e IVDN, melhorando assim, as validações das parametrizações dos modelos físicos-matemáticos utilizados nos estudos ambientais.

As colunas 7 e 8 apresentam as comparações entre os dados estimados e medidos. Para o perfil da T_S _estim é possível notar que o maior foi de 316,60 K na época que antecede o verão, e o menor foi de 299,50 K em abril. Os erros percentuais foram de 3,84 e 1,07%, para os maiores e menores da T_S _estim. Com relação ao perfil da T_S _med é possível notar que as maiores temperaturas também foram detectadas para o verão, registrando o maior valor de 305,93K para o dia 314, e o menor registro de 302,22 K no dia 108. O erro médio encontrado foi satisfatório para a variável da T_S , onde o cálculo foi de 1,7.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho utilizou-se apenas dados de Sensoriamento Remoto (SR) (MODIS/TERRA), que é uma de grande utilidade em estudos ambientais, visto que na falta de medições de solo tem-se a opção prática e sem dispêndio de fazer as estimativas do saldo de radiação (R_n), constituiu uma proposição útil para a estimativa e espacialização dos componentes do balanço radiativo à superfície em regiões semiárida dos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Desta forma pode contribuir para o melhor entendimento da interação entre a vegetação de caatinga e a atmosfera e gerar informações de entrada necessárias aos modelos físicos-matemáticos de superfície. Assim, constata-se o êxito na utilização do sensor MODIS para detecção de alterações climáticas locais decorrentes da mudança no uso do solo.

Os resultados dos dados medidos em campo apresentados nesse estudo mostraram-se quase sempre menores para todas as variáveis ao serem comparados com os dados estimados. Assim, as validações das estimativas para as condições de área em recuperação, degradada e preservada indicaram uma boa concordância com as medidas. Porém, é observado um comportamento atípico nos resultados das áreas da PB, onde a área degradada apresentou IVDN maior e albedo menor do que o da área em recuperação, esse comportamento pode estar associado à ausência de precipitação na área em recuperação. A metodologia aplicada neste estudo demonstra que é recomendada, pois de acordo com a análise estatística seus erros médios calculados foram, aproximadamente, de 20% para a maioria das variáveis. Portanto, os resultados derivados do MODIS e validados com dados de superfície se mostraram satisfatório, relevante e eficiente quando empregados em estudos ambientais, e para obter coerentes variações temporais e espaciais de características da superfície, ajudando na melhoria e na validação de parametrizações de modelos físico-matemáticos. O bom desempenho das estimativas confirma a eficiência do método em regiões semiáridas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA- **Agência Executiva de Gestão DSA Águas do Estado da Paraíba**. 2014/2015. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br>>. Acesso em 15 e 23 de dezembro de 2015.
- ALBUQUERQUE, S. G. de. Caatinga vegetation dynamics under various grazing intensities by steers in the Semi-Arid Northeast, Brazil. **Journal of Range Management**, v.52, p.241-248, 1999.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Cropevapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. United Nations FAO, Irrigation and Drainage, N.Y., Paper No. 56, 1998.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, p.380-394, 2007.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. do. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v.22, n.3, p.126-135, 2009.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**4: p.149-153, 1981.
- ANDRADE, R. G. **Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar**. 2008, 164f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa – MG, 2008.
- ARAÚJO, A. L. **Calibração do balanço de radiação diário através de dados de superfície e de sensores orbitais**. 2010, 114f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande - PB, 2010.
- ARAÚJO, A. L. **Operacionalização do balanço de energia e evapotranspiração em escala regional com dados de sensores orbitais**. 2014, 102f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande - PB, 2014.
- ARAÚJO, A. L.; SILVA, B. B.; BRAGA, C. C. Simplified modeling of down welling long-waveradiation over brazilian semi-arid under irrigation conditions. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.30, p.137-145, 2012.
- ARAÚJO, L. E. de L.; SOUSA, F. A. S. de; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S. dos; MEDEIROS, P. C. da. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Rev. bras. meteorol.** vol.23, n.2, p. 1982-4351, 2008.
- ATAÍDE, K. R. da P.; SILVA, B. B. da; CAVALVANTI, E. P. Resultados preliminares da estimativa do saldo de radiação diurno usando imagens do sensor MODIS (Terra/Aqua) para sai de céu claro. **Revista Sodebrás**, v.1, n.1, 2006.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. R. R. da. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.58, p.241-254, 2003.

AZEVEDO, P. V. de; SOUZA, C. B DE; SILVA, B. B. DA; SILVA, V. P. R.D. DA. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment. **Agricultural Water Requirement**, v. 88, n. 1-3, p. 201-208, 2007.

BADECK, F. W., BONDEAU, A., BOTTCHER, K., DOKTOR, D., LUCHT, W., SCHABER, J., et al. Responses of spring phenology to climate change. **New Phytologist**, v.162, p.295-309, 2004.

BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J. E HOUGHT, D. **MODIS spectral sensivity study: requirements and characterization**. Washington: Nasa, Oct, p.84, 1992.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observations of climate, albedo, and surface radiation over cleared undisturbed Amazonian forest. **International Journal of Climatology**, v. 13, n. 7, p. 783-796, 1993.

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v.212-213, p.198-212, 1998.

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates**. Ph.D. Dissertation, CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, The Netherlands. 1995.

BERNHARDSEN, T. **Geographic information systems: an introduction**. New York: John Wiley e Sons, Inc. 3rd Edition, p.428, 2001.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A. DE; BERNARDO. B. S. DA; LOPES, Ê. F. DE F. E S. 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.

BISHT, G.; VENTURINI, V.; ISLAM, S.; JIANG, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear-sky days. **Remote Sensing of Environment**, v.97, n.1, p.52-67, 2005.

BISHT, G.; BRAS, R. L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.1522-1534, 2010.

BISPO P. C.; VALERIANO, M. M.; DUPLICHT, T. M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.523-530, 2010.

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 - PB, 2011.

CASTELLETTI, C. H. M.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M.. **Quanto ainda resta da Caatinga: uma estimativa preliminar**. In: DUELLMAN, W. E; TRUEB, L. *Biology of Amphibians*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, p.91-100, 2004.

CLARK, D.B., Y. XUE, R.J. HARDING, P.J. VALDES. Modeling the Impact of Land Surface Degradation on the Climate of Tropical North Africa. **Journal of Climate**, v.14, p. 1809–1822, 2001.

COSTA, M. V. G. **Estimativa do saldo de radiação na região semiárida da Paraíba por meio de sensoriamento remoto orbital**. 2015, 90f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande - PB, 2015.

CHIANG, J.C.H. e A. KOUTAVAS. Tropical flip-flop connections. **Nature** 432: p. 684-685, 2004.

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S. e 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.

CURRAN, P. J. **Principles of Remote Sensing**. London: Longman, 282p. 1985,

DIAK R.G. e GAUTIER C. Improvements to a simple physical model for estimating insolation from GOES data. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 22, p. 505–508, 1983.

DUFFIE, J. A. e BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal process**, 2nd Ed., Wiley, N. Y. 1991.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bioma Caatinga é o novo tema da Agência de Informação**, 2012. Disponível em <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2015.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE (EMPARN): Disponível em <www.emparn.rn.gov.br>. Acesso em 26 de fevereiro de 2015.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE (EMPARN). Disponível em <www.emparn.rn.gov.br>. Acesso em 01 de junho de 2015.

FERREIRA, L.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E. E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). **Remote sensing of environment**, v.87, n.4, p. 534-550, 2003.

FERREIRA, L.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.; SANO, E.E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). **Remote sensing of environment**. v.87, n.4, 534-550p. 2003.

FUCENE- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2002. **Sistemas meteorológicos causadores de chuva na região nordeste do Brasil**. Disponível em <<http://www.funceme.br/>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2015.

GAUTIER, C.; DIAK, G.; MASSE, S. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. **Journal of Applied Meteorology**, v.19, p. 1005–1012, 1980.

GUIMARÃES, A. P. **Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 78f, 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2009.

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. New York: Academic Press, p.441, 1994.

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVRRH data. **International Journal of Remote Sensing**. v.7, n.11, p.1417-1434, 1986.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Hectares desmatados ilegalmente na caatinga paraibana**. 2015. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 27 de março de 2015.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015. **Estados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 10 de março de 2015.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas e de Vegetação, 2004**. Disponível em, <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2015.

INSA- Instituto Nacional do Semiárido INSA. **Pesquisadores divulgam melhorias no Índice de vegetação do Semiárido com recentes chuvas, 2014**. Disponível em <<http://www.insa.gov.br/>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **The Scientific basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: University Press. Edited by Solomon et al. p. 996, 2007.

JACOBS, J.M.; MYERS, D.A.; ANDERSON, M. C.; DIAK, G. R. GOES surface insolation to estimate wetlands evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.266, p. 53–65, 2000.

JENSEN, J. R., 1949- **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres** / John R. Jensen; tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) ... [et al.]. – São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

JIN, Y.; RANDERSON, J.; GOULDEN, M.L. Continental-scale net radiation and evapotranspiration estimated using MODIS satellite observations. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.2302-2319, 2011.

JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F., MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. In: **Remote Sensing of Environment**. v.83, p. 3 –15, 2002.

KROL, M.S.; JAEGAR, A.; BRONSTERT, A.; KRYWKOW, J. The semiarid integrated model (SDIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. **Physics and Chemistry of the Earth (B)**, v. 26. p. 529-533, 2001.

KUSTAS, W. P.; NORMAN, J. M.; ANDERSON, M. C.; FRENCH, A. N. Estimating subpixel surface temperature and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. **Remote Sensing of Environment**, v.85, p.429-440, 2003.

LEAL, I. R.; DA SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JR., T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v.1, n.1, p.1-8, 2005.

LIMA, E. de P.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, B.B. da; GLERIANI, J.M.; SOARES, V.P. seasonality of net radiation in two sub-basins of Paracatu by the use of MODIS sensor products. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.32, n.6, p.1184-1196, 2012.

MARQUES FILHO, A. O. Regime de radiação solar e características da vegetação- Modelos de inversão. **Acta Amazonica**, v. 27, n. 2, p. 119-134, 1997.

MATALLO Jr, H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO Jr, H (org.). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, p. 9-25, 1999.

MA, Y.; SU, Z.; LI, T. K; MENENTI, M. Determination of regional net radiation and soil heat flux over a heterogeneous landscape of the Tibetan Plateau. **Hydrological Processes**, v.16, p. 2963–2971, 2002.

MENDONÇA, J. C. **Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense**. 145f, 2017. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MENESES, P. R. e ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Brasília: CNPq, v. 1. p.256, 2012.

MOLION, L. C. B. On the dynamic climatology of the Amazon basin and associated rain-producing mechanisms. In: DICKINSON, R. E. (Ed.). **Geophysiology of Amazonia: vegetation and climate interactions**. New York: John Wiley & Sons, p. 391-407, 1987.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MONTEITH, J.L. e UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics** .2.ed. London: Edward Arnold, p.291,1990.

NASA- National Aeronautics and Space Administration. 2014. Disponível em <<http://www.nasa.gov>>. Acesso em: 12 de março de 2015.

NASA- National Aeronautics and Space Administration. 2015. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/>>. Acesso em: 17 de março de 2015.

NOVO, E. M. L. de M.; **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª Edição – São Paulo: Blucher, 2010.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 308 p. 1989.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2. ed. New York: Methuen & Co. Ltd, p. 435, 1987.

OLIVEIRA, M. B. L.; SANTOS, A. J. B.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; CORREIA, M. F.; MOURA, M. S. B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n. 3b, p. 166-174, 2006.

OYAMA, M. D. e NOBRE, C. A. 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letter**, v.30, n.23, p.2199, 2003.

PAN-BRASIL. **Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos, 2005.

PENNINGTON, R.T.; MATT, L.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A.; PELL, S. K.; BUTTERWORTH, C.A. Historical climate change and speciation: Neotropical seasonally dry forest plants show patterns of both Tertiary and Quaternary diversification. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London (B)** 359: 515-538. 2004.

PENNINGTON, R. T.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, v. 27, p. 261-273, 2000.

PEZZOPANE, J.E.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A.; MEYER, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.1-4, 1995.

PRADO, D.E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, R.I.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. da. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p.823, 2003.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. DA. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.29, p.452-465, 2009.

RUHOFF, A.L.; PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W.; ARAGÃO, L.E. O.C.; ROCHA, H.R.; MALHI, Y.S.A MODIS-Based Energy Balance to Estimate Evapotranspiration for Clear-Sky Days in Brazilian Tropical Savannas. **Remote Sensing**, v.4, p.703-725, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B. e SAMPAIO, Y. Preservação da vegetação nativa, especialmente de Caatinga: custos e responsabilidades. Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 3, Recife-PE. **Anais, Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, CDROM, p.17, 1999.

SANTANA, J. A. S. e SOUTO, J. S. Diversidade e estrutura fitossociológica da caatinga na estação ecológica do Seridó, RN. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 232-242, 2006.

SANTOS, C. A. C. DOS; NASCIMENTO, R. L.; RAO, T. V. R. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. **Atmosfera**, v.24, p.435 -446, 2011.

SANTOS, C. A. C. DOS; SILVA, B. B. da; RAO, T. V. R.; SATYAMURTI, P.; MANZI, A.O. Downward longwave radiation estimates for clear-sky conditions over Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, p.443-450, 2011.

SANTOS, C. A. C. DOS; WANDERLEY, R. L. N.; ARAÚJO, A. L.; BEZERRA, B. G. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na amazônia (estação seca) através do sensor MODIS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, n.3, p. 0102-7786, 2014.

SANTOS, F. A. C. **Alterações no balanço radiativo e impactos climáticos decorrentes do uso da terra no Estado de São Paulo**. 83f, 2011. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.

SANTOS, F. A. C. **Estimativa dos fluxos de CO₂ e evapotranspiração em áreas de Caatinga em recuperação e degradada no Estado da Paraíba**. 124f, 2015. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2015.

SILVA, B. B. e BEZERRA, M. V. C.; Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P.V. DE. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. da. Surface energy fluxes and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 6, p. 1391-1396, 2007.

SOUZA, J.D. e SILVA, B.B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM - Landsat5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 1-10, 2005.

SOUZA, J.D.; SILVA, B.B.; CEBALLOS, J.C. Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 1, p. 31-44, 2008.

STRAHLER, A.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIN, E.; MOODY, A. **MODIS land cover and land-cover change products algorithm theoretical basis document (ATBD)**. Version 5.0, Center for Remote Sensing, Department of Geography, Boston: University, May, p.72, 1999.

TANG, B. e LI, Z.L. Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud-free data. **Remote Sensing of Environment**, v.12, p.3482-3492, 2008.

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.; BASTIAANSEN, 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.

VERMOTE, E. F.; EL SALEOUS, N.; JUSTICE, C. O.; KAUFMAN, Y. J.; PRIVETTE, J. L.; REMER, L.; ROGER, J. C.; TANRE, D. Atmospheric correction of visible to middle-infrared EOS-MODIS data over land surfaces: background, operation algorithm and validation. **Journal of Geophysical Research-Atmosphere**, v.102, n.14, p.17131–17141, 1997.

WOLF, R.E.; NISHIHAMA, M.; FLEIG, A.J.; KUYPER, J.A.; ROY, D. P.; STOREY, J.C.; PATT, F. S. Achieving Sub-Pixel geolocation accuracy in Support of MODIS Land Science. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1- 2, p. 31-49, 2002.

ZHANG, B.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, L. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 10, p.1629-1640, 2008.

