

DADOS METEOROLÓGICOS ESTIMADOS EM CONDIÇÕES DE CLIMA SUBTROPICAL E A RELAÇÃO COM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Estimated Meteorological Data in Subtropical Climate Conditions and their Relation to Vegetation Indices

**Andreise Moreira¹, Denise Cybis Fontana¹,
Tatiana Mora Kuplich² & Maria Angélica Cardoso²**

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
Av. Bento Gonçalves, n° 9500, CEP: 97501-970, Porto Alegre, RS, Brasil
andreisem@gmail.com; dfontana@ufrgs.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
Av. Roraima, CP 5021, CEP: 97105-970, Santa Maria, RS, Brasil
tatiana.kuplich@inpe.br; magcardoso@gmail.com

Recebido em 27 de Julho, 2017/ Aceito em 26 de Setembro, 2017
Received on July 27, 2017/ Accepted on September 26, 2017

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar a qualidade das estimativas de precipitação pluvial obtidas do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e de temperatura do ar do ERA Interim em condições de clima subtropical utilizando dados meteorológicos observados e índices de vegetação dos campos naturais no sul do Brasil. A coleta de dados estimados correspondeu à coordenada geográfica das estações meteorológicas de superfície no estado do Rio Grande do Sul para o período de 2002 a 2012. Os dados coletados dos índices de vegetação (IV's) foram obtidos a partir de 20 polígonos amostrais para 10 tipologias predominantes de vegetação campestre. A análise dos resultados estatísticos entre o TRMM e o ERA Interim apresentou bom desempenho em relação aos dados observados, com valores de correlação para a precipitação pluvial acima de 0,81 e para a temperatura do ar acima de 0,96 para o período de estudo. Na análise entre os IV's e os dados estimados pelo TRMM a correlação tende a ser superior durante a primavera, o verão e o outono e para a temperatura do ar do ERA Interim destaca-se a melhor representação dos IV's para o inverno. Os resultados obtidos para o TRMM, ERA Interim e os dados observados nas estações meteorológicas são aceitáveis e consistentes e indicam a possibilidade do uso dos dados estimados como alternativa para minimizar a ausência de informações sobre precipitação pluvial e temperatura do ar obtidas em rede de estações de superfície.

Palavras-chave: Estações Meteorológicas, TRMM, ERA Interim, EVI, NDVI.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the quality of rainfall estimates obtained from TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) and air temperature of the ERA Interim in subtropical climate conditions using observed meteorological data and vegetation indices in natural grasslands in southern Brazil. The estimated data collection corresponds to the geographical coordinate of the surface meteorological stations in the state of Rio Grande do Sul for the period from 2002 to 2012.

The data collected from the vegetation indices (VI) were obtained from 20 sample polygons to 10 prevailing grassland typologies. The analysis of the statistical results between the TRMM and the ERA Interim presented good performance in relation to the observed data, with correlation values for rainfall above 0.81 and for the air temperature above 0.96 for the study period. In the analysis between the VI and the data estimated by the TRMM the correlation tends to be superior during spring, summer and autumn and for the ERA Interim air temperature highlights the best representation of the VI for the winter. The results obtained for the TRMM, ERA Interim and the data observed in the meteorological stations are acceptable and consistent and indicate the possibility of use of the estimated data as an alternative to minimizing the absence of information on rainfall and air temperature obtained in the network of surface stations.

Keywords: Meteorological Stations, TRMM, ERA Interim, EVI, NDVI.

1. INTRODUÇÃO

A coleta regular e sistemática de dados da superfície terrestre por sensores orbitais permite a construção e a análise de séries temporais com aplicações em diferentes áreas do conhecimento. O uso de séries temporais na detecção de mudanças, tanto de cobertura da terra como de tempo e clima constitui-se uma das importantes aplicações atuais dos dados de sensoriamento remoto (ZHAO *et al.*, 2005; ALEXANDER *et al.*, 2006; BROXTON *et al.*, 2014). Uma das vantagens em utilizar séries temporais de dados meteorológicos é contornar as dificuldades encontradas na aquisição de dados observados em estações meteorológicas de superfície. Por exemplo, a carência de uma densa rede de instrumentos, que muitas vezes é limitada em função de investimentos, ou os problemas técnicos e dificuldade de acesso, os erros de coleta, distribuição espacial inadequada e representação de pequenos espaços geográficos (NÓBREGA *et al.*, 2008).

Como alternativa aos dados observados, estão disponíveis dados estimados, obtidos por satélites meteorológicos e também produzidos por reanálise atmosférica, os quais tornam possível a observação e monitoramento contínuo do tempo e do clima em nível global. Como exemplo de satélites meteorológicos de observação global, atualmente em órbita, destacam-se o GOES e o NOAA - AVHRR (EUA), o Meteosat (Europeu), o MTSAT Japão), o FY-1 e FY-2 (China), o GOMS, o Meteor (Rússia) e o KALPANA (Índia).

Além destes, foi lançado em 1997 o TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), um projeto conjunto entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *Japan Aerospace and Exploration Agency* (JAXA), com objetivo de monitorar as características da precipitação pluvial sobre os trópicos

e sub trópicos, verificar sua influência no clima global e obter informações em regiões com baixa densidade de rede de observações (KUMMEROW *et al.*, 2000). A coleta de dados iniciada pelo TRMM, atualmente é realizada pelo GPM (*Global Precipitation Measurement*), lançado em fevereiro de 2014, o que tem garantido a continuidade da série inicial. Uma das vantagens do TRMM é a distribuição gratuita dos dados e a elaboração de diferentes produtos referente a estimativa de precipitação pluvial diária acumulada (mm/dia) originadas a cada 3 horas.

Validações das estimativas de precipitação pluvial do TRMM têm sido realizadas pelo programa da NASA *Goddard Space Flight Center*, em quatro sítios de observação primária em Terra (Kwajalein Atoll, República das Ilhas Marshall; Melbourne, Flórida; Houston, Texas; e Darwin, Austrália). Nestes sítios, valores observados em pluviômetros e obtidos pelas estimativas do radar do TRMM, obtiveram correlação entre 0,8 e 0,9, o que denota alta qualidade e consistência nos dados estimados (WOLFF *et al.*, 2005). No território brasileiro, Franchito *et al.* (2009) validaram os dados do TRMM a partir de dados observados em estações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Os resultados mostraram que as estimativas de precipitação sazonal para o verão e o outono são confiáveis para as 5 regiões brasileiras. Para a Região Sul, valores significativos de correlação também foram observados durante o inverno.

Outra alternativa para a obtenção de dados meteorológicos estimados é através de séries de reanálise geradas a partir da assimilação de dados meteorológicos obtidos de uma variedade de fontes: estações meteorológicas de superfície, aviões, navios, imagens de satélite, imagens de radar e radiossonda (PARKER, 2016). A

técnica de reanálise atmosférica processa, simultaneamente, uma grande variedade de observações, usando as leis físicas contidas nos modelos de previsão do tempo. Como as observações possuem uma distribuição irregular no espaço e no tempo, a assimilação combina essas informações disponíveis com o modelo de previsão para gerar uma nova análise (QUADRO *et al.*, 2012). Sendo assim, o histórico do estado atmosférico pode ser reconstruído dinamicamente (PINTO *et al.*, 2009).

As reanálises meteorológicas consistem em utilizar conjuntos de dados em grade, observados e fornecidos por centros meteorológicos combinados com um modelo de previsão e um sistema de assimilação de dados, fornecendo uma síntese das observações disponíveis em todo o mundo no contexto de um modelo físico (KALNAY *et al.*, 1996). Dentre as séries de dados de reanálise atmosférica em nível global destacam-se o projeto NCEP/NCAR (KALNAY *et al.*, 1996), o MERRA-2 (RIENECKER *et al.*, 2011) e o CFSR (EUA) (SAHA *et al.*, 2010).

Outra série de dados estimados muito utilizada é o ERA Interim, produzida pelo ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) para o período de 1979 até o presente (DEE *et al.*, 2011; BALSAMO *et al.*, 2015), disponibiliza um conjunto de dados da terceira reanálise atmosférica global lançada em 2009, apresentando reconhecidas melhorias em relação às reanálises anteriores (ERA-15 (1979-1993) e ERA-40 (1957-2002)). Os dados do ERA Interim têm sido aplicados em diferentes regiões do globo, como por exemplo, no Continente Africano (SYLLA *et al.*, 2009), em bacias hidrográficas da Amazônia, Mississippi e Mackenzie (BETTS *et al.*, 2009), na Irlanda (MOONEY *et al.*, 2010), na região do planalto Tibetano (BAO & ZHANG, 2013) e em Portugal (SOARES *et al.*, 2012), com obtenção de resultados satisfatórios.

No trabalho desenvolvido por Simmons *et al.* (2010) foi analisada a variação da umidade e temperatura do ar e da precipitação pluvial para a Europa, Ásia, África, Austrália e América do Norte e do Sul a partir de dados de reanálise (ERA-40 e ERA Interim) e conjuntos de dados observados mensalmente (WILLETT *et al.*, 2008) em séries de 30 anos. Os autores destacaram que os dados de reanálise são confiáveis e de alta

qualidade podendo ser utilizados como recurso para o monitoramento do tempo e do clima em nível global. Para a América do Sul, Solman *et al.* (2013) simularam os valores de precipitação pluvial e temperatura média do ar, utilizando como base os dados de reanálise do ERA Interim para o período de 1990-2008. Os resultados mostraram que os modelos testados são capazes de reproduzir a distribuição espacial média da temperatura do ar e da precipitação pluvial, especialmente para o inverno e o verão.

Apesar do acúmulo já existente, dada a dinâmica da atmosfera e a instabilidade dos ambientes caracterizados por diferentes usos e cobertura da terra, assim como em função da variabilidade de tipos climáticos a nível global, a validação dos dados estimados por satélite ou reanálise comparados aos dados observados ainda é necessária. Inconsistências causadas por mudanças nos sistemas de observações, assimilação e qualidade dos dados, falha no modelo em representar a topografia, complexidade em descrever a dinâmica da atmosfera, entre outros podem induzir a erros (CAI & KALNAY, 2005; NUÑEZ *et al.*, 2008). O dimensionamento dos erros e incertezas dos modelos contribui para um melhor ajuste dos mesmos.

Salienta-se, entretanto, que parte das incertezas encontradas nas avaliações da qualidade das séries como TRMM e ERA Interim decorrem das comparações feitas entre dados estimados em formato de grade com dados de referência provenientes de pontos de medição em estações meteorológicas. Uma alternativa aos dados pontuais poderia ser o uso combinado destes com informações obtidas sobre a cobertura vegetal provenientes de imagens de satélite (área). Alguns tipos de vegetação, especialmente os campos naturais, respondem rapidamente à variação das condições meteorológicas e podem, portanto, ser utilizados como indicador das alterações causadas pelo tempo e clima.

Como o uso de índices de vegetação (IV's) já está consolidado para descrever a vegetação e sua variação espacial e temporal em resposta às alterações climáticas (LOS, 2015), acredita-se que as séries temporais de índices de vegetação do MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) podem corroborar a adequação das estimativas do

TRMM e do ERA Interim, servindo como indicadores da variabilidade espacial das condições meteorológicas. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar a qualidade das estimativas de precipitação pluvial (TRMM) e de temperatura do ar (ERA Interim) em condições de clima subtropical usando dados meteorológicos observados e índices de vegetação dos campos naturais no sul do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção apresenta as características da área de estudo, a descrição dos dados e procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do trabalho e alcance dos objetivos propostos.

2.1 Área de estudo

O estado do Rio Grande do Sul (RS) possui área territorial de 281.748 Km², localizado no extremo meridional do Brasil, entre as latitudes 27° 05' e 33° 45' S e longitudes 49° 43' e 57° 39' W. O clima é classificado, conforme Köppen (1931), como temperado úmido ou "Cf", com as variedades "Cfa" (verões quentes) e "Cfb" (verões amenos). Como característica o clima "Cf" não apresenta estação seca. No RS o volume de chuva é, entretanto, diferenciado no território, com variação da precipitação pluvial média entre 1.050 e 1.750 mm na metade sul do Estado e entre 1.550 mm e 2.100 mm na metade norte, especialmente no nordeste do RS (REBOITA *et al.*, 2010).

Quanto à temperatura do ar verifica-se grande variação sazonal com verões quentes e invernos rigorosos, com registro de geada e precipitação eventual de neve nas regiões mais elevadas. As temperaturas médias variam entre 15 e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C (SCP, 2002). Com relação às temperaturas médias mensais, o mês mais quente é janeiro (média máxima 27°C) e em julho são observados os valores mais baixos (média mínima 11°C). A região mais fria do RS está localizada nas maiores altitudes, na região nordeste, enquanto a região mais quente situa-se no extremo oeste do Estado (FEPAGRO, 2011).

A vegetação campestre no Estado desenvolve-se sob a influência destas variações meteorológicas o que caracteriza a diversidade da flora formada por diferentes espécies de gramíneas, compostas, ciperáceas e leguminosas com uma

variedade de aproximadamente 2.600 espécies de plantas (OVERBECK *et al.*, 2007) and information is presented on diversity of plant species; best estimates suggest that 3000-4000 phanerophytes occur in the South Brazilian grasslands. It is argued that, despite their high species richness, Campos vegetation is not adequately protected under current conservation policies. In the past three decades, approximately 25% of the grassland area has been lost due to land use changes, and this trend continues. However, representation of Campos grasslands in conservation units is extremely low (less than 0.5%). A alta variabilidade de espécies de plantas associada a fatores geográficos como relevo, heterogeneidade de solos, distribuição da pluviosidade e temperatura do ar, permitiram classificar a vegetação campestre em 10 regiões fisionômicas homogêneas (HASENACK *et al.*, 2010; BOLDRINI & LONGHI-WAGNER, 2011), (Figura 1), sendo estas regiões utilizadas como base para a extração das amostras de estudo.

2.2 Precipitação pluvial e Temperatura do ar

Foram obtidas duas séries temporais de dados estimados, uma de precipitação pluvial, oriunda do TRMM, e outra de temperatura do ar, oriunda do ERA Interim, ambas para o período de 2002 a 2012.

Dentre os diferentes produtos gerados a partir das estimativas do TRMM, neste estudo foram utilizados dados do algoritmo 3B43 (*TRMM and Others Sources Monthly Rainfall*) que fornece estimativas de precipitação horária (mm/hora), diária (mm/dia) e mensal (mm/mês) em grade de resolução espacial de 0,25° x 0,25°. Neste algoritmo é usada a técnica *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA), que consiste em uma combinação de estimativas de precipitação do canal de microondas provenientes do *TRMM Microwave Imager* (TMI), *Special Sensor Microwave Imager* (SSM/I), *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (AMSR-E), *Advanced Microwave Sounding Radiometer* (AMSU-B), Canal Infravermelho (IR) através do *Goes Precipitation Index* (GPI) e com informações de precipitação pluvial mensal de superfície, provenientes do *Global Precipitation Climatology Center* (GPCC) (HUFFMAN *et al.*, 2007) as well as gauge analyses where feasible, at fine scales (0.25° x 0.25° and 3 hourly).

Para o ERA Interim foram utilizados dados mensais de temperatura do ar a 2 metros da superfície, também em uma grade de resolução espacial de 0,25° x 0,25°. A reanálise produzida utiliza o sistema de assimilação de dados em quatro dimensões 4D-Var com ciclos de análises de 12 horas, ou seja, considera as observações das 12 horas anteriores oferecendo as estimativas prévias necessárias para o próximo ciclo de análise (SARMIENTO-DEVIA *et al.*, 2013). Em cada ciclo, as observações são combinadas com informações prévias disponíveis a partir de um modelo de previsão para estimar o estado da atmosfera global e sua superfície subjacente (DEE *et al.*, 2011). O método 4D-Var realiza uma interpolação estatística no espaço e tempo entre a distribuição das observações meteorológicas e uma estimativa prévia obtida

pelo modelo global do ECMWF, certificando que as observações usadas na dinâmica do modelo são meteorologicamente consistentes (SIMMONS *et al.*, 2006; COSTI, 2011).

A coleta de dados correspondeu à coordenada geográfica das estações meteorológicas selecionadas como fonte de dados de referência (observados) para este estudo, sendo que para a precipitação pluvial e temperatura do ar foram utilizados, respectivamente dados de 24 e de 21 estações meteorológicas de superfície, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). A diferença no número de estações se deve a falha na aquisição contínua de dados de temperatura do ar para as estações de Júlio de Castilhos, Maquiné e São Gabriel.

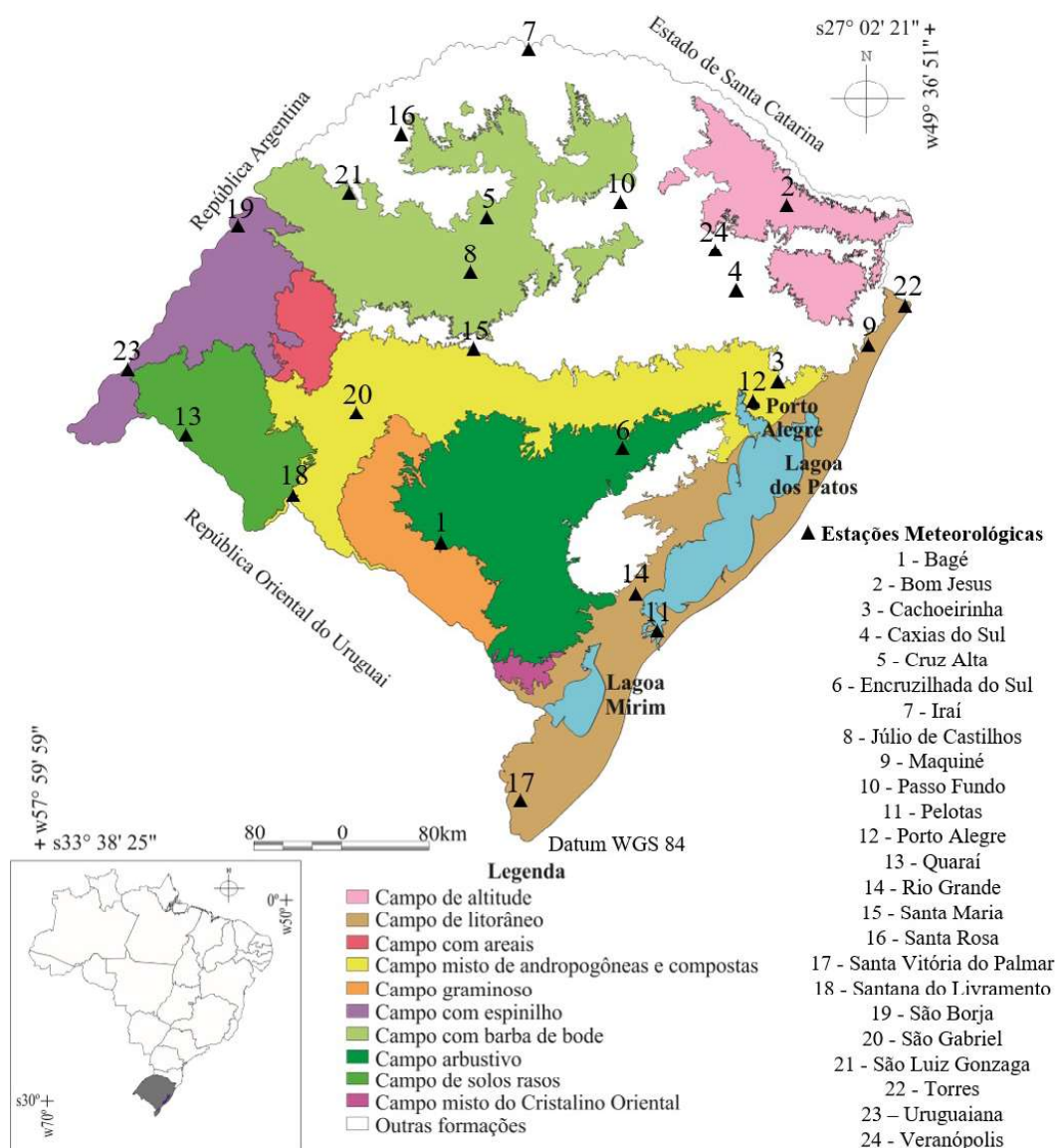


Fig. 1 - Tipologias campestres e distribuição das estações meteorológicas do estado do RS. Fonte: Malha Digital, IBGE (2012); Adaptado de Hasenack et al. (2010).

As estatísticas utilizadas para a avaliação da qualidade dos dados do TRMM e ERA Interim foram aplicadas para o conjunto de toda a série (2002-2012), assim como em períodos mensais e correspondem ao: Coeficiente de Correlação de Pearson (r) (Equação 1), que representa uma medida numérica do grau de concordância (similaridade) entre duas ou mais variáveis; *Viés* (Equação 2) que indica uma possível tendência dos dados super ou subestimarem os dados; e Coeficiente de Eficiência (EFF) (Equação 3) que avalia a precisão dos dados estimados, podendo variar de negativo até 1 (ajuste perfeito). Para este coeficiente a metodologia é considerada aceitável para valores entre 0,36 e 0,75 e bom para valores acima de 0,75 (COLLISCHONN, 2001).

$$r = \frac{\sum_1^n (Y_{EST} - \overline{Y_{EST}})(Y_{OBS} - \overline{Y_{OBS}})}{(n-1) \sigma_{EST} \sigma_{OBS}} \quad (1)$$

$$Viés = \frac{1}{n} \sum_1^n (Y_{EST} - Y_{OBS}) \quad (2)$$

$$EFF = 1 - \frac{\sum_1^n (Y_{OBS} - Y_{EST})^2}{\sum_1^n (Y_{OBS} - \overline{Y_{OBS}})^2} \quad (3)$$

em que Y_{EST} e Y_{OBS} valores dos dados estimados e observados para o período i ; σ_{EST} e σ_{OBS} observados; $\overline{Y_{EST}}$ e $\overline{Y_{OBS}}$ médias dos dados desvios padrão dos dados estimados e observados e n total de dados.

Os valores obtidos, após a aplicação das estatísticas, foram interpolados e espacializados no software *Surfer* com uso do método de *Kriging*. Optou-se pelo método de krigagem, pois este utiliza como base a geoestatística, com estimativa de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado (CAMARGO et al., 2004).

Além disso, a krigagem também considera o valor médio dos dados, chamado de tendência. A partir destas informações, a krigagem realiza a interpolação através da média ponderada dos dados amostrais de forma que o erro esperado seja minimizado (FAZIO, 2013).

2.3 Dados de EVI (*Enhanced Vegetation Index*) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Foram utilizadas imagens de composição de máximo valor a cada 16 dias de EVI e NDVI do sensor MODIS, produto MOD13Q1, coleção 5, com resolução espacial de 250 m. Os valores de EVI e NDVI foram obtidos a partir de 20 polígonos amostrais para cada uma das 10 regiões fisionômicas homogêneas (HASENACK et al., 2010; BOLDRINI & LONGHI-WAGNER, 2011). Atribuiu-se a cada tipologia o valor médio extraído dos 20 polígonos, os quais apresentaram um número de pixels que variou entre 2.462 a 4.284 pixels. A suficiência amostral foi avaliada pelo método *bootstrap* (EFRON, 1979), considerando 1.000 iterações e 5% de significância estatística, resultando num valor mínimo de 1.500 pixels por tipologia.

O período analisado correspondeu à coleta de dados meteorológicos (2002-2012) totalizando 253 imagens. Os dados de precipitação pluvial do TRMM (soma) e de temperatura do ar do ERA Interim (média) foram organizados em ciclos de 16 dias de forma a tornar compatíveis com as datas das imagens MODIS. Posteriormente, os dados foram organizados por estações do ano: primavera, verão outono e inverno. Foi realizada então análise de correlação entre os três conjuntos de dados: dados meteorológicos observados e estimados e dados de índice de vegetação. Conforme mencionado, os dados EVI e NDVI foram coletados para a coordenada geográfica central da amostra. Posteriormente, estes dados foram agrupados por região de abrangência da tipologia campestre, sendo a média regional obtida considerando os valores de todas as estações meteorológicas presentes na área da tipologia campestre, obtendo-se assim, uma média regional.

Apesar da conhecida superioridade do EVI na representação da fenologia campestre (Junges et al., 2016), o NDVI também foi avaliado neste trabalho por não existir consenso nas relações de ambos os índices com dados meteorológicos, já que diferem ao considerar em seu cálculo os efeitos atmosféricos (EVI) ou não (NDVI). Acredita-se que estas diferenças no cálculo dos índices podem impactar as relações com as estimativas por satélite da precipitação pluvial e temperatura do ar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção descreve os resultados obtidos a partir da avaliação dos dados meteorológicos estimados e observados e a relação entre os dados meteorológicos e os índices de vegetação EVI e NDVI.

3.1 Relação entre os dados meteorológicos estimados e observados

Observou-se alta correlação entre os dados de precipitação pluvial estimados do TRMM e de temperatura do ar do ERA Interim e os dados observados nas estações meteorológicas do RS (Tabela 1). Considerando o período analisado, obteve-se valores de correlação da precipitação pluvial acima de 0,81 e para a temperatura do ar acima de 0,96. Os resultados obtidos para o TRMM confirmam aqueles encontrados por Collischonn *et al.* (2007) e Viana *et al.* (2010) em séries mais reduzidas.

O Coeficiente de Eficiência (Tabela 1) foi, para a maioria das estações meteorológicas, superior a 0,7 para a precipitação pluvial e próximo a 1 para a temperatura do ar, revelando adequação em relação aos dados obtidos nas estações de superfície. Os dados de temperatura do ar do ERA Interim denotam alta precisão entre os dados estimados e observados, com valores de EFF entre 0,76 e 1,00.

Ao analisar o *Viés* (Tabela 1 e Figura 2c), os dados denotam que o TRMM superestima os valores de precipitação pluvial para a maioria das estações meteorológicas. Já para a temperatura do ar do ERA Interim (Tabela 1 e Figura 3c) os valores tendem a subestimar os dados observados.

Observa-se também que existe variabilidade na distribuição espacial dos dados do TRMM no Estado ao longo do ano, sendo forte a correlação com os dados de superfície para todos os meses do ano e para a maioria das estações meteorológicas (Figura 2a). Somente nos meses de março e dezembro, na estação meteorológica de Maquiné (litoral norte) obteve-se valor de correlação de 0,5. Saldanha *et al.* (2015) observou padrão semelhante ao correlacionar os dados de GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*) e os dados observados nesta estação meteorológica. Os autores atribuíram este padrão ao fato da estação de superfície estar localizada próximo ao

nível do mar, na encosta da Serra Geral, região em que há grande variação de altitude, entre 20 e 900m, com um microclima diferenciado, que possivelmente não seja captado pela grade do GPCP, assim como também nos dados do TRMM.

Na análise do Coeficiente de Eficiência, os valores em torno de 0 e 1 confirmam a consistência entre os dados estimados e observados para a maioria das estações meteorológicas. A maior variabilidade e menor eficiência entre os dados do TRMM e as estações meteorológicas foi observada durante os meses de fevereiro e março, que correspondem ao final do verão e início de outono (Figura 2b). Mesmo assim, na maior parte das estações o EFF apresentou valores superiores a 0,7. Resultados semelhantes foram obtidos por Saldanha *et al.* (2015) para a precipitação pluvial do GPCP nas estações meteorológicas do RS.

Na análise do *Viés* para os meses do ano observou-se tendência de superestimativa dos valores de precipitação pluvial para a maioria das estações meteorológicas. Esta tendência se mantém, já tendo sido identificada nos estudos de Rozante e Cavalcanti (2008) para a região sul do Brasil e na divisa com a Argentina e o Paraguai. Os autores associam a superestimativa dos valores de precipitação pluvial à formação de nuvens com topo frio. No entanto, considera-se que os valores de *Viés* encontrados são aceitáveis e consistentes e podem ser utilizados em locais com baixa rede de instrumentos ou períodos com escassez de dados.

Para a correlação entre os dados de temperatura do ar do ERA Interim e os dados observados em estações de superfície, também ficou evidente a variabilidade na distribuição espacial, com valores de correlação acima de 0,7 para a maioria das estações meteorológicas (Figura 3a). Em trabalho elaborado por Bovolo *et al.* (2012) na região da Guianas, os autores destacam que os dados provenientes do ERA Interim fornecem uma consistente e precisa distribuição espacial da temperatura do ar em séries anuais e mensais de dados, com valores de correlação próximos a 1,0.

Na avaliação do EFF, denota-se maior variabilidade nos dados do ERA Interim quando comparado ao EFF do TRMM. Valores negativos e em torno de zero também foram

observados, em específico durante os meses de março e abril e mais frequentemente para a estação meteorológica de Bagé (Figura 3b). Embora os valores obtidos sejam inferiores aos observados para a precipitação pluvial do TRMM, o ajuste entre o ERA Interim e os dados

observados são considerados confiáveis para a maioria das estações e meses do ano e seguem a recomendação de Collischonn (2001), o qual ressalta que valores acima de 0,75 são bons e, valores entre 0,36 e 0,75 são aceitáveis.

Tabela 1: Coeficiente de Correlação de Pearson (r), Coeficiente de Eficiência (EFF) e *Viés* da precipitação pluvial do TRMM e da temperatura do ar do ERA Interim e dados observados nas estações meteorológicas de superfície para o período de 2002 a 2012

Estações Meteorológicas	r		EFF		<i>Viés</i>	
	PP	TA	PP	TA	PP	TA
Bagé	0,92	0,99	0,82	0,96	9,8	-0,24
Bom Jesus	0,91	0,99	0,81	0,85	10,2	0,50
Cachoeirinha	0,81	0,96	0,65	0,84	5,7	-0,52
Caxias do Sul	0,90	0,99	0,80	0,93	8,8	0,14
Cruz Alta	0,90	0,99	0,80	0,95	0,9	-0,27
Encruzilhada do Sul	0,94	0,99	0,85	0,95	11,6	-0,17
Iraí	0,94	0,99	0,85	0,84	15,5	-0,62
Júlio de Castilhos	0,86	-	0,61	-	24,6	-
Maquiné	0,79	-	0,61	-	-3,1	-
Passo Fundo	0,95	0,99	0,87	0,97	14,3	-0,09
Pelotas	0,87	0,99	0,74	0,97	5,8	-0,01
Porto Alegre	0,90	1,00	0,72	0,96	14,1	-0,25
Quaraí	0,94	0,99	0,88	0,99	7,3	-0,69
Rio Grande	0,89	0,99	0,79	0,97	2,3	-0,10
Santa Maria	0,93	1,00	0,74	0,92	18,6	-0,41
Santa Rosa	0,88	0,97	0,74	0,76	12,6	-0,77
Santa Vitória do Palmar	0,93	1,00	0,75	0,98	15,4	0,12
Santana do Livramento	0,95	0,99	0,89	1,00	1,9	-0,09
São Borja	0,91	0,99	0,78	0,84	16,9	-0,64
São Gabriel	0,85	-	0,31	-	29,6	-
São Luiz Gonzaga	0,95	0,99	0,91	0,90	2,8	-0,48
Torres	0,89	0,98	0,69	0,85	17,6	-0,46
Uruguaiana	0,94	0,99	0,84	0,94	13,0	-0,36
Veranópolis	0,85	0,98	0,68	1,00	18,5	0,01

* PP - Precipitação Pluvial; TA - Temperatura do ar; Estações meteorológicas com falhas nos dados (-).

Os dados de *Viés* indicam que a temperatura do ar é subestimada pelo ERA Interim na maior parte do RS, com tendência de superestimativa apenas na região de maior altitude a nordeste do Estado (Figura 3c). Jesus (2014), simulou a atuação da passagem de frentes frias sobre a América do Sul através do modelo RegCM4. As simulações foram iniciadas e dirigidas pela reanálise do ERA Interim e, na composição de anomalias de temperatura do ar observou-se que

a passagem de frentes frias ao atingir a cidade de Rio Grande, RS induz a intensificação de anomalias negativas de temperatura pelo ERA Interim sobre o Uruguai, Rio Grande do Sul e nordeste da Argentina. Semelhante aos dados do TRMM, os valores encontrados indicam a consistência dos dados estimados e estudos utilizando a grade de dados produzida pela reanálise do ERA Interim podem ser conduzidos.

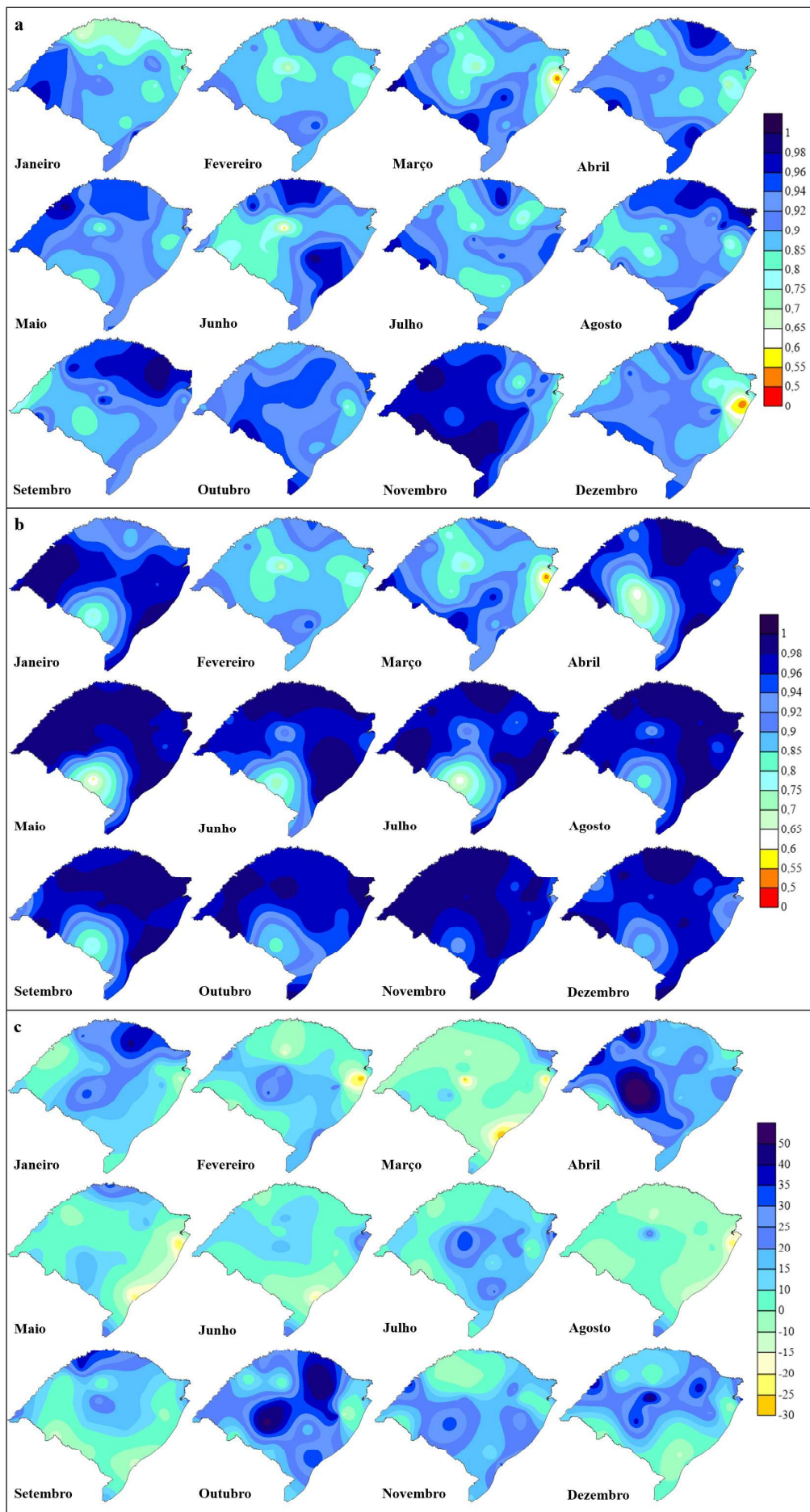


Fig. 2 - Espacialização do Coeficiente de Correlação (a), Coeficiente de Eficiência (b) e Viés (c) mensal entre a precipitação pluvial do TRMM e de estações meteorológicas do RS, Brasil.

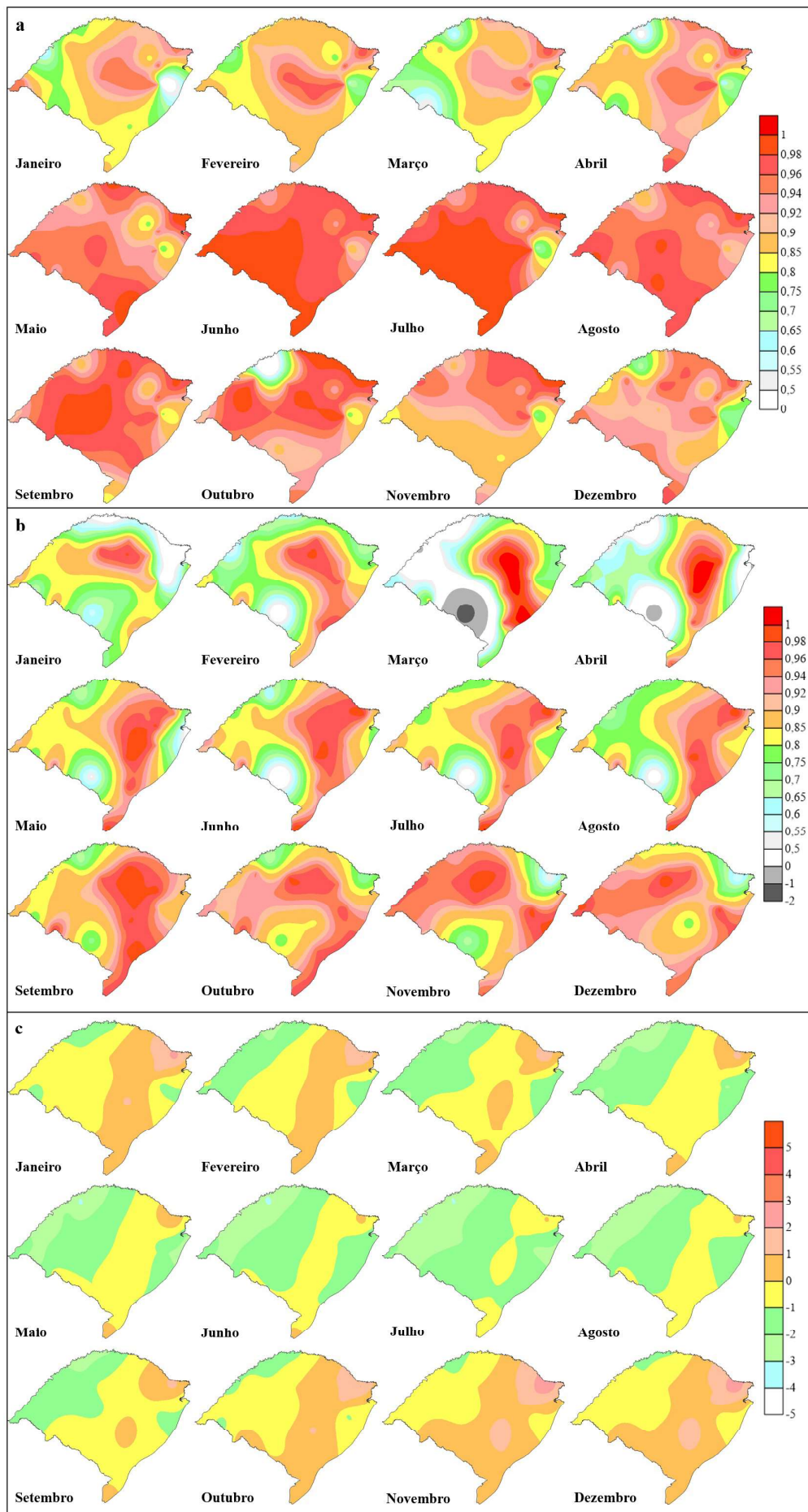


Fig. 3 - Espacialização do Coeficiente de Correlação (a), Coeficiente de Eficiência (b) e Viés (c) mensal entre a temperatura do ar do ERA Interim e de estações meteorológicas do RS.

3.2 Relação entre os dados meteorológicos estimados e observados e os índices de vegetação

Existe correlação entre os valores de EVI e NDVI das tipologias campestres do RS e a precipitação pluvial obtida pelo TRMM e aquela observada nas estações meteorológicas, mas com diferenças associadas a estação do ano (Figura 4). Correlações acima de 0,7 predominam tanto no verão como no outono com tendências similares para a maioria das tipologias, apresentando padrão de resposta consistente dos IV's em relação a disponibilidade meteorológica regional. Para ambos os índices de vegetação a exceção foi a tipologia campos litorâneos (CLI), que apresentou baixa ou negativa correlação com o TRMM, principalmente para o índice EVI. Os baixos valores de correlação podem ser influenciados pelas condições meteorológicas características da região litorânea, como a atuação do anticiclone do Atlântico com transporte umidade e formação

de nuvens e a passagem dos sistemas frontais durante o inverno que intensificam a pluviosidade (BRITTO *et al.*, 2008).

Quando comparado os dados de EVI e NDVI com os valores médios regionais das estações meteorológicas, este padrão se mantém. Assim, considerando a distribuição espacial das tipologias campestres observa-se que os valores de EVI e NDVI estão, em sua maioria, associados à variabilidade do regime de precipitação pluvial do Estado, considerada como a principal responsável pelo desenvolvimento da vegetação e produção de biomassa no RS (MATZENAUER *et al.*, 2002).

De acordo com levantamento elaborado por Boschi *et al.* (2011), o comportamento espaço-temporal da precipitação pluvial no RS, entre os decênios de 1987-1996 e 1997-2006, indica que os maiores volumes de chuva são observados na parte norte do Estado, enquanto a metade sul apresenta os menores volumes. Na região central, volumes intermediários de precipitação pluvial foram identificados.

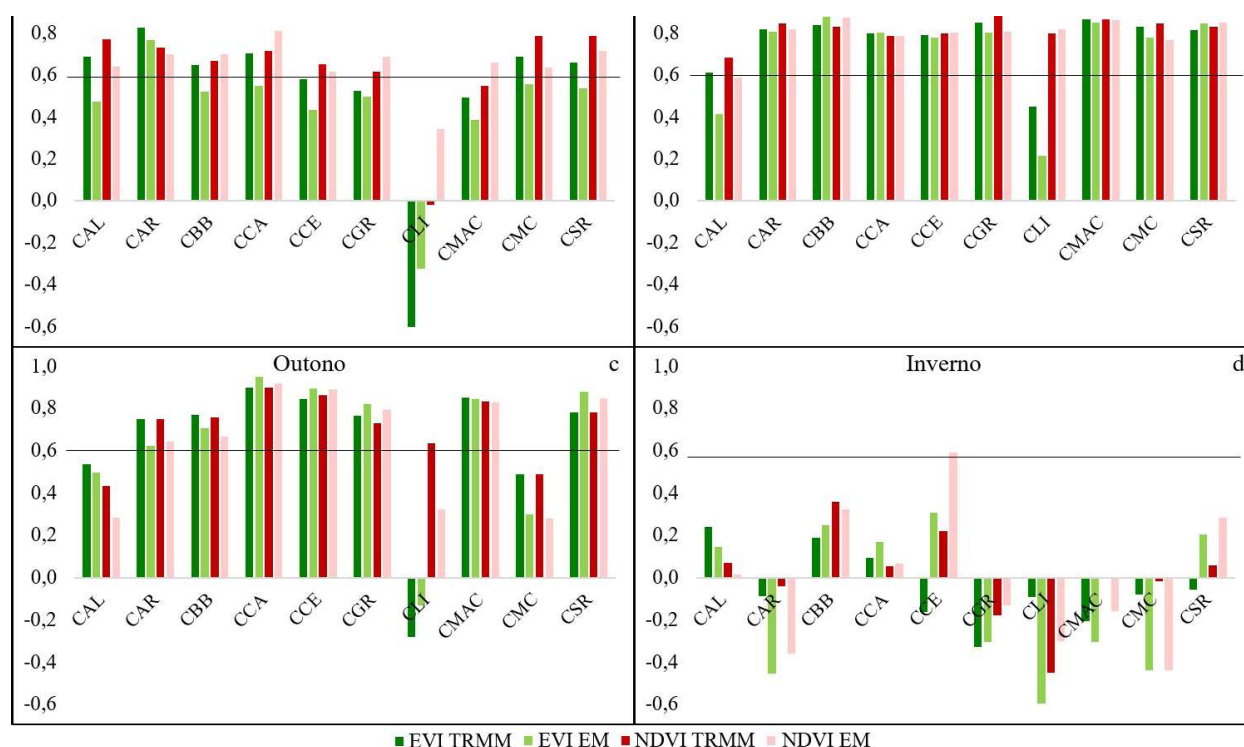


Fig. 4 - Correlação entre o EVI e a precipitação pluvial do TRMM (EVI TRMM) e a precipitação pluvial das estações meteorológicas (EVI EM) e NDVI e a precipitação pluvial do TRMM (NDVI TRMM) e a precipitação pluvial das estações meteorológicas (NDVI EM) para as estações do ano - primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d) - em 10 tipologias de campo (Campo de altitude (CAL), Campo arbustivo (CAR), Campo com barba de bode (CBB), Campo com areais (CCA), Campo com espinilho (CCE), Campo graminoso (CGR), Campo litorâneo (CLI), Campo misto de andropogôneas e compostas (CMAC), Campo Misto do Cristalino Oriental (CMC) e Campo de solos rasos (CSR)) predominantes no Rio Grande do Sul no período de 2002 a 2012. Valores acima da linha preta indicam significância no coeficiente de correlação pelo teste t-Student ($p \leq 0.05$).

Para a primavera, o verão e outono os coeficientes de correlação foram superiores aos do inverno. Períodos de estiagem ou distribuição irregular da precipitação pluvial determinam a ocorrência de estresse hídrico na vegetação campestre e no RS e são mais frequentes durante o verão refletindo no desenvolvimento/crescimento da vegetação até o início do outono. Durante o final da primavera e no verão, o desenvolvimento da vegetação campestre atinge o pico de reprodução e crescimento, influenciado principalmente pela precipitação pluvial, sendo a falta de água fator limitante do crescimento das pastagens.

Já no inverno, as baixas temperaturas, com eventuais ocorrências de geadas contribuem para a redução de crescimento dos campos, associado ao excesso de umidade e menor disponibilidade de radiação solar (TRENTIN, 2015). Dessa forma, o aumento ou diminuição

nos valores de EVI e NDVI estão diretamente relacionados à ocorrência de precipitação pluvial, especialmente na metade sul do Estado, que tende a apresentar períodos de deficiência hídrica com maior frequência no final da primavera, verão e início do outono, onde estão distribuídas a maioria das tipologias campestres (CAR, CCA, CCE, CGR, CMAC, CMC e CSR) que apresentaram alta correlação com os dados do TRMM.

Durante o inverno, em decorrência das baixas temperaturas ocorre o período de senescência da vegetação campestre com reflexo na diminuição dos valores de EVI e NDVI (JUNGES *et al.*, 2016). A menor disponibilidade de radiação solar e as baixas temperaturas tendem a contribuir para uma menor correlação nos valores de EVI e NDVI para todas as tipologias nesta estação do ano.

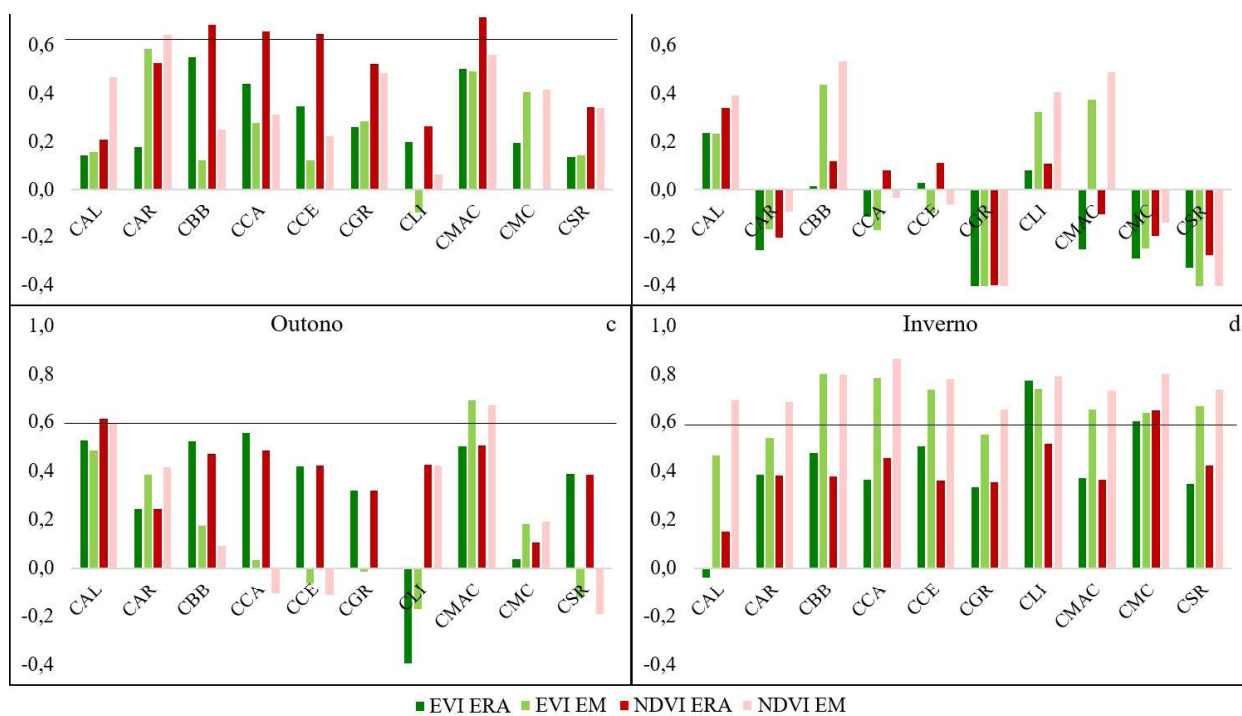


Fig. 5 - Correlação entre o EVI e a temperatura do ar do ERA Interim (EVI ERA) e a temperatura do ar das estações meteorológicas (EVI EM) e o NDVI e a temperatura do ar do ERA Interim (NDVI ERA) e a temperatura do ar das estações meteorológicas (NDVI EM) para as estações do ano - primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d) - em 10 tipologias de campo (Campo de altitude (CAL), Campo arbustivo (CAR), Campo com barba de bode (CBB), Campo com areas (CCA), Campo com espinhilo (CCE), Campo gramíneo (CGR), Campo litorâneo (CLI), Campo misto de andropogônias e compostas (CMAC), Campo Misto do Cristalino Oriental (CMC) e Campo de solos rasos (CSR)) predominantes no Rio Grande do Sul no período de 2002 a 2012. Valores acima da linha preta indicam significância no coeficiente de correlação pelo teste t-Student ($p \leq 0.05$).

Na análise entre os IV's e a temperatura do ar observaram-se valores de correlação inferiores aos verificados com a precipitação pluvial, principalmente para o ERA Interim quando comparado às correlações das estações de superfície (Figura 5) e maior variabilidade de resposta entre as tipologias campestres. Para ambos os índices os maiores valores de correlação ($>0,5$) foram obtidos durante o inverno para a maioria das tipologias, especialmente para os valores médios regionais observados nas estações meteorológicas. Valores inferiores aos obtidos neste estudo, foram observados por Trentin e Fonseca (2011), ao relacionarem a reflectância dos solos nas bandas espectrais (azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio) e a temperatura média do ar.

Ocorre uma inversão no padrão observado em relação à precipitação pluvial que apresentou baixa correlação durante o inverno, indicando que a temperatura do ar atua como fator limitante de crescimento da vegetação campestre. Durante as estações quentes do ano (primavera e verão) ocorre incremento nos valores de EVI e NDVI e diminuição nas estações mais frias (outono e inverno) (JUNGES *et al.*, 2016; KUPLICH *et al.*, 2013).

Também, observou-se diferença no padrão de correlação entre as tipologias distribuídas na metade norte e sul do RS, influenciado pela variabilidade da temperatura do ar que é determinada em função da altitude e continentalidade. Os valores mais baixos de temperatura são sempre registrados no Planalto Meridional a nordeste do Estado, onde a correlação com os índices de vegetação e o ERA Interim foi inferior aos obtidos para as tipologias distribuídas na metade sul, onde são registrados os valores mais altos de temperatura do ar que normalmente ocorrem na Depressão Central ou Vale do rio Uruguai na direção centro-oeste (SARTORI, 2003).

Durante o final da primavera, verão e início do outono podem ocorrer períodos de deficiência hídrica no Estado, o que afeta o desenvolvimento/crescimento da vegetação campestre, tornando a precipitação pluvial fator determinante da produção vegetal e conseqüentemente da relação com os índices espectrais e dados meteorológicos estimados. Em geral, os IV's apresentaram valores de

correlação com o TRMM superiores aos obtidos com as estações de superfície, especialmente durante a primavera e o verão para um maior número de tipologias. Assim, a obtenção dos dados em grade pelo TRMM consegue captar de forma mais adequada a relação entre os IV's e a variabilidade da distribuição da precipitação pluvial no Estado.

Já para a temperatura do ar, obteve-se para ambos os índices de vegetação correlações inferiores ao TRMM. Apenas durante o período de senescência no final do outono e início do inverno, a temperatura do ar passa a exercer influência sobre a fenologia da vegetação campestre como evidenciado pela correlação entre as estações meteorológicas e os IV's. Por apresentar um padrão de distribuição espacial mais homogêneo, evidencia-se que o dado obtido nas estações de superfície possui maior precisão em representar a condição média do pixel dada pelos IV's do que os dados obtidos em grade como os do ERA Interim.

Para ambos os IV's os valores de correlação com as variáveis meteorológicas não apresentaram diferenças significativas, indicando que ambos os índices possuem potencialidade de uso em estudos envolvendo a vegetação campestre. Salienta-se que em condições climatológicas como as apresentadas no RS, os dados meteorológicos estimados através de reanálise ou obtidos por satélite podem ser utilizados como fonte alternativa para minimizar falhas ou ausência de informações sobre precipitação pluvial e temperatura do ar em locais com baixa rede de observação.

3. CONCLUSÕES

Os resultados do TRMM e do ERA Interim apresentaram um bom desempenho em relação aos dados observados com diferenças no padrão de distribuição espacial e sazonal para as tipologias campestres. Na análise entre os IV's e os dados estimados pelo TRMM a correlação tende a ser superior durante a primavera, o verão e o outono. Enquanto que para a temperatura do ar do ERA Interim destaca-se a melhor representação dos IV's para o inverno.

Considera-se que os valores encontrados são aceitáveis e consistentes e que a série de dados analisada para o Rio Grande do Sul indica a possibilidade do uso dos dados estimados

pelo satélite TRMM e dados de reanálise do ERA Interim como alternativa para minimizar a ausência de informações sobre precipitação pluvial e temperatura do ar obtidas em rede de estações de superfície. Adicionalmente, os dados estimados podem ser avaliados enquanto forçantes das variações temporais e espaciais nas séries de IV's.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de Doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEINS TANK, A.M.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, p. 1-22, 2006.

BALSAMO, G.; ALBERGEL, C.; BELJAARS, A.; BOUSSETTA, S.; BRUN, E.; CLOKE, H.; DEE, D.; DUTRA, E.; MUÑOZ-SABATER, J.; PAPPENBERGER, F.; DE ROSNAY, P.; STOCKDALE, T.; VITART, F. ERA-Interim/Land: A global land surface reanalysis data set. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, p. 389-407, 2015.

BAO, X.; ZHANG, F. Evaluation of NCEP-CFSR, NCEP-NCAR, ERA-Interim, and ERA-40 Reanalysis datasets against independent sounding observations over the Tibetan Plateau. **Journal of Climate**, v. 26, p. 206-214, 2013.

BETTS, A.K.; KÖHLER, M.; ZHANG, Y. Comparison of river basin hydrometeorology in ERA-Interim and ERA-40 reanalyses with observations. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. 1-12, 2009.

BOLDRINI, I.I.; LONGHI-WAGNER, H.M. Poaceae no Rio Grande do Sul: diversidade, importância na fisionomia e conservação. **Ciência & Ambiente**, v. 42, p. 71-92, 2011.

BOSCHI, R.S.; OLIVEIRA, S.R.M.; ASSAD, E.D. Técnicas de mineração de dados para análise da precipitação pluvial decenal no Rio Grande do Sul. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1189-1201, 2011.

BOVOLO, C.I.; PEREIRA, R.; PARKIN, G.; KILSBY, C.; WAGNER, T. Fine-scale regional climate patterns in the Guianas, tropical South America, based on observations and reanalysis data. **International Journal of Climatology**, v. 32, p. 1665-1689, 2012.

BRITTO, F.P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 84-99, 2008.

BROXTON, P.D.; ZENG, X.; SULLAMENASHE, D.; TROCH, P.A. A Global Land Cover Climatology Using MODIS Data. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 53, p. 1593-1605, 2014.

CAI, M.; KALNAY, E. Can reanalysis have anthropogenic climate trends without Model Forcing?. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1844-1849, 2005.

CAMARGO, E.; DRUCK, S.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (Ed.). **Análise Espacial de Dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. p. 1-37.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.59, p. 93-99, 2007.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. 2001. 270p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COSTI, J. **Estimativa do derretimento e descarga de água na porção norte da Península Antártica**. 2011. 91p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

- DEE, D.P.; UPPALA, S.M.; SIMMONS, A.J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M.A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A.C.M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A.J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S.B.; HERSBACH, H.; HÓLM, E.V.; ISAKSEN, I.; KALLBERG, P.; KÖHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A.P.; MONGE-SANZ, B.M.; MORCRETTE, J.J.; PARK, B.K.; PEUBEY, C.; ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THÉPAUT, J.N.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, n. 656, p. 553-597, 2011.
- EFRON, B. Bootstrap methods: another look at the Jackknife. **The Annals of Statistics**, v. 7, p. 1-26, 1979.
- FAZIO, V.S. **Interpolação espacial: uma comparação analítica entre redes RBF e Krigagem**. 2013. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- FRANCHITO, S.H. ; BRAHMANANDA RAO, V.; VASQUES, A.C.; SANTO, C.M.E.; CONFORTE, J.C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 114, n. 2, p. 1-9, 2009.
- HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I.I.; TREVISAN, R. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, The Nature Conservancy, 2010. p. 1-22.
- HUFFMAN, G.J.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J.; WOLFF, D.B. ; ADLER, R.F.; GU, G.; HONG, Y.; BOWMAN, K.P.; STOCKER, E.F. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007.
- David T. Bolvin, Eric J. Nelkin, and David B. Wolff
- JESUS, E.M. **Simulações climáticas regionais para o CORDEX sobre a América do Sul e impactos das frentes frias na climatologia simulada**. 2014. 135p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- JUNGES, A.H.; BREMM, C.; FONTANA, D.C.; OLIVEIRA, C.A.O.; SCHAPARINI, L.P.; CARVALHO, P.C.F. Temporal profiles of vegetation indices for characterizing grazing intensity on natural grasslands in Pampa biome. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 4, p. 332-337, 2016.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWJAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.
- KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México: **Fondo de Cultura Económica**, 1931. 478 p.
- KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A.T.C.; STOCKER, E.; ADLER, R.F.; HOU, A.; KAKAR, R.; WENTZ, F.; ASHCROFT, P.; KOZU, T.; HONG, Y.; OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; KUROIWA, H.; IM, E.; HADDAD, Z.; HUFFMAN, G.; FERRIER, B.; OLSON, W.S.; ZIPSER, E.; SMITH, E.A.; WILHEIT, T.T.; NORTH, G.; KRISHNAMURTI, T.; NAKAMURA, K. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 12, p.1965-1982, 2000.
- KUPLICH, T.M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D.C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 17, p. 1116-1123, 2013.

- LOS, S.O. Modelling spatial and temporal vegetation variability with the Climate Constrained Vegetation Index : evidence of CO2 fertilisation and of water stress in continental interiors. **Geoscientific Model Development Discussions**, v. 8, p. 4781-4821, 2015.
- MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MALUF, J.R.T.; BARNI, N.A.; BUENO, A.C.; DIDONÉ, I.A.; DOS ANJOS, C.S.; MACHADO, F.A.; SAMPAIO, M.R. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul. **Boletim FEPAGRO**, n. 10, 2002. 104 p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atlas Climático**: Rio Grande do Sul. In: MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I.R. Ed(s). Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011.
- MOONEY, P.A.; MULLIGAN, F.J.; FEALY, R. Comparison of ERA-40 , ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperatures over Ireland. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 545-557, 2010.
- NÓBREGA, R.S.; SOUZA, Ê.P.; GALVÍNIO, J.D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma Sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 1, p. 6-20, 2008.
- NUÑEZ, M.N.; CIAPESSONI, H.H.; ROLLA, A.; KALNAY, E.; CAI, M. Impact of land use and precipitation changes on surface temperature trends in Argentina. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. 1-11, 2008.
- OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.P.; BLANCO, C.C.; BOLDRINI, I.I.; BOTH, R.; FORNECK, E.D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian *Campos*. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007.
- PARKER, W.S. Reanalyses and observations: What's the Difference?. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 9, p. 1565-1572, 2016.
- PINTO, L.I.C.; COSTA, M.H.; LIMA, F.Z.; DINIZ, L.M.F.; SEDIYAMA, G.C.; PRUSKI, F. Comparação de produtos de precipitação para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 4, p. 461-472, 2009.
- QUADRO, M.F.L.; DIAS, M.A.F.S.; HERDIES, D.L.; GONCALVES, L.G.G. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 152-162, 2012.
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.
- RIENECKER, M.M.; SUAREZ, M.J.; GELARO, R.; TODLING, R.; BACMEISTER, J.; LIU, E.; BOSILOVICH, M.G.; SCHUBERT, S.D.; TAKACS, L. ; KIM, G.; BLOOM, S.; CHEN, J.; COLLINS, D.; CONATY, A.; SILVA, A.; GU, W.; JOINER, J.; KOSTER, R.D.; LUCCHESI, R.; MOLOD, A.; OWENS, T.; PAWSON, S.; PEGION, P.; REDDER, C.R.; REICHLE, R. ; ROBERTSON, F.R.; RUDDICK, A.G.; SIENKIEWICZ, M.; WOOLLEN, J. MERRA: NASA's modern-era retrospective analysis for research and applications. **Journal of Climate**, v. 24, p. 3624-3648, 2011.
- ROZANTE, J.R.; CAVALCANTI, I.F.A. Regional Eta model experiments: SALLJEX and MCS development. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. 1-20, 2008.
- SAHA, S.; MOORTHY, S.; PAN, H.; WU, X.; WANG, J.; NADIGA, S.; TRIPP, P.; KISTLER, R.; WOOLLEN, J.; BEHRINGER, D.; LIU, H.; STOKES, D.; GRUMBINE, R.; GAYNO, G.; WANG, J.; HOU, Y.; CHUANG, H.; JUANG, H.J.; SELA, J.; IREDELL, M.; TREADON, R.; KLEIST, D.; DELST, P.V.; KEYSER, D.; DERBER, J.; EK, M.; MENG, J.; WEI, H.; YANG, R.; LORD, S.; DOOL, H.V.D.; KUMAR, A.; WANG, W.; LONG, C.; CHELLIAH, M.; XUE, Y.; HUANG, B.; SCHEMM, J.; EBISUZAKI, W.; LIN, R.; XIE, P.; CHEN, M.; ZHOU, S.; HIGGINS, W.; ZOU, C.; LIU, Q.; CHEN, Y.; HAN, Y.; CUCURULL, L.; REYNOLDS, R.W.; RUTLEDGE, G.;

- GOLDBERG, M. The NCEP climate forecast system reanalysis. **American Meteorological Society**, v. 91, n. 8, p. 1015–1057, 2010.
- SALDANHA, C.B.; RADIN, B.; CARDOSO, M.A.S.; RIPPEL, M.L.; FONSECA, L.L.; RODRIGUEZ, F. Comparação dos dados de precipitação gerados pelo GPCP vs observados para o estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 415-422, 2015.
- SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 27-49, 2003.
- SARMIENTO-DEVIA, R.A.; LÓPEZ-SCOBAR, Á.V.; MEJÍAS, M.B.; DÁVILLA, P.M.; FRANCO-HERRERA, A. Variabilidad intra-anual del régimen climático en sectores de surgencia en el sudeste del Mar Caribe, usando ERA Interim. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 48, n. 3, p. 471-485, 2013.
- López-Escobar, Águeda Vásquez; Mejías, Miguel Bruno; Dávila, Paola M.; Franco-Herrera, Andrés
- SECRETARIA DA COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SCP, 2 ed., 2002. 96 p.
- SIMMONS, A.J.; WILLET, K.M.; JONES, P.D.; THORNE, P.W.; DEE, D.P. Low-frequency variations in surface atmospheric humidity , temperature , and precipitation : Inferences from reanalyses and monthly gridded observational data sets. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, p. 1-21, 2010.
- SOARES, P.M.M.; CARDOSO, R.M.; MIRANDA, P.M.A.; MEDEIROS, J.; BELO-PEREIRA, M. WRF high resolution dynamical downscaling of ERA-Interim for Portugal. **Climate Dynamics**, v. 39, p. 2497-2522, 2012.
- SOLMAN, S.A.; SANCHEZ, E.; SAMUELSSON, P.; DA ROCHA, R.P.; LI, L.; MARENGO, J.; PESSACG, N.L.; REMEDIO, A.R.C.; CHOU, S.C.; BERBERY, H.; LE TREUT, H.; DE CASTRO, M.; JACOB, D. Evaluation of an ensemble of regional climate model simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis : model performance and uncertainties. **Climate Dynamics**, v. 41, n. 5-6, p. 1139-1157, 2013.
- SYLLA, M.B.; COPPOLA, E.; MARIOTTI, L.; GIORGI, F.; RUTTI, P.M.; DELL'AQUILLA, A.; BI, X. Muliyear simulation of the Africa climate using a regional climate model (RegCM3) with the high resolution ERA-Interim reanalysis. **Climate Dynamics**, v. 35, p. 231-247, 2009.
- TRENTIN, C.B. **Estoques de carbono nas áreas de vegetação campestre da área de proteção ambiental (APA) do Ibirapuitã**. 2015. 98p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- SIMMONS, A.J.; UPPALA, S.; DEE, D.; KOBAYASHI, S. ERA-Interim: new ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. **ECMWF Newsletter**, v. 110, p. 26-35, 2006.
- TRENTIN, C.B.; FONSECA, E.L. Monitoramento da fenologia da vegetação campestre do bioma Pampa e sua relação com a temperatura média do ar. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 2011. **Anais**. p. 1628-1635, 2011.
- VIANA, D.R.; FERREIRA, N.J.; CONFORTE, J.C. Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, 2010. **Anais**. p. 1-5, 2010.
- WILLETT, K.M.; JONES, P.D.; GILLET, N.P.; THORNE, P.W. Recent changes in surface humidity: development of the HadCRUH dataset. **Journal of Climatology**, v. 21, p. 5364-5383, 2008.
- WOLFF, D.B.; MARKS, D.A.; AMITAI, E.; SILBERSTEIN, D.S.; FISHER, L.; TOKAY, A.; WANG, J.; PIPPITT, J.L. Ground Validation for the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). **American Meteorological Society**, v. 22, p. 365-380, 2005.
- ZHAO, M.; HEINSCH, F.A.; NEMANI, R.R.; RUNNING, S.W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, n. 2, p. 164-176, 2005.