



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**CAROLINA SOUZA LEITE DE JESUS**

**VALIDAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DO PASSADO E CENÁRIO FUTURO DE  
DESERTIFICAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JUNHO – 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**CAROLINA SOUZA LEITE DE JESUS**

**VALIDAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DO PASSADO E CENÁRIO  
FUTURO DE DESERTIFICAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JUNHO – 2017

**VALIDAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DO PASSADO E CENÁRIO  
FUTURO DE DESERTIFICAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**CAROLINA SOUZA LEITE DE JESUS**

Monografia aprovada em 23 de junho de 2017.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado – UFRRJ  
Orientador

---

Tamires Partélli Correia – UFRRJ  
Membro

---

Daniel Costa de Carvalho – UFRRJ  
Membro

*“Sempre chega a hora em que descobrimos  
que sabíamos muito mais do que antes  
julgávamos. ”*

(José Saramago)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus, aos meus avós, aos meus pais e ao meu amor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me iluminar e me amparar.

A minha mãe, Lucimar, por todas as abdições que fez por mim, por sempre ter colocado minha educação em primeiro lugar, o que me permitiu chegar até aqui. Por nunca ter duvidado de mim até mesmo quando eu duvidei. Por ter caminhado ao meu lado e ter sido a minha rocha, sempre.

Ao meu pai, Henrique, por todo o esforço, por me ter como sua garotinha, por confiar em mim.

Aos meus avós Hyppólito e Maria, que me fizeram conhecer a dor da partida no ano em que ingressei na faculdade, carregando vocês sempre comigo aonde quer que eu vá.

Ao meu namorado, Júnior, que caminhou de mãos dadas comigo durante os longos cinco anos da graduação, que entendeu minhas ausências, amparou minhas crises e me apoiou, mesmo quando isso fazia a saudade doer um pouquinho mais.

A minha avó Guiomar, por ser minha primeira fã, pelo colinho e mimo de vó, mas principalmente por ser um exemplo de mulher guerreira e determinada, e por me ensinar a ser um pouquinho assim também.

Ao meu orientador, Dr. Rafael Coll Delgado, pela oportunidade de trabalhar com o que amo, pela dedicação e paciência, por estar sempre disponível a me ensinar, pelos valiosos conselhos.

Aos amigos do LSRACA pela companhia nas longas horas de trabalho e pela amizade.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que foi a minha casa, que me permitiu crescer pessoal e profissionalmente e encontrar pessoas maravilhosas no caminho.

A FAPERJ pela bolsa de iniciação científica.

Aos meus amigos, Paulinho, Cristiano, Luciana, Denise e Vinícius, pelos momentos vividos na bike e fora dela, por todo o apoio, pelas risadas até a barriga doer, por me acompanharem nessa paixão, por ajudarem a manter minha mente sã e a esquecer os problemas.

A minha turma Curumim, aos amigos Alan Douglas e Rafael Fernandes e a todos os amigos do curso de Engenharia Florestal, por terem me acolhido e tornado esses cinco anos mais leves. Por todos os momentos de desespero compartilhado, risadas por cima de uma calculadora e trabalhos de campo menos exaustivos.

As minhas companheiras de casa, Adriana Rosa, Ana Cecília Pancotti e Ana Couto, pela amizade e companheirismo, pelas noites de estudo que iam até a exaustão, por rirem de tudo e do nada comigo, por combinarem suas loucuras com as minhas; vou sentir saudades imensas da nossa casinha.

As minhas amigas de infância Amanda e Talita, pela confiança e apoio.

As minhas afilhadas, Maria Eduarda e Maria Heloísa, por serem a dose de fofura que eu preciso, por aquecerem meu coração a cada demonstração de amor e carinho.

A toda a minha família e a todos que de alguma forma colaboraram e torceram pelo meu êxito.

Muito obrigada!

## RESUMO

As mudanças climáticas induzem alterações de condutas da comunidade em geral e órgãos de gestão territorial em todo mundo. Previsões climáticas apontam principalmente redução significativa da pluviosidade, favorecendo ainda mais os processos de desertificação. Este trabalho tem como objetivo a predição de áreas susceptíveis à desertificação para o Estado do Rio de Janeiro. Para elaboração da predição de desertificação, foram testados anteriormente os modelos climáticos Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCMA) e Geophysical Fluid Dynamic Laboratory (GFDL) para o cenário intermediário A1B, a partir de dados de radiação solar global no período baseline (1961-1990) gerados pelos modelos, dados de Estações Meteorológicas Convencionais e do sensor orbital Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) MODIS Land Cover Type (MCD12Q1). Foram realizados testes para os modelos gaussiano, esférico e exponencial. Foram utilizados para a predição de áreas susceptíveis à desertificação posteriormente, dados futuros (2046-2065) do modelo Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCMA), o Índice de Aridez e focos de incêndio. Os valores de grau de dependência espacial (GDE) obtidos para o modelo CCCMA foram 0,15 para o modelo exponencial; 23,09 para o esférico e 36,31 para o modelo gaussiano. Já para o modelo GFDL os GDE encontrados foram 43,95 para o modelo exponencial; 54,48 para o esférico e 59,67 para o modelo gaussiano. O modelo CCCMA utilizando a equação exponencial foi o que resultou no menor valor de GDE, sendo classificado com forte dependência espacial para o estado do Rio de Janeiro, sendo assim o mais indicado para realização de predições. O município Porciúncula foi o único que apresentou classe climática como Subúmido Seco, enquanto todos os outros foram classificados como Subúmido Úmido, também foi o que apresentou maior caráter árido. Cambuci, Porciúncula e Campos dos Goytacazes obtiveram maiores caracteres áridos enquanto Angra dos Reis, Paraty e Resende obtiveram os menores caracteres áridos. O mesmo ocorreu em relação aos focos de incêndios, os quais estarão em sua maioria no município de Campo dos Goytacazes, ocupado por vegetação savânica, e em sua minoria em Angra dos Reis e Paraty, ocupados por Floresta Ombrófila. Toda a metodologia proposta foi eficiente na predição de áreas susceptíveis à desertificação e a Região Norte Fluminense foi tida como a mais susceptível à ocorrência de incêndios.

**Palavras-chave:** mudança da paisagem, desertificação, modelos numéricos de previsão climática.

## ABSTRACT

Climate change induces changes in community conduct in general and territorial management bodies around the world. Climatic forecasts pointing mainly to significant reduction of rainfall, further favoring desertification processes. This work aims to predict areas susceptible to desertification for the State of Rio de Janeiro. In order to elaborate the prediction of desertification, the climate models of the Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CCCMA) and Geophysical Fluid Dynamic Laboratory (GFDL) for the intermediate scenario A1B were analyzed from data of global solar radiation in the baseline period (1961 -1990) generated by the models, data from Conventional Weather Stations and the MODIS Land Cover Type (MCD12Q1) orbital Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor. Tests were performed for the gaussian, spherical and exponential models. For the prediction of areas susceptible to desertification, future data (2046-2065) of the Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CCCMA), the Aridity Index and fire outbreaks were used. The spatial dependence degree (GDE) values obtained for the CCCMA model were 0.15 for the exponential model; 23.09 for the spherical and 36.31 for the Gaussian model. For the GFDL model, the GDE found were 43.95 for the exponential model; 54.48 for the spherical and 59.67 for the Gaussian model. The CCCMA model using the exponential equation resulted in the lowest GDE value, being classified with a strong spatial dependence for the state of Rio de Janeiro, being the most suitable for prediction. The Porciúncula municipality was the only one that presented climatic class as Dry Subhumid, while all others were classified as Wet Subhumid, was also the one that presented greater arid character. Cambuci, Porciúncula and Campos dos Goytacazes obtained larger arid characters while Angra dos Reis, Paraty and Resende obtained the smallest arid characters. The same occurred in relation to the outbreaks of fires, which will be mostly in the municipality of Campo dos Goytacazes, occupied by savanna vegetation, and in its minority in Angra dos Reis and Paraty, occupied by Ombrophyllous Forest. All the proposed methodology was efficient in predicting areas susceptible to desertification and the Northern Fluminense Region was considered the most susceptible to the occurrence of fires.

**Keywords:** landscape change, desertification, numerical models of climate prediction.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo geral .....	2
2.2. Objetivos específicos .....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	2
3.1. Radiação Solar Global .....	2
3.2. Índice de Aridez.....	3
3.3. Mudanças Climáticas .....	4
3.4. Focos de Incêndios.....	6
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4.1. Área de Estudo.....	8
4.2. Escolha do Modelo de Predição .....	10
4.2.1. Radiação Solar Global.....	10
4.2.2. Estatística Descritiva .....	11
4.2.3. Análise Geoestatística .....	11
4.2.4. Aplicação do Sensoriamento Remoto para Escolha do Modelo.....	12
4.3. Índice de Aridez.....	12
4.3.1. Obtenção de Dados.....	12
4.3.2. Evapotranspiração Potencial Anual .....	12
4.3.3. Cálculo do Índice de Aridez .....	13
4.4. Associação a Focos de Incêndios .....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	14
5.1. Escolha do Modelo .....	14
5.2. Identificação de Áreas Susceptíveis à Desertificação.....	19
6. CONCLUSÃO.....	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização Geográfica da área de estudo e pontos de grade dos modelos CCCMA e GFDL utilizados no estudo. ....	9
<b>Figura 2.</b> Radiação Solar Global e Uso e Ocupação do Solo para o período anual (1961-1990) no estado do Rio de Janeiro. ....	16
<b>Figura 3.</b> Radiação Solar Global e Uso e Ocupação do Solo para a estação chuvosa no estado do Rio de Janeiro. ....	17
<b>Figura 4.</b> Radiação Solar Global e Uso e Ocupação do Solo para a estação seca no estado do Rio de Janeiro. ....	18
<b>Figura 5.</b> Distribuição do Índice de Aridez em mapa de uso e ocupação do solo para o Estado do Rio de Janeiro para o período de 2046 a 2065. ....	20
<b>Figura 6.</b> Número de focos de incêndio no período de 01/1999 a 02/2017. ....	21

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Relação dos pontos de grade dos modelos e estações limítrofes.....	10
<b>Tabela 2.</b> Indicadores estatísticos de desempenho para valores anuais de saída dos modelos CCCMA e GFDL para o período baseline (1961-1990) para o estado do Rio de Janeiro. ....	14
<b>Tabela 3.</b> GDE para os modelos CCCMA e GFDL (baseline 1961-1990). ....	15
<b>Tabela 4.</b> Resultado do cálculo de GDE para o modelo CCCMA para a estação seca e estação chuvosa (baseline 1961-1990).....	15
<b>Tabela 5.</b> Classificação dos pontos de grade quanto as classes climáticas, Índice de Aridez, susceptibilidade à desertificação, aos desvios de chuva e temperatura do ar para o período de 2046 a 2065. ....	19
<b>Tabela 6.</b> Estatística Descritiva para focos de incêndios .....	21

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas foram causadoras e motivadoras de transformações culturais e evolutivas em diversos períodos da história humana (STANDAGE, 2005). Atualmente, estas mudanças novamente induzem e ensejam mudanças de condutas da comunidade em geral e órgãos de gestão territorial. De acordo com Marengo (2007), o Brasil é vulnerável às atuais mudanças climáticas e ainda mais àquelas projetadas para o futuro, principalmente extremos climáticos. Neste sentido, o processo de desertificação tem sido considerado um dos mais graves problemas ambientais da atualidade relacionado às mudanças climáticas.

Diversas previsões climáticas agravam tal situação no Brasil apontando principalmente redução significativa da pluviosidade, favorecendo ainda mais os processos de desertificação, seca e perda de produtividade dos solos. Apesar dos avanços tecnológicos, os eventos climáticos se fazem relevantes nas dinâmicas dos sistemas ecológicos e sociais. Diante das modificações no clima, unidades geopolíticas de alta demografia inseridas em regiões prioritárias para conservação - como os Estados do sudeste brasileiro e o bioma Mata Atlântica respectivamente - apresentam uma grande vulnerabilidade a estas mudanças climáticas assim como menor capacidade de adaptação a uma nova realidade (FERREIRA, 2016).

De acordo com Carvalho (2001) há uma gama de indicadores e índices de desertificação propostos e utilizados em diversas pesquisas. Todavia, o Índice de Aridez é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis à desertificação, já que é o único que utiliza variáveis quantitativas para tal análise (CONAMA, 2008; SAMPAIO, 2003). De maneira geral, os indicadores são vistos sob ponto de vista limitados em termos de representação espacial e temporal. Ressalta-se que para a identificação do processo de desertificação, deve-se fazer uso de indicadores que permitam não só a identificação como também o monitoramento ao longo do tempo das áreas onde o processo ocorre. (CARVALHO, 2001).

Com o aparecimento dos sistemas computacionais surgiram diversas ferramentas para auxílio às análises dos recursos naturais e planejamento territorial, como o emprego das geotecnologias (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009; MIRANDA, 2010). Estas são ciências que utilizam técnicas matemáticas e digitais para o tratamento de informações geográficas. As técnicas de geoprocessamento e produtos do sensoriamento remoto são de custo relativamente baixo, resultados rápidos, tornando-se atrativas em condições de carência de informações adequadas para a tomada de decisão, em grandes ou pequenas áreas geográficas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009; MIRANDA, 2010). Neste sentido, a crescente preocupação sobre as mudanças climáticas alavancou ainda mais a elaboração de novas tecnologias e técnicas de análises remotas. Portanto, as ferramentas geotecnológicas podem auxiliar a representação espacial e temporal dos indicadores de desertificação.

Diante do exposto, fica evidente a necessidade de pesquisas relacionadas ao monitoramento e predição de áreas suscetíveis a desertificação principalmente do bioma Mata Atlântica. No entanto, para a execução dessas pesquisas, há necessidade de regiões representativas e que possuam um banco de dados robusto para as análises. Neste contexto, as unidades federativas brasileiras, como o Estado do Rio de Janeiro,

apresentam potencial para pesquisas relacionadas ao monitoramento e predição de áreas suscetíveis à desertificação do bioma Mata Atlântica. Embora pequeno, em relação aos demais Estados brasileiros, o Estado do Rio de Janeiro apresenta uma alta diversidade geológica, geomorfológica e fitofisionômica. Toda essa diversidade ambiental é regida e coevoluiu com os distintos tipos climáticos do Estado. Além de toda essa diversidade ambiental e climática, o Estado do Rio de Janeiro conta com um acervo bibliográfico e banco de dados climáticos satisfatórios para a realização de pesquisas relacionadas à predição de desertificação. Entretanto, para a realização de estudos referentes à predição climática e desertificação, é fundamental a integração de ferramentas capazes de quantificar e estimar, de maneira satisfatória, as variáveis utilizadas para análises de suscetibilidade (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009; MIRANDA, 2010; GOIS, 2016).

Ratificando as assertivas acima, esta pesquisa foi baseada na hipótese que a integração de modelos climatológicos globais, geotecnologias, Índice de Aridez e focos de incêndio predizem com eficiência áreas susceptíveis à desertificação de determinada região. Portanto, este trabalho tem como objetivo a predição de áreas susceptíveis à desertificação para o Estado do Rio de Janeiro com auxílio do Índice de Aridez e focos de incêndio. Este trabalho visa ainda fornecer dados e resultados que auxiliem na gestão das regiões suscetíveis a desertificação bem como o manejo sustentável dos recursos naturais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Predizer áreas susceptíveis à desertificação para o cenário futuro no Estado do Rio de Janeiro associando à focos de incêndios

### **2.2. Objetivos específicos**

- (i) determinar e escolher o melhor modelo climático para o Estado do Rio de Janeiro;
- (ii) identificar áreas susceptíveis à desertificação no futuro; e
- (iii) avaliar as tendências geradas pelo modelo através da associação de focos de incêndios.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Radiação Solar Global**

A radiação solar é um elemento meteorológico que influencia processos desde a escala micrometeorológica, quando se tratamos fluxos turbulentos, até a grande escala, ao promover aquecimento diferencial no planeta e gerando a circulação geral da atmosfera (BELÚCIO et al., 2014).

De acordo com Borges et al. (2010) a radiação solar é a força motriz para muitos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no sistema Superfície-Atmosfera, e

constitui-se em importante variável meteorológica em estudos de necessidade hídrica de culturas, modelagem do crescimento e produção vegetal, mudanças climáticas, entre outros.

Entre essas variáveis climáticas, a radiação solar global, definida como o total de energia emitida pelo sol, que incide sobre a superfície terrestre, com comprimento de onda compreendido entre 150 e 4.000 nm (ROSENBERG, 1974; SLATER, 1980).

A radiação solar global representa a soma da radiação vinda diretamente do Sol, acrescida da radiação difundida pelas partículas e gases da atmosfera (FUNARI; TARIFA, s.d.).

Macêdo et al. (2016), destacam que a radiação solar global é uma das principais fontes de energia para os processos físico-químicos e biológicos para o crescimento das plantas, processos evapotranspirativos, aquecimento do ar e do solo.

Delgado et al. (2014) estudaram os cenários climáticos pessimista e otimista da radiação solar global baseados no modelo regional HadRM3 para o Estado do Acre a fim de prever o que pode ocorrer com o Estado do Acre, inserido na Região Amazônica, que já tem sido afetada por eventos climáticos extremos nos últimos anos. Delgado et al. (2014) realizaram a simulação para o período de 2070 a 2100 utilizando dados gerados das “saídas” (outputs) do modelo, tendo como “baselines” o período de 1961 a 1990 e chegando ao fim, à conclusão de que a radiação solar global influencia a temperatura da superfície e que a mesma varia entre as estações chuvosa e seca, tendo aumento significativo na estação chuvosa para todos os cenários utilizados.

Macêdo et al. (2016) avaliaram o desempenho de modelos de estimativa da radiação solar global para seis municípios do Estado do Ceará comparando dados de modelos empíricos a dados medidos de temperatura máxima e mínima do ar e radiação solar global obtidos da rede de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para avaliar a representatividade dos modelos foi usada a estatística descritiva, sendo calculado erro padrão de estimativa, erro médio e porcentagem de erro. Chegando à conclusão, ao fim do estudo, de que o modelo que melhor representou os municípios do Ceará foram os de Hargreaves-Samani modificado por Richardson (1985) e de Ball et al. (2004).

Pilau e Angelocci (2014) correlacionaram medidas de saldo de radiação de copas em um trecho de plantio de cafeeiro, com dados de radiação solar global e saldo de radiação de gramado a fim de analisar como tais relações são afetadas pelas escalas temporais de medida e, pelas diferentes áreas foliares no trecho. Em seu estudo chegaram à conclusão de que a arquitetura e área foliar das plantas, assim como a geometria de plantio interferem diretamente na formação do saldo de radiação das copas dos cafeeiros, pondo em evidência o autossombreamento das folhas e determinando relações específicas entre radiação solar global, balanço de energia das folhas e saldo de radiação do gramado. Tal correlação foi notada em todas as escalas temporais.

### **3.2. Índice de Aridez**

O índice de aridez, elaborado por Thornthwaite (1948) e ajustado posteriormente por Penman (1953), calcula a diferença entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema, ou seja, a evapotranspiração (BARROS et al., 2010).

Para Thornthwaite (1948), as plantas correspondem a um meio físico passível de transportar a água do solo para a atmosfera. A partir de então, a classificação climática relacionada com a sua característica seca ou úmida parte também da exigência hídrica da planta, dependendo, portanto, do cálculo do balanço hídrico (ROLIM, 2007).

O índice de aridez é de relevante utilização nos estudos não só de áreas secas, como também mais especificamente nos estudos da desertificação, sendo consenso que a susceptibilidade a este processo está diretamente associada ao nível de aridez do local (FREITAS, 2005; DUARTE, 2003; MATALLO JÚNIOR, 2003).

A importância da determinação deste índice para a desertificação está no fato de a ocorrência deste processo se limitar a áreas secas, e o cálculo deste índice indica exatamente esta condição climática. O índice de aridez é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis à desertificação, já que é o único que utiliza variáveis quantitativas para tal análise (SAMPAIO, 2003).

De acordo com o Programa de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca na América do Sul, o índice de aridez foi utilizado tanto para a determinação das áreas de risco deste processo assim como para a elaboração do Atlas Mundial da Desertificação, publicado pelo Pnuma (BARROS, 2010).

Cunha e Martins (2009) realizaram classificações climáticas utilizando o método de Köppen e de Thornthwaite, que utiliza Índice de Aridez como indicador, para os municípios de São Miguel e Botucatu, concluindo que o melhor método foi o de Thornthwaite por ser mais detalhista e levar mais fatores em consideração, como temperatura, precipitação e evapotranspiração.

Kuinchner e Burion (2001) estudaram o método de Thornthwaite, sendo o Índice de Aridez um dos indicadores utilizados, para realizar a classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul, chegando aos tipos climáticos úmidos e perúmidos.

Francisco et al. (2015) realizaram classificações climáticas para o Estado da Paraíba utilizando os métodos de Köppen e de Thornthwaite e de Thornthwaite e Mather, concluindo que o método de Thornthwaite foi mais sensível aos montantes de chuva, temperatura e relevo. Já o método de Thornthwaite e Mather foi mais restritivo por preconizar escalas distintas de aridez e semiaridez.

Em sua pesquisa, Barros (2010) determinou o índice de aridez para a mesorregião Norte de Minas, de forma que seu trabalho auxiliasse os processos de planejamento e gestão de áreas que apresentassem uma maior susceptibilidade à ocorrência da desertificação em função do rigor climático, chegando à conclusão de que há três estações com moderada susceptibilidade à desertificação e quatro não susceptíveis, além de obter cenários futuros até o ano de 2020 que apontam maiores valores de precipitação e mapas de susceptibilidade que colaboram para a tomada de decisão.

### **3.3. Mudanças Climáticas**

A Organização das Nações Unidas (ONU) conceitua desertificação como “a degradação da terra nas áreas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles, as variações climáticas e as atividades humanas” (BARROS et al., 2012).

De acordo com Sousa (2007), a desertificação é tida por muitos estudiosos e ambientalistas como um dos mais graves problemas ambientais da atualidade, visto que não se trata apenas de um problema ambiental, mas de uma problemática de caráter e efeitos interdisciplinares, abrangendo diversas esferas da sociedade, tais como as de ordem política, econômica, social e cultural. Esse processo é responsável pela perda de mais de 6 milhões de hectares de terras produtivas anualmente, afetando, de forma assustadora, 1/3 da superfície terrestre e assolando, direta ou indiretamente, mais de 900 milhões de pessoas no mundo inteiro, segundo os dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

Dos fatores que originam a desertificação, sabe-se que são múltiplos, complexos, entrelaçados, com inúmeros mecanismos de retroalimentação, tornando sua análise extremamente difícil. A maior dificuldade é que a maioria deles está presente em todas as áreas sujeitas à desertificação. E eles variam no espaço e no tempo. Os fatores extrapolam o âmbito agrícola e estendem-se para atividades econômicas e sociais, por vezes originando-se em áreas muito distantes daquelas onde a desertificação está ocorrendo (SAMPAIO, 2005).

Em função da paisagem desértica ser mais comumente conhecida como dunas, areia e vazio, não há uma clara associação entre a realidade física da desertificação e as imagens estereotipadas dos desertos, o que implica uma dificuldade na percepção do processo de desertificação, uma vez que são notadas simplesmente dunas e areais (MATALLO JÚNIOR, 2001).

Ressalta-se que, apesar do termo desertificação ser oriundo do termo deserto, eles não se confundem e nem têm sua aplicabilidade a um mesmo espaço geográfico, (SAADI, 2000), já que “o termo deserto remete à ideia de tipo de clima e supõe um sistema natural adaptado, com características e limites espaciais definidos” (CONTI, 2008).

Quando ocorre a desertificação, a paisagem de fato apresenta feições tipo desértica. Também é nítida uma relação muito forte entre os termos desertificação e deserto, uma vez que o termo desertificação vem etimologicamente da palavra deserto. Porém, apesar destas semelhanças que acabam por colaborar em uma associação entre os dois termos, e até mesmo uma confusão entre eles, ambos expressam temáticas distintas. É fato que a desertificação não está relacionada com a formação ou mesmo ampliação de desertos, assim como também não se confunde com o conceito de seca (OLIVEIRA-GALVÃO, 2003; CONTI, 2008).

Oliveira Júnior et al. (2016) buscaram compreender os processos de vulnerabilidades à desertificação no Alto Sertão de Sergipe, já que ali se materializam vários indicadores de degradação da natureza e da sociedade. Os municípios estudados se encontram nas Áreas Suscetíveis à Desertificação do Semiárido Brasileiro. Oliveira et al. (2016) concluíram que a desertificação pode ser determinada por mudanças climáticas caracterizada por crescente e ações antrópicas. As chuvas no semiárido sergipano são irregulares e há práticas de agricultura, pecuária e mineração.

Em seu estudo sobre o efeito das mudanças climáticas, mais especificamente, do incremento de temperatura no zoneamento de riscos climáticos da cafeicultura nos próximos 100 anos, nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná utilizando cenários climáticos. Assad et al. (2004) chegou à conclusão de que em 100 anos, nos Estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo, a restrição ao cultivo atingirá mais de 95%

da área dos estados, inviabilizando praticamente a cultura do cafeeiro e no Estado do Paraná, a cultura do café poderá apresentar problemas de qualidade de bebida, sendo este também um fator restritivo para a cultura.

Domingues et al. (2011) quantificaram o prejuízo causado pelas mudanças climáticas no Nordeste no período de 2010 a 2050, de acordo com dois cenários de aquecimento global fornecidos pelo IPCC, de alta e baixa elevação de temperatura, para 8 cultivos agrícolas. O estudo indica um elevado potencial de perdas econômicas no Nordeste, especialmente nos estados mais pobres, quantificando uma perda de R\$ 36,75 bilhões de reais em atividade econômica na Região Nordeste.

Lacerda et al. (2016), identificaram tendências de temperatura e precipitação sobre Araripina (PE/Brasil) utilizando 40 anos de séries temporais, a fim de realizar o balanço hídrico e formular cenários e tendências climáticas para o município de Araripina, no Pernambuco, para o cenário futuro de 2010 a 2050. O estudo evidenciou que os cenários regionalizados de mudanças climáticas para o futuro confirmaram as atuais tendências de aumento das temperaturas do ar para Araripina – semiárido pernambucano. Essas tendências indicaram sinais de processos de aridização, com aumento de até 1,6°C/década da temperatura máxima anual e diminuição da temperatura mínima em até -0,4°C/década.

Bilar et al. (2015), através de uma pesquisa bibliográfica analisou a relação entre mudanças climáticas e migrações, mais especificamente, sobre o deslocamento que ocorre há décadas no Semiárido nordestino e a chegada de haitianos no estado do Acre a partir de 2010. Os autores chegaram à conclusão de que as mudanças climáticas, com fortes alterações no meio ambiente, agravado por ações antrópicas, afetam a qualidade de vida das pessoas no Brasil e em diferentes partes do mundo, sendo este um dos fatores que estimulam esses fluxos migratórios. Bilar et al. (2015) apontam ainda sobre a importância da criação de políticas públicas que atendam satisfatoriamente às necessidades específicas das populações.

### **3.4. Focos de Incêndios**

Tanto nas queimadas quanto nos incêndios, a eliminação do material orgânico por fogo gera a emissão de gases poluentes para a atmosfera, com destaque para o gás carbônico ou dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso. São os chamados gases de efeito estufa ou bloqueadores de calor (IPCC, 2006). O acúmulo destes poluentes na atmosfera provoca mudanças climáticas globais, com efeitos diretos na elevação da temperatura, troca no regime de chuvas e elevação do nível do mar (MEEHL et al., 2007).

Os incêndios ocorrem quando alguns fatores associados à combustão e propagação do fogo tornam-se favoráveis à ignição e à propagação das chamas (NOGUEIRA et al., 2002).

No caso dos incêndios florestais, as condições climáticas, nos incêndios em vegetação, desempenham um papel fundamental na avaliação do comportamento do fogo, sobretudo por causa do dinamismo e da velocidade de suas variações, compondo quadros distintos a cada período de tempo, o que dificulta a sua análise (DELGADO et al., 2007)

Há dois tipos de fatores determinantes do grau de perigo de incêndio: os fatores constantes, representados pelo tipo de material combustível, que reflete os diferentes tipos de vegetação e o relevo (sobretudo através da declividade e exposição das vertentes ao sol); e os fatores variáveis, representados pelas condições atmosféricas (TORRES et al., 2011).

A extensão territorial do Brasil e a diversidade de sua cobertura vegetal, bem como o número expressivo de ocorrências de incêndios florestais verificados no país são fatores que enfatizam a necessidade de um sistema cada vez mais aprimorado e consistente de detecção de incêndios (ANTUNES, 2000; GRANEMAN E CARNEIRO, 2009; CAÚLA et al., 2015).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) avalia que cerca de um quarto de todas as emissões globais de gases do efeito estufa são derivadas do desmatamento e da queima de seus resíduos (FEARNSIDE et al., 2013).

Em seu estudo, Oliveira Júnior et al. (2017), analisaram através de regressão múltipla, dados de focos de calor via satélites ambientais, de Sistemas Frontais e Zona de Convergência do Atlântico Sul, juntamente com o Standardized Precipitation Index e os Relatórios de Ocorrência de Incêndios no Parque Nacional do Itatiaia. Através das análises foi possível chegar à conclusão de que existe um padrão relacional entre os Relatórios de Ocorrência de Incêndios, o Standardized Precipitation Index anual e os episódios de El Niño e sua intensidade na categoria de moderado e forte. Além disso, Oliveira Júnior et al. (2017) concluíram que os meses críticos para a ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia são julho, agosto e setembro.

Torres et al. (2014) produziram um mapa de suscetibilidade a incêndios em vegetação, no perímetro urbano do Município de Ubá, MG, a partir de dados de relevo, uso e cobertura do solo e proximidade de vias de acesso e áreas urbanas, como forma de prover subsídios para o poder público estabelecer políticas de prevenção e medidas de controle. Ao realizar a análise do mapa gerado, Torres et al. (2014) observaram que 80% das ocorrências de incêndios têm-se localizado nas áreas de alto e altíssimo risco, 15% nas de médio risco e 5% nas áreas de baixo e baixíssimo risco.

Assis et al. (2014), buscaram em sua pesquisa identificar locais ideais para implantação de torres de vigilância de incêndios florestais, avaliar a potencialidade do SIG utilizado e testar a eficiência dos métodos de alocação das torres propostos em áreas de caatinga na microbacia do rio do Saco, Santa Luzia, PB, Brasil. Assis et al. (2014) geraram mapas de declividade, uso da terra, orientação das encostas, altimetria, temperatura, precipitação e risco potencial de incêndios. Os pesquisadores chegaram à conclusão de que 61% do território possui elevado risco de incêndios. Na análise das torres, que foram alocadas criteriosamente para o estudo, observaram que a torre 1 obteve maior visibilidade das áreas de alto a extremo risco, e a combinação entre as torres 1 e 5 cobriu maior área, sendo as mais indicadas metodologias para vigilância de incêndios.

Caúla et al. (2015) estudaram dados de satélites meteorológicos e avaliaram a distribuição, porcentagem e regiões homogêneas quanto à focos de incêndios tanto por estados quanto por variações sazonais e mensais em todo o Brasil para o período de 1998 a 2011. Foram colocadas em ênfase, as atividades humanas e suas relações com sistemas de produção e inibidores de chuva. Caúla et al. (2015), observaram que 37,15% dos focos ocorreram na região Centro Oeste, assim como as estações primavera

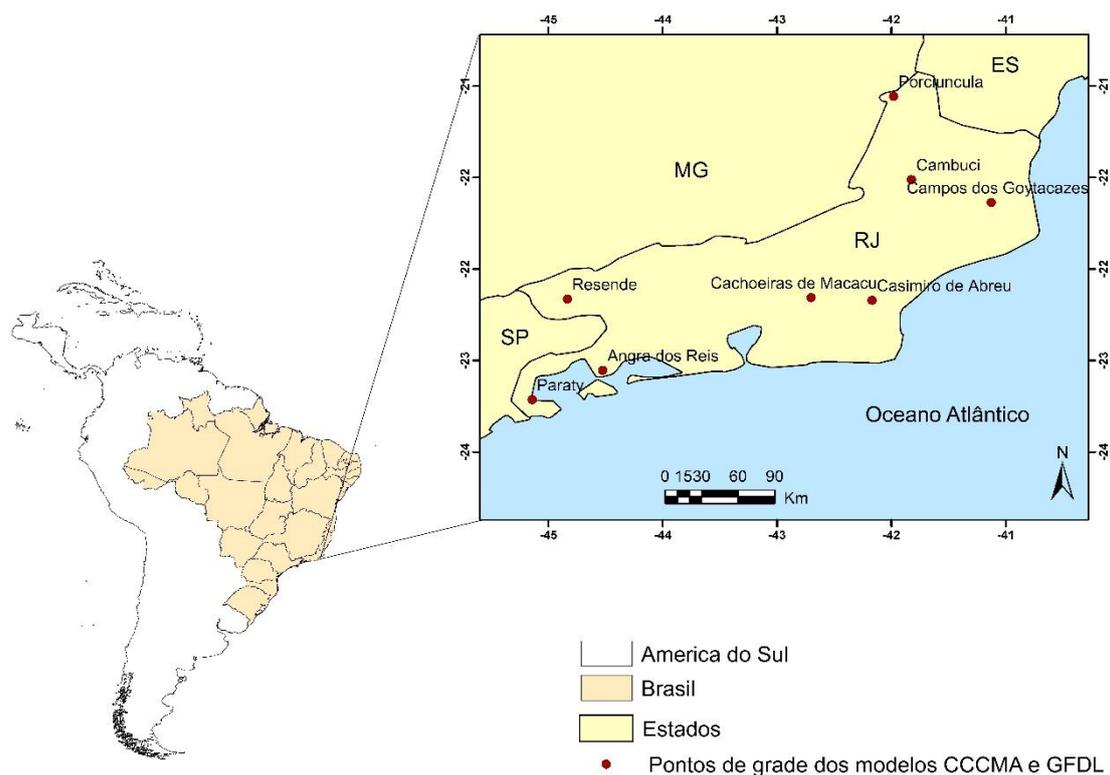
e inverno também obtiveram a maior quantidade de focos no período estudado. O estado do Rio de Janeiro encontrou-se dentre os estados com menor ocorrência de fogo. Também foram encontradas três regiões homogêneas quanto à focos de incêndios no Brasil. Ainda notaram em seu estudo que algumas atividades elevam a ocorrência de fogo, como agricultura, pecuária, mineração e desmatamento.

Caúla et al. (2016) estudaram a relação entre uso e cobertura do solo e focos de incêndio no estado do Rio de Janeiro, bem como avaliaram seu crescimento e declínio, através de testes não paramétricos aplicados ao período de 2000 a 2012. Caúla et al. (2016), observaram que a maioria dos focos de incêndios ocorreram na Região Norte Fluminense, e pertencente a ela, o município de Campos dos Goytacazes apresentou o maior número de focos (72%). Ainda foi possível concluir que dentre as classes de uso e ocupação do solo, a classe pastagem foi a com maior quantidade de focos e que relacionado à incêndios, não houve no período estudado declínio, mas apenas crescimento.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Área de Estudo**

O Estado do Rio de Janeiro se localiza entre os meridianos  $40^{\circ} 57' 59''$  W e  $44^{\circ} 53' 18''$  W e os paralelos  $20^{\circ} 45' 54''$  S e  $23^{\circ} 21' 57''$  S (Figura 1). Está inserido na região Sudeste do Brasil e faz divisa a nordeste com o Estado do Espírito Santo, a norte com o estado de Minas Gerais, a sudoeste com São Paulo e a sul e leste com o Oceano Atlântico. Conta com uma área de 43.766,6 km<sup>2</sup>, um perímetro de 937 km e um litoral de 636 km (CEPERJ, 2017). Embora pequeno, em relação aos demais Estados brasileiros, apresenta uma alta diversidade geológica, geomorfológica e fitofisionômica. Toda essa diversidade ambiental é regida e coevoluiu com os distintos tipos climáticos do Estado.



**Figura 1.** Localização Geográfica da área de estudo e pontos de grade dos modelos CCCMA e GFDL utilizados no estudo.

O clima predominante do Estado do Rio de Janeiro é o Tropical úmido (Köppen, 1948). No entanto, o Estado apresenta uma diversidade climática devido à variedade de ambientes como serras, planaltos de altitude e baixadas litorâneas. Nas serras e planaltos predominam climas com temperaturas mais amenas e elevada precipitação. Já nas baixadas litorâneas, apresentam um clima com temperaturas elevadas e baixa precipitação.

Encontra-se no planalto, sobretudo nas áreas de relevo mais acidentado, o que restou da Mata Atlântica que cobria quase todo o território do Estado do Rio de Janeiro, nela se identificando três tipos de floresta: a Ombrófila Densa, a Ombrófila Mista e a Estacional Semidecidual. Em várias partes do Estado, a floresta está renascendo espontaneamente, nos lugares onde a agricultura e a criação de gado deixaram de ser praticadas. Encontram-se no litoral do Estado outros tipos de cobertura vegetal, como os manguezais e a vegetação existente nas praias, restingas e dunas (CEPERJ, 2017).

De acordo com Mendonça-Santos et al. (2007), na faixa litorânea predomina a vegetação natural de floresta e restinga tropical subcaducifólia, relacionada ao tipo de clima Aw, tropical quente com 3 a 6 meses de seca. São encontrados Gleissolos Melânicos, Háplicos e Tiomórficos, Planossolos Hidromórficos, Espodossolos Cárbcicos ou Ferrocárbcicos. No Noroeste do estado há predominância de Argissolos, no Norte predomina Gleissolo, no Médio Paraíba a maior ocorrência é do Latossolo, já na Costa Verde a maior parte do solo é Cambissolo. Na Região Serrana, na área montanhosa ocorrem Cambissolos ou Latossolos. Nos declives são encontrados Argissolos e solos húmicos.

## 4.2. Escolha do Modelo de Predição

### 4.2.1. Radiação Solar Global

Utilizou-se dados de radiação solar global (MJm-2dia-1) de oito pontos de grades coincidindo com municípios do Rio de Janeiro, gerados pela saída (“output”) dos modelos CCCMA (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis) e GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory) para o cenário intermediário A1B baseado no relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para o período “baseline” de 29 anos (1961-1990). Nesse período, foram calculadas as radiações solar global mensais acumuladas para os dois modelos e para dados provenientes de Estações Meteorológicas Convencionais (EMCs) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo método Penman-Monteith (FAO 56). Para o INMET foi necessário utilizar estações limítrofes por não haver dados de estações coincidentes com todos os pontos de grade dos modelos (Tabela 1). Os pontos de grade coincidentes com os municípios de Porciúncula e Cambuci (RJ) apresentaram a mesma estação limítrofe e sendo necessário excluir um dos pontos para evitar dados duplicados, optou-se por Porciúncula.

**Tabela 1.** Relação dos pontos de grade dos modelos e estações limítrofes

<b>Pontos de Grade</b>	<b>Lat</b>	<b>Lon</b>	<b>Estação Limítrofe</b>	<b>Lat</b>	<b>Lon</b>	<b>Distância</b>
	(°)	(°)		(°)	(°)	(km)
Angra dos Reis	23,01	-44,32	Angra dos Reis	-23,01	-44,32	0
Cachoeiras de Macacu	22,46	-42,65	Nova Friburgo	-22,28	-42,53	39,1
Cambuci	21,58	-41,91	Itaperuna	-21,21	-41,89	83,2
Campos dos Goytacazes	21,75	-41,32	Santa Maria Madalena	-21,95	-42,01	133
Casimiro de Abreu	22,48	-42,2	Cordeiro	-22,02	-42,38	97,8
Paraty	23,22	-44,71	Ubatuba	-23,39	45,01	73,6
Porciúncula	20,96	-42,04	Itaperuna	-21,21	-41,89	43,6
Resende	22,47	-44,45	Resende	-22,47	-44,45	0

#### 4.2.2. Estatística Descritiva

Estimada a radiação solar global mensal acumulada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56), realizou-se a estatística descritiva para os dois modelos CCCMA, GFDL e INMET. O desempenho estatístico dos modelos foi avaliado considerando a correlação linear simples ( $r$ ), coeficiente de determinação ( $r^2$ ), Erro Padrão da Estimativa (EPE) e índice de concordância de Willmott ( $d$ ). Pela avaliação do coeficiente de Willmott (1981 e 2005) foi possível determinar a concordância entre os dados observados (EMCs) e estimados (CCCMA e GFDL). Os valores do coeficiente de Willmott variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para a concordância perfeita.

$$r = \frac{\sum O_i P_i}{\sqrt{\sum O_i^2} \sqrt{\sum P_i^2}} \quad (1)$$

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n - 1}} \quad (3)$$

$$d = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)^2} \quad (4)$$

em que,  $O_i$  valor observado de radiação global ( $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) na  $i$ -ésima observação, média dos valores observados na  $i$ -ésima observação e  $n$  o número de amostras e  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $P_i$  é o valor estimado de radiação global ( $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) na  $i$ -ésima observação.

#### 4.2.3. Análise Geoestatística

Concluída a estatística descritiva dos dados, o passo seguinte foi a análise espacial dos dados e validação dos modelos matemáticos testados. Para os cálculos da geoestatística, utilizou-se o software ArcGis versão 10.2 e o método de interpolação de Krigagem Ordinária (KO), obtidos valores do efeito pepita, patamar, alcance, RMSE e o Grau de Dependência Espacial (GDE) através da ferramenta *Geostatistical Analyst* do ArcGis 10.2 utilizando a radiação solar global para o modelo esférico, exponencial e gaussiano para o CCCMA e o GFDL. Para análise dos resultados da geoestatística foi seguida o método proposto por Cambardella et al. (1994), adotando que para  $GDE < 25\%$  os dados possuem forte dependência espacial, para  $25\% < GDE < 75\%$  os dados possuem moderada dependência espacial e para  $GDE > 75\%$  os dados possuem fraca dependência espacial.

Após as análises de desempenho e escolha do melhor modelo, através de Cambardella et al. (1994) foi calculado GDE apenas para o modelo escolhido para os períodos anuais, seco (maio a outubro) e chuvoso (novembro a abril).

O GDE é calculado pela seguinte equação:

$$GDE = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad (5)$$

em que  $C_0$  = intercepto ou efeito pepita e  $C_0 + C$  = patamar.

#### **4.2.4. Aplicação do Sensoriamento Remoto para Escolha do Modelo**

Foram adicionados aos mapas, rasters das imagens de uso e ocupação do solo do estado do Rio de Janeiro extraído do produto oriundo do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) MODIS Land Cover Type (MCD12Q1) que possui resolução espacial de 500m.

Foi usada a mesma metodologia que Magistrali (2017) para associar o uso e cobertura do solo e os parâmetros físicos da vegetação, pré-processando os produtos MODIS no MRT (*MODIS Reprojection Tool*) para transformá-los do formato HDF (*Hierarchical Data Format*) para GEOTIFF. O ano escolhido, assim como por Magistrali (2017) foi o mais recente, de 2013.

O método de classificação empregado foi baseado em Ataíde (2012), com modificações. Foi seguida a classificação de cobertura de superfície IGBP (Tipo 1) descrita no trabalho, retirando-se as classes de neve e gelo, sem classificação e valor nulo.

### **4.3. Índice de Aridez**

#### **4.3.1. Obtenção de Dados**

Foram utilizados dados de chuva (mm) e temperatura do ar (°C) de oito pontos de grades coincidindo com municípios do Rio de Janeiro. Estes dados foram gerados pela saída (“output”) do modelo com melhor representatividade para o Estado do Rio de Janeiro para o cenário intermediário A1B baseado no relatório do IPCC para o período futuro de 19 anos (2046-2065).

#### **4.3.2. Evapotranspiração Potencial Anual**

Para a determinação do Índice de Aridez é preciso obter os dados de evapotranspiração potencial anual (EP). Para isso, foram calculados os desvios de temperatura e chuva para que fosse possível avaliar o comportamento futuro dessas variáveis climáticas. Posteriormente calculou-se o balanço hídrico com a finalidade de

obter dados de EP (Equação 6), seguindo cálculo proposto por Thornthwaite (1948), para posterior cálculo do Índice de Aridez.

$$EP = 16,2 \left[ \frac{10.T}{I} \right]^a \quad (6)$$

em que, EP corresponde a evapotranspiração potencial (mm.mês<sup>-1</sup>); T à temperatura média mensal do ar (°C); e I corresponde ao índice de calor anual, resultante da soma de 12 índices mensais.

#### 4.3.3. Cálculo do Índice de Aridez

O Índice de Aridez é calculado a partir de dados anuais do balanço hídrico climatológico (BHC) desenvolvido por Thornthwaite e Mather em 1955. Diversos pesquisadores consideram este índice como um importante instrumento agrometeorológico de utilidade e praticidade na caracterização do clima (CAMARGO & CAMARGO, 1993; CARVALHO, 2008). Este índice calcula a diferença entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema, ou seja, a evapotranspiração (FREITAS, 2005; SOUZA, 2004).

$$I_a = \frac{R_a}{ETP} \quad (7)$$

em que,  $I_a$  representa o índice de aridez;  $R_a$  corresponde à chuva hídrica anual; e EP à evapotranspiração potencial anual.

#### 4.4. Associação a Focos de Incêndios

Para a validação das tendências geradas pelo modelo CCCMA foram analisados dados de incêndios associados ao Índice de Aridez e variáveis climáticas do Estado do Rio de Janeiro. Os dados históricos de focos de incêndios do estado do Rio de Janeiro foram obtidos no banco de dados de queimadas do INPE (BDQueimadas-INPE) para o período de 01/01/1999 à 28/02/2017, utilizando todos os satélites disponíveis na plataforma. Foi calculada a estatística descritiva para os focos de incêndio a fim de obter uma melhor forma de analisar a distribuição dos focos. Foram calculados o valor mínimo, valor máximo, média ( $\bar{x}$ ), variância ( $S^2$ ), desvio padrão ( $s$ ) e coeficiente de variação (CV).

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (8)$$

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (9)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (10)$$

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (11)$$

em que,  $x$  representa o valor observado; e  $n$  o número de observações.

Caúla et al. (2016) também utilizaram em seu estudo a estatística descritiva para avaliar a distribuição do número de focos de incêndios entre os municípios do Rio de Janeiro, chegando a resultados satisfatórios.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Escolha do Modelo

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da estatística descritiva para os dois modelos climáticos avaliados para o período baseline. Os resultados fornecidos pelo modelo CCCMA foram próximo de 1 (0,94), indicando maior concordância com os dados das estações meteorológicas do que o modelo GFDL (0,92), uma diferença média de 2,14%.

**Tabela 2.** Indicadores estatísticos de desempenho para valores anuais de saída dos modelos CCCMA e GFDL para o período baseline (1961-1990) para o estado do Rio de Janeiro.

Parâmetros	CCCMA	GFDL
D	0,94	0,92
R	0,20	0,20
EPE (MJ.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	0,89	0,42
r <sup>2</sup>	0,21	0,25

Os dados de correlação dos modelos CCCMA e GFDL apresentaram valores semelhantes ( $r = 0,20$ ), não influenciando essa variável na indicação do modelo de melhor desempenho.

O EPE apresentou o maior erro para o modelo CCCMA (0,89 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) do que para o modelo GFDL (0,49 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>), uma diferença significativa (81% maior) indicando menor ajuste do modelo CCCMA pela avaliação estatística descritiva do EPE.

O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) teve como resultado, melhor valor para o modelo GFDL (0,25) refletindo melhor desempenho. Entretanto, há pouca diferença entre os modelos (16%), sendo o ajuste bom para os dois de acordo com o coeficiente de determinação.

Os valores de GDE foram melhores para o modelo CCCMA exponencial, indicando um melhor ajuste desse modelo para o Estado do Rio de Janeiro (Tabela 3).

**Tabela 3.** GDE para os modelos CCCMA e GFDL (baseline 1961-1990).

		CCCMA	GFDL
GDE	Esférico	23,09	54,48
	Exponencial	0,15	43,95
	Gaussiano	36,31	59,67

A partir desse resultado, realizou-se o cálculo do GDE para os períodos seco (maio a outubro), chuvoso (novembro a abril) e anual (janeiro a dezembro) do Estado do Rio de Janeiro (Tabela 4) para avaliar o desempenho nas diferentes épocas do ano na região.

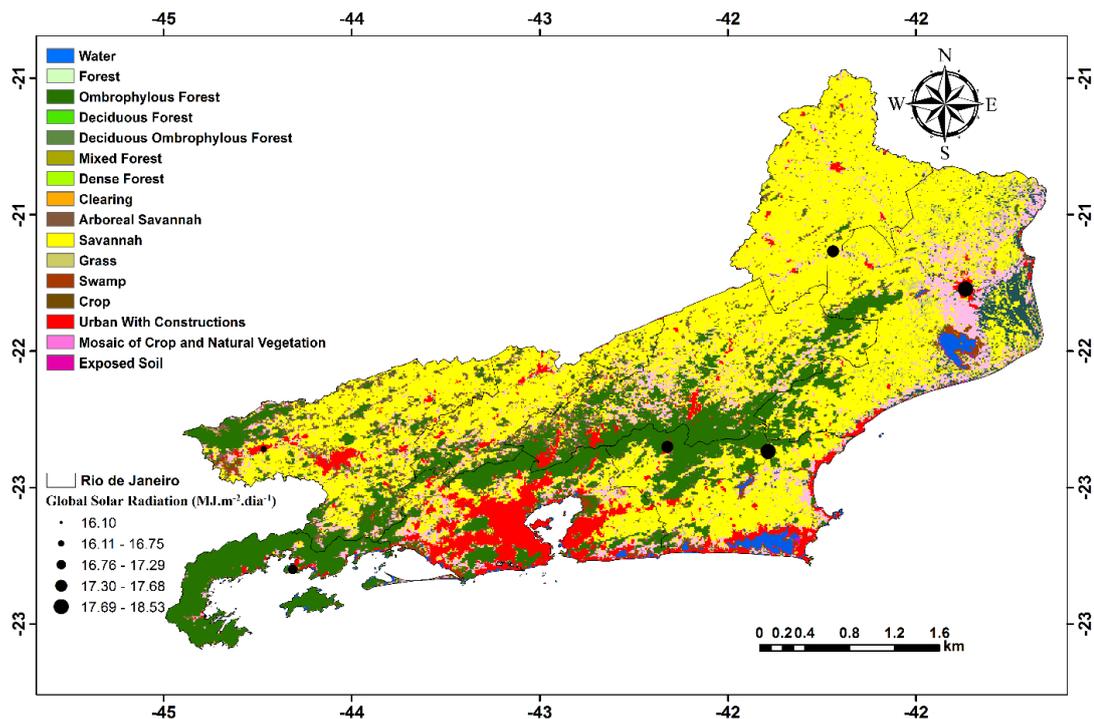
**Tabela 4.** Resultado do cálculo de GDE para o modelo CCCMA para a estação seca e estação chuvosa (baseline 1961-1990).

		SECO	CHUVOSO
GDE	Esférico	71,36	32,36
	Exponencial	70,01	0,21
	Gaussiano	71,64	50,68

O resultado do GDE para o CCCMA foi melhor para o modelo exponencial nos três períodos, indicando forte dependência espacial para o período chuvoso e moderada dependência espacial para a estação seca, de acordo com Cambardella et al. (1994).

Sobrepondo o raster do produto MODIS (MCD12Q1) aos dados de radiação solar global do modelo CCCMA-Exponencial para o período anual (Figura 2), foi possível notar que os maiores valores de radiação solar global estavam sobre as regiões Norte Fluminense e Baixadas Litorâneas (18,07 MJm-2dia-1) e Noroeste Fluminense (17,49 MJ.m-2.dia-1), com predominância de vegetação de mosaico de cultivo e vegetação natural, savana, fragmentos de floresta ombrófila e construções urbanas (NASA EOSDIS, 2017). Baixos Valores são encontrados no Médio Paraíba (16,43 MJ.m-2.dia-1) e Costa Verde (16,10 MJ.m-2.dia-1), com uso do solo correspondente a construção urbana e savana no Médio Paraíba e floresta ombrófila na Costa Verde (NASA EOSDIS, 2017).

Valores mais baixos da radiação solar global podem estar associados aos eventos de chuvas, nebulosidade e da presença marcante do bioma Mata Atlântica (ROCHA et al., 2003). Na região sul do estado, segundo André et al. (2008) podem ser explicados pela conformação da costa e a influência sofrida pela alta umidade proveniente do oceano. A configuração do relevo da Serra do Mar atua diretamente no clima do estado. A região sul recebe maiores quantidades de chuva devido a influência mais direta do oceano. Por sua vez, as regiões Norte e Noroeste Fluminense estão localizadas a maiores distâncias do oceano, recebendo menores quantidade de chuva e nebulosidade, o que acarreta no aumento significativo da radiação solar global nestas regiões.



**Figura 2.** Radiação Solar Global e Uso e Ocupação do Solo para o período anual (1961-1990) no estado do Rio de Janeiro.

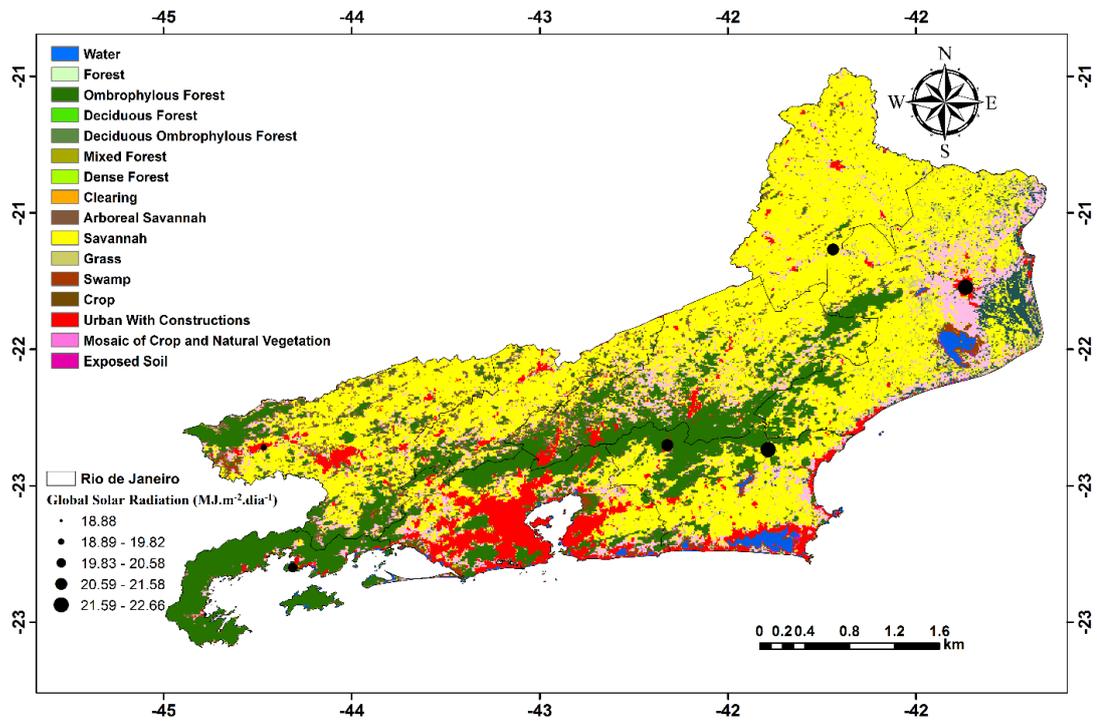
As áreas que possuem os menores valores de radiação solar global são apresentadas na Figura 2, essas áreas podem funcionar como ilhas de frescor, principalmente no cenário intermediário A1B do IPCC, para a climatologia baseline (1961-1990). De acordo com o estudo desenvolvido por Delgado et al. (2014) no Estado do Acre os corpos hídricos ajudam na manutenção das ilhas de frescor, já que estas ilhas não refletem a energia recebida na faixa do infravermelho e apresentam ainda baixa refletividade.

Outro estudo destaca os corredores fluviais como controladores da qualidade ambiental de uma região, sendo uma de suas atribuições o estabelecimento de condições adequadas de controle climático (ÉRICA et al., 2011). Em um estudo de conforto térmico em três cidades (Campinas, Bauru e Presidente Prudente) do Estado de São Paulo, Labaki et al. (2012) concluíram que a tolerância para as condições de tempo quente é menor para os usuários de espaço de passagem do que para os espaços de permanência arborizados indicando que esses espaços devem ter uma atenção especial e uma otimização do conforto térmico de seus usuários. No trabalho fica evidente que as áreas não florestadas apresentam um maior gradiente da radiação global acima de 18 MJ.m-2.dia-1 avançando na região Nordeste do Rio de Janeiro, caracterizando assim uma região de ilhas de calor e conforto térmico deficitário.

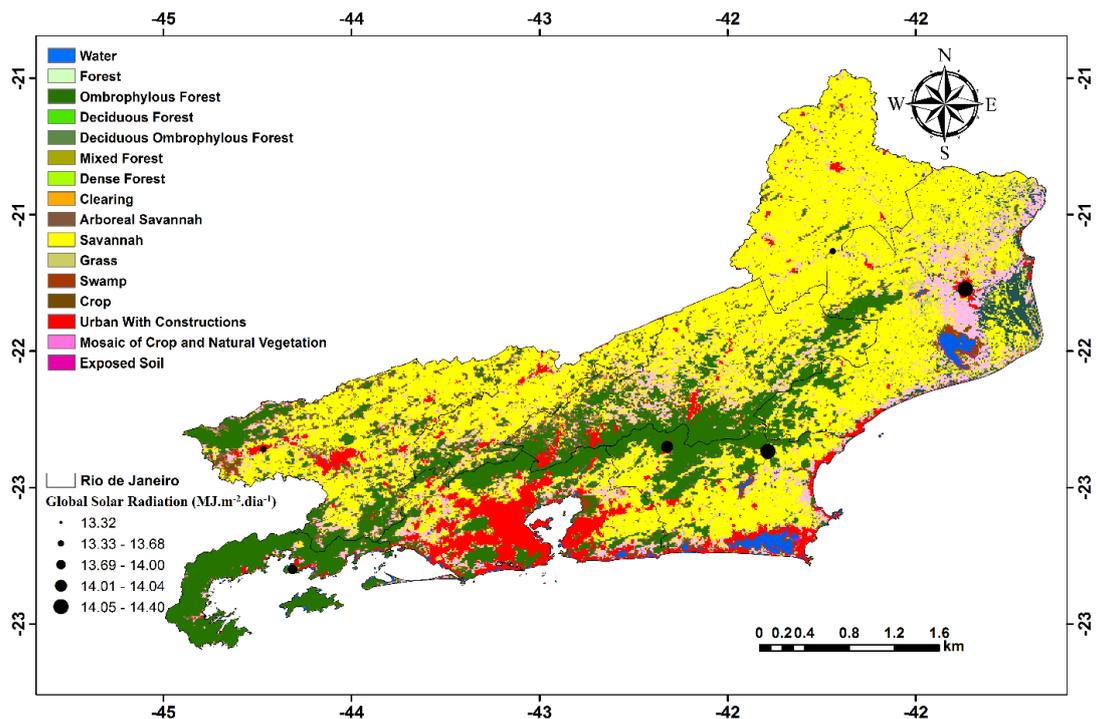
De forma geral, as áreas ocupadas por construções urbanas, savana e mosaico de cultivo apresentaram maiores valores de radiação e sendo os menores quantificados em regiões ocupadas por floresta (LABAKI et al. 2012).

Para a estação chuvosa, através da análise da Figura 3, é possível verificar que a distribuição geográfica da radiação solar global é semelhante à do período anual. Os dados de radiação solar global para o período seco (Figura 4) foram superiores para as

Regiões Norte Fluminense e Baixadas Litorâneas (14,22 MJm-2dia-1), regiões ocupadas por mosaico de cultivo e vegetação natural e floresta ombrófila (NASA EOSDIS, 2017). Menores valores foram verificados na Região da Costa Verde (13,32 MJm-2dia-1), Médio Paraíba (13,50 MJm-2dia-1) e Noroeste Fluminense (13,50 MJm-2dia-1), regiões com predominância de floresta ombrófila, construções urbanas e savana, respectivamente.



**Figura 3.** Radiação Solar Global e Uso e Ocupação do Solo para a estação chuvosa no estado do Rio de Janeiro.



**Figura 4.** Radiação Solar Global e Uso e Ocupação do Solo para a estação seca no estado do Rio de Janeiro

Resultados semelhantes aos obtidos nesse estudo foram encontrados por Delgado et al. (2012) e Costa et al. (2010), nos quais os autores verificaram que os menores valores de radiação solar global ocorriam nas áreas urbanas e com pouca ou sem vegetação. Os autores concluíram que esse padrão deve-se ao fato de o concreto e a areia empregados nas construções possuírem propriedades de absorção térmica, o que faz com que o calor que é irradiado fique concentrado, resultando em áreas de maior campo térmico.

A presença de nuvens na atmosfera modula fortemente a absorção de radiação solar global, por serem boas distribuidoras de radiação de onda curta. No entanto, apesar da estação chuvosa apresentar uma maior presença de nuvens e maiores valores de umidade, que contribuiriam para a redução da absorção de radiação solar global, no período seco foi observado valor de radiação global superior ao período chuvoso em cerca de 57% (CLIMANÁLISE, 2017). Além disso, as florestas tropicais hoje existentes no mundo, após séculos de exploração e milhões de hectares desflorestados, hoje apresentam, grandes áreas convertidas em pastagens, lavouras e centros urbanos contribuindo para o aumento da degradação ambiental e queimadas (FIALHO e ZINN 2014; CAÚLA et al., 2015). A perda da biodiversidade por causas de razões antrópicas, seguido de grandes episódios de incêndios florestais, queimadas e secas extremas implicam em consequências devastadoras aos sistemas florestais no estado do Rio de Janeiro, além disso perdas econômicas e aumento de problemas sociais (CAÚLA et al., 2015).

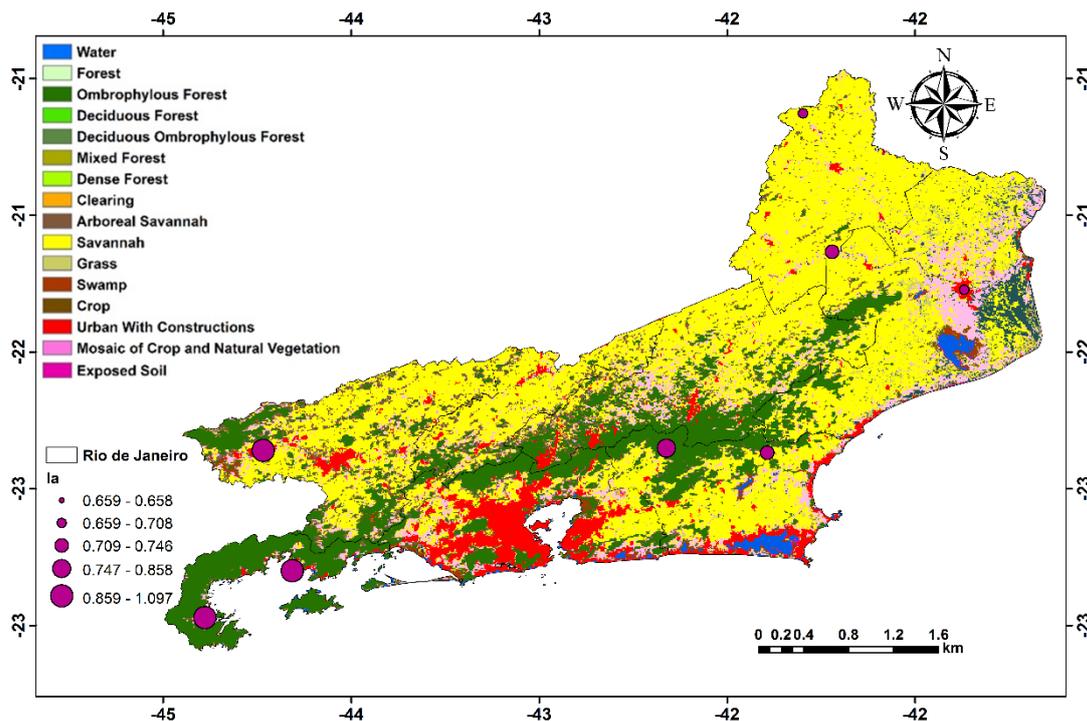
## 5.2. Identificação de Áreas Susceptíveis à Desertificação

O ponto de grade coincidente com o município de Porciúncula foi o único que apresentou classe climática como Subúmido Seco, enquanto todos os outros foram classificados como Subúmido Úmido (Tabela 5). Isso ocorreu devido ao município de Porciúncula apresentar maior desvio de temperatura (2,75°C), indicando que no período futuro o município é o que tende a ter maior aumento dessa variável climática e, portanto, maior probabilidade de desertificação e queimadas. Em Porciúncula, o IA foi o menor entre os 8 pontos de grade (0,658), sendo que quanto menor o valor do índice de aridez, maior será o caráter árido do local (BARROS, 2010).

Analisando a sobreposição do mapa de uso e ocupação do solo (Figura 5), o município de Porciúncula encontra-se em área de ocorrência de vegetação savânica. As savanas, de maneira geral, são caracterizadas por formações vegetais adaptadas ao clima estacional e solos de fertilidade baixa. Esta fitofisionomia também é condicionada frequentemente por queimadas, o que favorece ainda mais os processos de desertificação nessas regiões (ARAÚJO, 2015).

**Tabela 5.** Classificação dos pontos de grade quanto as classes climáticas, Índice de Aridez, susceptibilidade à desertificação, aos desvios de chuva e temperatura do ar para o período de 2046 a 2065.

Pontos de grade municipais	chuva (mm)	Temperatura (°C)	Índice de Aridez	Classe Climática	Susceptibilidade à desertificação
Angra dos Reis	-116,79	2,43	0,967	Subúmido Úmido	Moderada
Cachoeiras de Macacu	-140,72	2,41	0,858	Subúmido Úmido	Moderada
Cambuci	-141,6	2,54	0,734	Subúmido Úmido	Moderada
Campos dos Goytacazes	-190,84	2,22	0,708	Subúmido Úmido	Moderada
Casimiro de Abreu	-171,05	2,24	0,745	Subúmido Úmido	Moderada
Paraty	-82,69	2,48	1,096	Subúmido Úmido	Moderada
Porciúncula	-157,26	2,75	0,658	Subúmido Seco	Moderada
Resende	-115,61	2,57	1,003	Subúmido Úmido	Moderada



**Figura 5.** Distribuição do Índice de Aridez em mapa de uso e ocupação do solo para o Estado do Rio de Janeiro para o período de 2046 a 2065.

Os municípios de Paraty, Resende e Angra dos Reis obtiveram respectivamente os maiores Índices de Aridez, tendo o menor caráter árido dentre os pontos de grade analisados. As regiões estão ainda majoritariamente ocupadas por Floresta Ombrófila. Esses municípios também apresentam os maiores valores de desvio de chuvas (-82,69; -115,61; -116,79), indicando que nessas localidades a quantidade de chuva reduzirá, no entanto, ainda menos que nos pontos de grade restantes.

Já nos municípios Campos dos Goytacazes, Casimiro de Abreu e Porciúncula os desvios de chuvas tiveram valores menores, indicando menor volume de chuva. Tais municípios já possuem menor chuva acumulada anual em relação aos outros.

Nesta realidade de pouca disponibilidade de água, pode-se incluir a baixa quantidade de chuva anual assim como a rede hidrográfica pobre, sendo comum a ocorrência de rios intermitentes. Aliando tais características a sua geomorfologia, de grande aptidão agrícola, coloca-se o ambiente em grande susceptibilidade à desertificação, uma vez que para se avaliar a degradação de uma área deve se levar em consideração a utilização a que tal ambiente é submetido, independentemente do tipo de solo (MATALLO JÚNIOR, 2003).

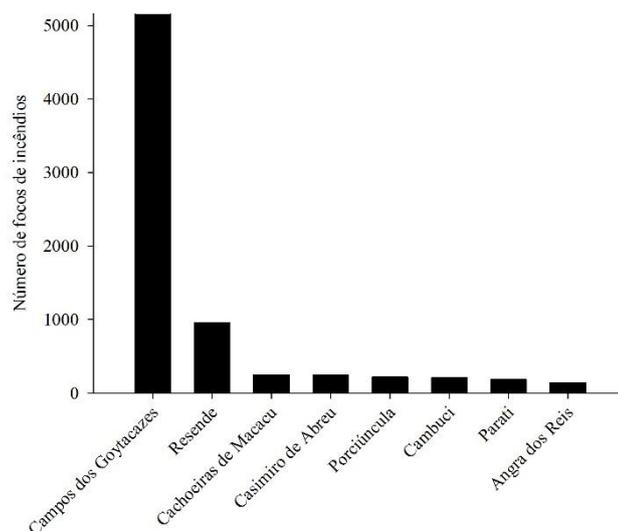
Os municípios de Porciúncula, Campos dos Goytacazes e Cambuci apresentaram menores Índices de Aridez, logo, maior caráter árido, sendo este justificado pelo uso e ocupação do solo na região dos municípios como a savana e área urbana.

Pela análise dos desvios, os municípios que terão maior aumento de temperatura serão Porciúncula, Resende e Cambuci, Porciúncula e Cambuci já possuem temperatura mais elevada em relação aos outros pontos de grade, logo o aumento será considerável.

Associando os dados de desvios de chuva e temperatura aos dados gráficos de queimadas (Figura 6) pode-se perceber que Campos dos Goytacazes possui o maior número de focos de incêndio, tal município possui também um dos menores desvios de

temperatura, indicando que a temperatura do município tende a aumentar. Maiores temperaturas favorecem surgimento de focos de incêndio. Além disso, Campos dos Goytacazes possui ainda o menor desvio de chuva, portanto terá ainda menor quantidade de chuvas.

Os municípios de Angra dos Reis e Parati, obtiveram os menores números de focos de incêndios, sendo em sua maioria ocupados por Floresta Ombrófila enquanto Campos dos Goytacazes possui maior parte do solo coberto por Savana, que como já disposto no presente trabalho, tem maior susceptibilidade à ocorrência de fogo.



**Figura 6.** Número de focos de incêndio no período de 01/1999 a 02/2017.

Através da análise da estatística descritiva (Tabela 6), foi possível chegar à conclusão que a ocorrência de focos de incêndios varia muito, o que pode ser atribuído à existência de diferentes condições climáticas e de uso e ocupação do solo entre os municípios. O município com o valor máximo de focos de incêndio foi Campos dos Goytacazes, onde concentram-se 70,15% dos focos do estado do Rio de Janeiro, assim como o encontrado no estudo de Caúla et al. (2016), que atribuiu a Campos dos Goytacazes 61,48% dos focos de incêndios entre os municípios estudados.

Este município está situado em uma região de alta susceptibilidade de ocorrência de incêndios anuais, incluindo períodos úmidos e de seca, predominância de pastagens e encostas com elevada incidência de radiação solar e áreas com déficit hídrico significativo, que apresentam maior susceptibilidade e ocorrência incêndios no estado (CAÚLA et al., 2016).

**Tabela 6.** Estatística Descritiva para focos de incêndios

Estatística descritiva	
Média	920,13
Mínimo	140,00
Máximo	5164,00
Desvio Padrão	1623,04

Estatística descritiva	
Variância	2634246,36
Coefficiente de variação	176,39

André et al. (2003) analisaram as regiões Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro quanto ao armazenamento mensal de água no solo e seus resultados mostraram que a região Norte do Estado, incluindo Campos dos Goytacazes, apresentam défices hídricos anuais acentuados e excessos zero, nessas localidades o armazenamento de água no solo está abaixo do armazenamento crítico, em todos os meses do ano.

Analisando o Índice de aridez (Ia) de municípios do Norte Fluminense, André et al. (2003) concluíram que o mesmo cresce gradativamente de 1971 a 2000, que a região apresenta grande deficiência de água nos meses de inverno.

Ainda no mesmo estudo, André et al. (2003) observaram que a região Norte Fluminense possui clima sub-úmido seco e, em alguns anos, semi-árido. Os autores ressaltam ainda que há grandes oscilações de chuvas no decorrer do tempo e uma tendência das mesmas diminuírem e tornarem-se negativas com o decorrer dos anos, o que reforça a hipótese de transição para clima semi-árido.

Com aumento da temperatura global e a diminuição dos totais de chuva, as áreas semiáridas podem se tornar áridas e, por sua vez, as áreas classificadas como subúmidas podem se tornar semiáridas, consideradas mais suscetíveis ao fenômeno de desertificação (FAPERJ, 2016).

Arraial do Cabo e Cabo Frio, municípios situados no Norte Fluminense, já apresentam redução das chuvas, hoje é cerca de 750 a 900 mm.ano<sup>-1</sup>, e formação de campo de dunas que podem caracterizar paisagem desértica (FAPERJ, 2016).

Em função da paisagem desértica ser mais comumente conhecida como dunas, areia e vazio, não há uma clara associação entre a realidade física da desertificação e as imagens estereotipadas dos desertos, o que implica uma dificuldade na percepção do processo de desertificação, uma vez que são notadas simplesmente dunas e areais (MATALLO JÚNIOR, 2001).

Todos os resultados desse estudo apontaram que as temperaturas irão subir em média 2,5°C e que os índices pluviométricos serão menores em todos os municípios. No entanto, observa-se as regiões Noroeste e Norte Fluminense como as mais susceptíveis à desertificação e, portanto, de ecossistema mais frágil, por possuírem menor valor de Ia, maior aumento de temperatura e menor quantidade de chuva, mesmo sendo usado um cenário climático intermediário.

Cenários climáticos prevêm que a temperatura aumente tanto a evaporação, que lagos e açudes se tornarão ainda mais secos, a vegetação da caatinga ficará mais pobre, algumas áreas se tornarão semi-desertos e a agricultura será ainda mais difícil (NOBRE et al., 2004; APUD SANTOS, 2008). De acordo com o presente estudo, a ocorrência de chuva será reduzida em todos os municípios estudados, bem como ocorrerá o aumento de temperatura em todas as localidades. Há ainda os municípios que se mostraram mais susceptíveis à desertificação.

Nas regiões de maior susceptibilidade à desertificação (Norte e Noroeste Fluminense), o solo é ocupado por savana (pastagens, solo descoberto), área urbana e mosaico de agricultura e vegetação nativa. Enquanto nas regiões de menor susceptibilidade à desertificação (Médio Paraíba e Costa Verde) o solo é coberto por floresta ombrófila e alguns locais de área urbana.

Os fatores que originam a desertificação são múltiplos, complexos, entrelaçados e com inúmeros mecanismos de retro-alimentação, tornando sua análise extremamente difícil. A maior dificuldade é que a maioria deles está presente em todas as áreas sujeitas à desertificação, variando no espaço e no tempo. Os fatores extrapolam o âmbito agrícola e se estendem para atividades econômicas e sociais, por vezes originando-se em áreas muito distantes daquelas onde a desertificação está ocorrendo. Como fatores influenciadores da desertificação, há todo um conjunto de variáveis ambientais adicionadas ao processo de poluição, falta de educação ambiental e ao manejo incorreto dos recursos naturais (SAMPAIO, 2005; MACHADO et al., 2016).

## 6. CONCLUSÃO

- O estudo demonstrou que a integração do modelo climatológico CCCMA, geotecnologias, Índice de Aridez e focos de incêndio foram eficientes na predição de áreas suscetíveis à desertificação no Estado do Rio de Janeiro.
- A sobreposição entre as classes de uso e ocupação do solo e os pontos de grade das estações meteorológicas se mostram eficientes na análise suscetibilidade. As áreas mais suscetíveis à desertificação estão localizadas em região áridas, com vegetação savânica e/ou pouca cobertura vegetal nativa. Já regiões onde predominam vegetação de Florestas Ombrófilas provavelmente serão as menos afetadas pelos processos de desertificação.
- A Região Norte Fluminense é a mais suscetível à ocorrência de incêndios.

Portanto, os resultados desta pesquisa são de grande valia na gestão das regiões suscetíveis a desertificação e a risco de incêndios, bem como do manejo sustentável dos recursos naturais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDRÉ, R. G. B. et al. Identificação de regiões pluviométricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.4, p.501-509, 2008.

ANDRÉ, R.G.B. et al. Disponibilidade hídrica para a região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 2003.

ANTUNES, M. A. H. Uso de satélites para detecção de queimadas e para avaliação do risco de fogo. **Ação Ambiental**, v. 12, p. 24-27, 2000.

ARAÚJO, F. **Avaliação das áreas queimadas no bioma cerrado: proposições para o monitoramento e conservação**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal De Goiás, 2015.

ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004

ASSIS, F. et al. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 1, p. 133 - 142, jan. / mar. 2014.

ATAÍDE, K. R. P. **Modelagem de determinação da evapotranspiração real para o bioma cerrado por meio de dados de sensoriamento orbital**, 176p. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília. 2012

BANCO DE DADOS DE QUEIMADAS. Disponível em: <<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

BARROS, K. **Índice de aridez como indicador da susceptibilidade à desertificação na mesorregião norte de minas**. Monografia - Universidade Federal de Viçosa, 2010.

BARROS, K.; GLERIANI, J.; RIBEIRO C.; SILVA, E. O estado da arte da desertificação: análise dos principais periódicos da área de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 144-150, 2012.

BELÚCIO, L. et al. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.29 n.4, São Paulo, out./dez. 2014.

BILAR, A. B. C. Mudanças climáticas e migrações: reflexões acerca dos deslocamentos de nordestinos e haitianos no território brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.08, n.06, p. 1673-1691. 2015.

BORGES, V. P. et al. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 74-80, 2010.

CAMARGO, M.B.P.; CAMARGO, A.P. Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather. **Bragantia, Campinas**, v.52, p.169-172, 1993.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, L. G. et al. Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico. In: José Roberto Soares Scolforo; Luís Marcelo Tavares de Carvalho; Antônio Donizette de Oliveira. (Org.). (Org.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**. Lavras: Editora UFLA, 2008, v. , p. 89-102.

CARVALHO, V. C. Abordagem multiescala para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, Brasil, 2001. p.1539 - 1551.

CAÚLA, R. et al. Nonparametric Statistics Applied to Fire Foci Obtained by Meteorological Satellites and Their Relationship to the MCD12Q1 Product in the State of Rio de Janeiro, Southeast Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 3, p. 1056-1067, 2016.

CAÚLA, R. et al. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1497-1508, 2015.

CLIMANÁLISE. **Produtos Climanálise** INPE/CPTEC. 2017. [cited 12 January 2017]. Available from:  
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/bonatti.html>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do Conama: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008** – 2. ed. / Conselho – Brasília: Conama, 2008. 928 p

CONTI, J. B.; O conceito de desertificação. **Revista Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro. v. 3. n9. p. 39. jul/dez. 2008.

COSTA, D. F. et al. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 974-985, 2010.

CUNHA, A. R. e MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga, Botucatu**, v. 14, n. 1, p. 1-11, jan/mar. 2009

DELGADO R. C. et al. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 25, n. 9, p. 69-80, 2012.

DELGADO, R. C. et al. Cenários Climáticos da Radiação Solar Global Baseados no Modelo Regional HadRM3 para o Estado do Acre. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 417-428, 2014.

Disponível em: [http://www.mp.ro.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=36ba5026-f7d8-4381-b984-3f6915382973&groupId=561198](http://www.mp.ro.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=36ba5026-f7d8-4381-b984-3f6915382973&groupId=561198)

DELGADO, R. C. et al. Modelos para prognósticos da umidade relativa do ar em escala horária no município de Muriaé, MG. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: O Eucalipto e o Ciclo Hidrológico. **Anais eletrônicos. Taubaté, Brasil**, 07-09 novembro, 2007. IPABHi p. 295-300

DOMINGUES, E. P. et al. Cenários de Mudanças Climáticas e Agricultura no Brasil: Impactos Econômicos na Região Nordeste. **Documentos técnico-científicos**. v. 42. n. 2 Abr/jun. 2011.

DUARTE, J.J. Desertificação do Semi-árido paraibano. **Revista Conceitos**. João Pessoa. v. 9, n.9, p. 53-60, jan/jun. 2003

ÉRICA, L. Ó. I. S.; LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. Efeitos de diferentes estruturas de vegetação ciliar sobre as variáveis de microclima e a sensação de conforto térmico. Effects of different riparian vegetation structures on microclimatic variables and sensation of thermal comfort. **Revista do Instituto Florestal**, v. 23, n. 1, p. 117-136, 2011.

FAPERJ. **Estudo avalia o risco de desertificação no estado do Rio de Janeiro**. Disponível em < <http://www.faperj.br/?id=3091.2.7>> Acesso em: janeiro/2017

FEARNSIDE, P.; BARBOSA, R.; PEREIRA, V. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Revista Agro@mbiente On-Line**, v. 7, n. 1, p. 95, 2013.

FERREIRA, L. K. R. **Análise comparativa do desempenho de índices de seca aplicados à região do Alto Jaguaribe - Ceará**. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016

FIALHO, R. C.; ZINN, Y. L. Changes in Soil Organic Carbon Under Eucalyptus Plantations in Brazil: A Comparative Analysis. **Land Degradation & Development**, v. 25, p. 428–437, 2014.

FRANCISCO, P. R. M. et al. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.4, p. 1006-1016, 2015.

FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005.

FUNARI, F.; TARIFA, J. **Insolação, radiação solar global e radiação líquida no Brasil**. [s.d.].

GOIS, G. et al. EVI2 index trend applied to the vegetation of the state of Rio de Janeiro based on non-parametric tests and Markov chain. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 32, n. 4, p. 1049-1058, July/Aug. 2016

GRANEMAN D.C.; CARNEIRO G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.1, p. 55-62, 2009.

IPCC. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. 2006

KUINCHTNER, A. e BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum scientia**. Série: Ciências Exatas, S. Maria, v.2, n.1, p.171-182, 2001 171

LABAKI, L. C. et al. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 167-183, 2012.

LACERDA, F. F. et al. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 132-141. 2016

MACÊDO, K. et al. Estimativa da Radiação Solar Global com Dados de Temperatura do Ar em Seis Cidades do Estado do Ceará. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 24, n. 1, p. 68-75, 2016.

MACHADO, F. S. et al. Patrimônio Histórico Ambiental: diagnósticos para criação de unidade de conservação e orientações para o uso público do Jardim Botânico. **Rev. Tur. Anál.**, São Paulo, v.27, n.2, p. 388-413, agosto, 2016

MAGISTRALI, I. C.; **Emprego de modelos climáticos (CCCma e GFDL) como ferramenta para o zoneamento da cana-de-açúcar (Saccharum) no estado do Rio de Janeiro**. 2017. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017

MARENGO, J.A. **O Impacto das Mudanças Climáticas no Brasil**; CPTEC/INPE; 2007.

MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas**. – Brasília: UNESCO, 2001.

MATALLO JUNIOR., H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H (Org). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 2003.

MEEHL, G. A. et al. THE WCRP CMIP3 Multimodel Dataset: A New Era in Climate Change Research. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.88, p.1383-1394, 2007.

MENDONÇA-SANTOS, M. de L. et al. Modelagem e mapeamento digital de estoque de carbono orgânico na camada superficial dos solos (0-10 cm) do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. (**Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 120**).

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília: EMBRAPA, 2010, 425 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – EOSDIS – **NASA's Earth Observing System Data and Information System**. Acesso em 19 janeiro de 2017.  
<[https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial\\_map=satellite&spatial\\_type=rectangle](https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle)>.

NOGUEIRA, G. S. et al. Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. **Revista Árvore**, v.26, n.3, p.363-369, 2002

OLIVEIRA JÚNIOR, J. et al. Relação Entre o Standardized Precipitation Index (SPI) e os Relatórios de Ocorrência de Incêndios (ROI) no Parque Nacional do Itatiaia. **Floresta Ambient.** 2016, vol.24, e20160031. Epub May 08, 2017. ISSN 1415-0980. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.003116>.

OLIVEIRA-GALVÃO, A.L.C.; SAITO, C.H. A modelagem de dados temáticos geoespacializados na identificação dos diferentes níveis de susceptibilidade à desertificação da região semi-árida do Nordeste brasileiro. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, 2003. p. 1399 - 1406. Ouro Preto-MG.

PILAU, F.; ANGELOCCI, L. Balanço de radiação de copas de cafeeiros em renques e suas relações com radiação solar global e saldo de radiação de gramado. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 335-342, 2014.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. Rio de Janeiro: **Parênteses**, 2009

ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; ALVES, M. A. S.; SLUYS, M.V. **A biodiversidade nos grandes remanescentes florestais no Estado do Rio de Janeiro e nas restingas da Mata Atlântica**. Rima Editora, São Carlos, SP. 2003, 146p.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**. Campinas. v.66, n.4, p.711-720, 2007.

ROSENBERG, N. J. Microclimate: The Biological Environment. **New York: Hohn Wiley and Sons**, 1974. 315 p.

SAADI, A. Os Sertões que viram Deserto. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.25, n.1, p.10-17, 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia DCG/UFPE**, Recife, v. 22, n. 2, p. 59-76, 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 202 p.  
Silva FGCS, Pacheco JS. Processo de desertificação: estudo de caso em Irauçuba-CE. **Revista Eletrônica Teccen**. 2016 Jan./Jun.; 09 (1): 47-51.

SLATER P. N. **Remote Sensing, Optics and Optical Systems**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1980. 575 p.

SOUSA, R. F. de. **Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semiárido paraibano**. 2007. 180p.: . Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2007.

SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v.8, n.2/3, p.292-298, 2004.

STANDAGE, T. **História do mundo em seis copos**, Rio de Janeiro: Jorge Zahar. 240 p., 2005

THORTHWAITE, C. W.1948.An approach towards a rational classification of climate. **Geophysical Review London**, Nova Jersey n.38, p.55-94

TORRES, F. et al. Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 811-817, 2014.

TORRES, F. T. P. et al. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v.35, n.1, p.143-150, 2011.