

ESTUDO DA RELAÇÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA COM A ALTITUDE NO BRASIL

Alexandre Cândido Xavier¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, s/n, 29500-000. Alegre, ES; e-mail: alexandre.xavier@ufes.br

RESUMO

Tendo em vista a atualização das variáveis temperatura da *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (Grade Brasileira de Dados Meteorológicos, BR-DWGD), para uma melhor resolução espacial, este trabalho tem como objetivo, avaliar, para o Brasil, a influência da altitude na temperatura máxima observada (tx). Foram utilizadas um total de 539 estações distribuídas no Brasil, em que foram comparadas as tx de 782 pares de estações, distantes em até 1°. Como resultados gerais, podem-se citar: i) a tx média tem um decréscimo de 0,0053°C a cada metro a mais de altitude; ii) mensalmente, tx tem um decréscimo que pode variar de 0,0043°C m⁻¹ a 0,0058°C m⁻¹.

Palavras-chave – temperatura máxima, topografia, altitude, grade de dados meteorológica.

ABSTRACT

In order to update the temperature variables of Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD), for a better spatial resolution, this work aims to evaluate the relationship between altitude and the observed maximum temperature (tx) for Brazil. A total of 539 weather stations, distributed in Brazil, were used, where we compared the tx of 782 pairs of stations, distant up to 1°. As a general results, we can highlight: i) on average, tx decrease 0.0053°C at every meter higher; ii) monthly, tx has a decrease variation from 0.0043°C m⁻¹ to 0.0058°C m⁻¹.

Key words – maximum temperature, topography, altitude, gridded meteorological data.

1. INTRODUÇÃO

Em 2015, Xavier et al. [1] disponibilizaram a Grade de Dados Meteorológicos Diário para o Brasil (BR-DWGD), na resolução espacial de 0,25° por 0,25°, para o período 01/01/1980 a 31/12/2013. As variáveis gradeadas foram: a precipitação, as temperaturas máxima e a mínima, a radiação solar, a umidade relativa, a velocidade do vento e a evapotranspiração, esta última, calculada de acordo com a FAO56 [2]. A BR-DWGD foi gerada por meio de interpolação de dados observados de estações meteorológicas e pluviômetros no Brasil. Atualmente, por meio de atualizações da BR-DWGD, a variável precipitação está disponível de 01/jan/1980 a 31/dez/2015 [3] e, as demais variáveis, de 01/jan/1980 a 31/jul/2017 (para download acessar: <https://utexas.app.box.com/v/Xavier-et-al-IJOC-DATA>, no formato NetCDF [4]).

Alguns trabalhos já foram realizados avaliando qualidade da BR-DWGD, sendo os resultados destas avaliações, sempre satisfatórios [5, 6]. Bender e Sentelhas [6], por exemplo, comparando as grades, BR-DWGD, AgCFSR [7], AgMERRA [8] e a NASA/POWER [9], para o território brasileiro, concluíram que, a BR-DWGD foi a melhor para representar os dados observados no Brasil.

Embora os dados meteorológicos observados sejam essenciais em diversos estudos, a sua utilização, demanda um grande esforço até ficarem aptos a serem utilizados (e.g. aquisição, formatação, preenchimento de falhas, etc.), que muitas vezes, foge ao objetivo central do trabalho. Tal fato, junto a qualidade e a fácil manipulação da BR-DWGD, faz com que ela seja uma boa opção, para estudos que demandam informações meteorológicas históricas contínuas, no tempo e no espaço. Podem-se citar, como exemplos de estudos que utilizaram a BR-DWGD: na área ambiental [10, 11]; na hidrologia [12, 13]; no sensoriamento remoto [14]; na climatologia [15, 16] e, na agricultura [5, 17, 18].

Sabe-se que, para a temperatura local, quanto maior é a altitude (menor pressão atmosférica), menores são os valores esperados de temperatura. O Brasil, com uma área de 8,5 M km², tem uma topografia em que 40% da área tem altitude de até 200 m e, 52% se encontra entre 200 m e 800 m, de acordo com *Global Multi-resolution Terrain Elevation* (GMTED2010) [19]. Pode-se citar também, que há regiões onde, em distâncias de poucos quilômetros, há uma grande variação de altitude, podendo-se citar, por exemplo, região da Serra do Mar com o litoral.

Tendo como finalidade incorporar informações da topografia, na interpolação das variáveis temperaturas, em uma nova atualização da BR-DWGD, este trabalho tem como objetivo o de avaliar a relação da variação de altitude com a variação de temperatura máxima (tx) no território brasileiro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é o território Brasileiro. Os dados meteorológicos foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), totalizando dados de 539 estações meteorológicas automáticas. O período analisado foi de 01/07/2008 a 01/08/2017. Os dados meteorológicos do INMET têm escala coleta horária, sendo que, para este trabalho, os dados foram reamostrados para escala de 3 horas, considerando para tx, a maior tx observada das 3 horas anteriores a determinada hora UTC. Por exemplo, a tx referente à 03:00:00 UTC de um determinado dia, corresponderá a maior tx observada em 01:00:00 UTC, 02:00:00 UTC e 03:00:00 UTC, daquele dia.

Após a reamostragem, foi realizado um breve tratamento nos dados, sendo: i) o descarte de estações com um número

menor que 100 dias de dados observados, pois, haveria dificuldade da análise da homogeneidade e, *ii*) a própria análise de homogeneidade, conforme metodologia descrita em [1].

O próximo passo foi determinar os pares de estações que fossem relativamente próximas, neste trabalho, adotou-se distância máxima de 1° (≈ 105 km) entre estações. Notou-se, preliminarmente, que, se adotasse pares separados em distâncias menores, por exemplo $0,5^\circ$, várias regiões não teriam pares para serem utilizados na avaliação, ou seja, regiões não seriam representadas na modelagem. Logo, como se busca aplicar os resultados deste trabalho para todo o Brasil, distâncias menores entre pares foram descartadas.

Por fim, para cada par de estações, foi calculada a média das diferenças de tx ao longo do tempo. A diferença de tx foi sempre calculada da estação de maior altitude à de menor altitude. Por análise de regressão linear, buscou-se modelar estas diferenças com as respectivas diferenças de altitudes entre os pares.

3. RESULTADOS

Na Figura 1 é apresentado o número de estações ao longo do período da análise, antes e após o tratamento inicial dos dados (e.g. reamostragem, descarte de estações com menos de 100 dias de dados e homogeneidade). O número de estações com dados observados ao longo do tempo foi sempre superior a 300, com a exceção de três períodos, que podem ser atribuídos à pane no sistema de recebimento de dados ou pane no serviço de transmissão de dados do INMET [20]. Após o tratamento inicial dos dados, houve o descarte de 6,2% dos dados observados de tx, de um total de 11,5 milhões de dados observados reamostrado no período.

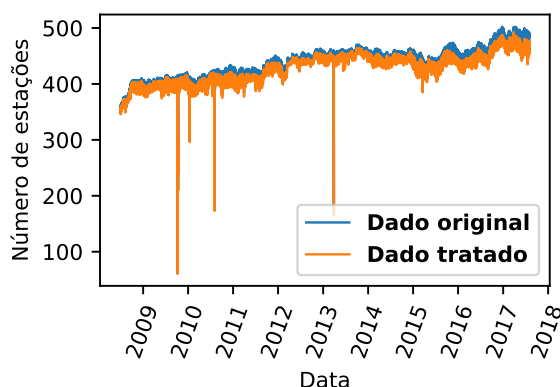


Figura 1: Total de estações com dados disponíveis ao longo do tempo, antes e após o tratamento dos dados.

Foram encontrados um total de 782 pares de estações em que a distância entre elas foi inferior 1° . Na Figura 2 são apresentadas a distribuição espacial e a altitude das estações, que tem pelo menos uma outra estação distante em até 1° . Pode-se destacar que a maioria dos pares se encontram nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, total de 660 pares. Já em menor número, as regiões Centro-Oeste e Norte, com 122 pares. Observa-se que é ao longo do litoral, principalmente

das regiões sul e sudeste, que ocorrerão pares de estações com maior diferença de altitude.

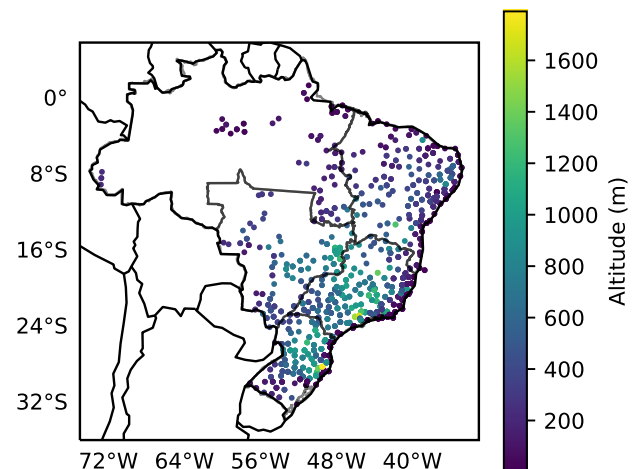


Figura 2: Localização espacial das estações em que há pelo menos uma estação vizinha, cuja a distância é menor que 1° .

No que diz respeito a diferença de altitude entre os pares de estações meteorológicas selecionadas, a grande maioria destes, tem diferença de altitude menor que 200 m (465 pares) e, apenas 13 pares, tem diferença de altitude superior a 1.400 m (Figura 3). Como exemplo, o par de estações que apresentou maior diferença de altitude, 1.788 m, foi entre as estações de Araranguá e a de Bom Jardim da Serra, com altitudes, respectivamente, de 2 m e 1.790 m, ambas no estado de Santa Catarina, distantes entre si em 92 km.

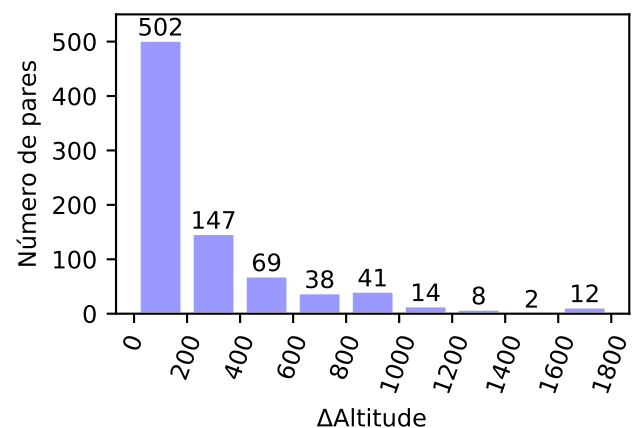


Figura 3: Histograma da diferença de altitude entre os 782 pares de estações meteorológicas distantes entre si no máximo 1° .

Tendo como finalidade ilustrar a metodologia que foi aplicada para cada par de estações utilizadas, serão apresentados os resultados parciais para o par de estações Bom Jardim da Serra e Araranguá. Na Figura 4a são apresentadas as tx para as estações de Bom Jardim da Serra e Araranguá, apresentado tx média dos dados observados de $20,8^\circ\text{C}$ e $12,1^\circ\text{C}$, respectivamente. Já, a Figura 4b, apresenta a diferença entre as suas respectivas tx ao longo do período analisado. Para este par de estações foram calculadas as diferenças de tx de quase 22 mil observações. Como é de

se esperar, a estação de Bom Jardim da Serra, mais alta, apresentou majoritariamente valores menores de tx que os de Araraguá, de menor altitude. Pode-se destacar que, em apenas 307 diferenças das tx observadas, $\approx 1,4\%$ do total, o resultado foi positivo, isto é, tx de Bom Jardim da Serra superou a de Araraguá. Observou-se que, no período de inverno, em média, as diferenças de tx foram menores, mais próximas as tx das duas estações. Por fim, para este par de estações, a média das diferenças de tx foi de $-8,5^{\circ}\text{C}$, o que resulta, em uma variação de $0,0047^{\circ}\text{C m}^{-1}$.

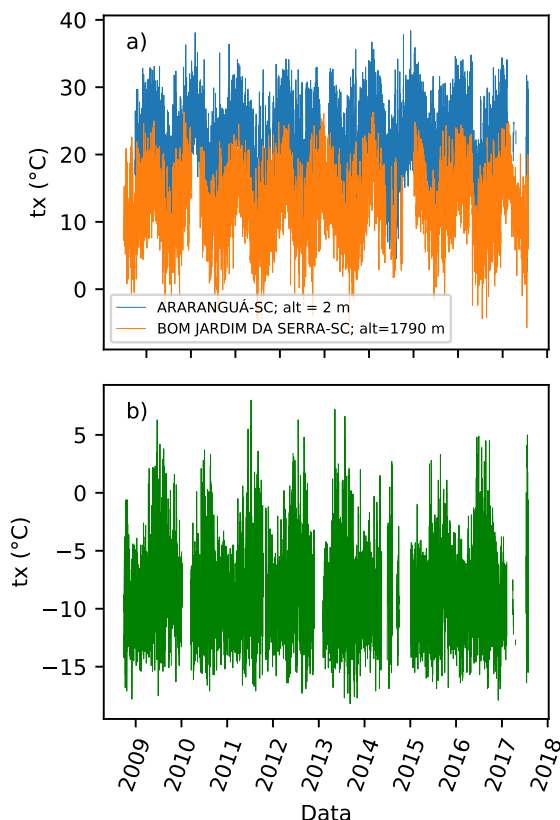


Figura 4: tx observadas para Bom Jardim da Serra-SC (lat = -28.12 ; lon = -49.48°) e Araraguá-SC (lat = -28.93° ; lon = -49.49°) e (a) e as respectivas diferenças.

Seguiu-se, conforme mostrado anteriormente para o par de estações Araraguá e Bom Jardim da Serra, os cálculos das médias das diferenças de tx dos demais pares. Na Figura 5 é apresentada a relação das diferenças de altitude com as diferenças médias de tx. Como o esperado, esta relação foi negativa (valor-p < 0,01), isto é, quanto mais alto, menores são os valores de tx. O modelo linear simples, mostra que 90% da variação da diferenças médias de tx entre as estações são explicadas pelas diferenças de altitudes. Para o Brasil, há um decréscimo de $0,0053^{\circ}\text{C m}^{-1}$ a mais de altitude.

Para finalizar, na Figura 6 é apresentada a variação de tx com a altitude ao longo dos meses, encontrados por análise de regressão, com o seu respectivo intervalo de confiança. Nota-se que na Figura 5 é apresentada o resultado histórico ($R^2 = 0,90$ e $0,0053^{\circ}\text{C m}^{-1}$). Agora é o resultado histórico mensal, em que de 57%-91% da variação em de tx entre os pares é explicada pelas variações em altitude,

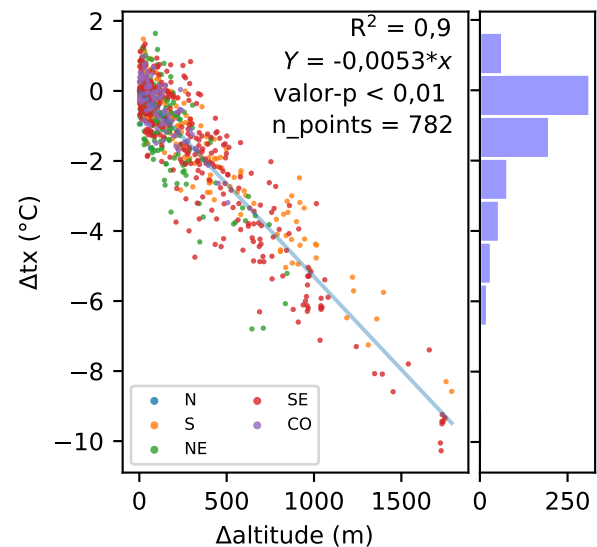


Figura 5: Relação entre a diferença média de tx (Δtx) entre os pares de estações e as suas respectivas diferenças de altitude ($\Delta altitude$).

com decréscimo máximo e mínimo, respectivamente, de $0,0058^{\circ}\text{C m}^{-1}$ (fevereiro) a $0,0043^{\circ}\text{C m}^{-1}$ (agosto). As variações de tx com a altitude, em números absolutos, são maiores nos meses mais quentes, entre outubro e março, enquanto nos meses mais frios, abril a setembro, observam-se os menores valores.

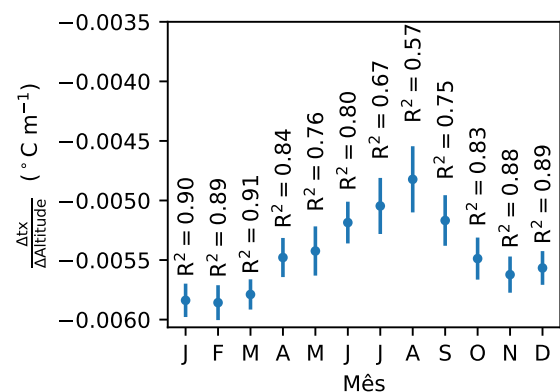


Figura 6: Intervalo de confiança mensal para variação da temperatura com a altitude. O número acima das barras de erros corresponde ao coeficiente de determinação das relações.

4. DISCUSSÃO

Neste trabalho se busca encontrar um parâmetro simples para avaliar a influência da altitude na tx. Vários trabalhos ligados a este tema já foram realizados, podendo-se citar: [21] que, além da altitude, utilizou também, a latitude e a longitude para estimar tx em escala decenal no Rio Grande do Sul, em que, encontraram, em média um decréscimo de $0,0045^{\circ}\text{C m}^{-1}$; para Alagoas, temperatura anual, o decréscimo foi de $0,0075^{\circ}\text{C m}^{-1}$ [22]; em São Paulo, para temperatura média, um decréscimo de $0,0062^{\circ}\text{C m}^{-1}$ [23]. Estes valores mostram que as estimativas encontradas

neste trabalho, tanto histórico como mensal, têm magnitude semelhante, embora este trabalho é nacional.

Fatores como a variação sazonal, latitude, longitude e proximidade de corpos d'água tem influência de estarem próximos a costa são discutidas em [23] e [21], na modelagem da temperatura. Neste trabalho, buscou-se tentar modelar a tx apenas com a altitude, mais variáveis poderiam ser utilizadas contudo, fogem ao escopo estabelecido. Tem-se agora, um conjunto de parâmetros mostrando a relação entre tx e altitude para o Brasil, que poderão ser utilizados para atualização da BR-DWGD.

5. CONCLUSÕES

Deste trabalho, para o Brasil, pode-se concluir:

- há, em média, um decréscimo em tx de $0,0043^{\circ}\text{C m}^{-1}$;
- se analisado mensalmente, tx tem decréscimos que podem variar de $0,0043^{\circ}\text{C m}^{-1}$ a $0,0058^{\circ}\text{C m}^{-1}$;

6. REFERÊNCIAS

- [1] XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology*, John Wiley & Sons, Ltd, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2016. ISSN 1097-0088. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/joc.4518>>.
- [2] ALLEN, R. G. et al. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56. 1. ed. Rome, Italy: United Nations, FAO, 1998. 300 p. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/fao56.pdf>>.
- [3] XAVIER, A.; KING, C.; SCANLON, B. An update of xavier, king and scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil: Sbsr. In: INPE (Ed.). *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, 2017. v. 1, n. 1, p. 8. ISBN 978-85-17-00088-1. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2017/10.23.17.08.52>>.
- [4] UNIDATA. *Network Common Data Form (netCDF) version 4.3.3.1 [software]*. [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.5065/D6H70CW6>>.
- [5] BATTISTI, R.; BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, Jan 2018. ISSN 1434-4483. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00704-018-2383-y>>.
- [6] BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. Solar radiation models and gridded databases to fill gaps in weather series and to project climate change in Brazil. *Advances in Meteorology*, Hindawi Limited, v. 2018, p. 1–15, jul 2018.
- [7] SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, American Meteorological Society, v. 91, n. 8, p. 1015–1058, aug 2010.
- [8] RIENECKER, M. M. et al. MERRA: NASA's Modern-Era retrospective analysis for research and applications. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, v. 24, n. 14, p. 3624–3648, jul 2011.
- [9] STACKHOUSE, P. W. et al. *Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER): Agroclimatology methodology—(1.0° latitude by 1.0° longitude spatial resolution)*, v 1.0.2. [S.l.], 2015.
- [10] YOPASÁ-ARENAS, A.; FOSTIER, A. H. Exposure of brazilian soil and groundwater to pollution by coccidiostats and antimicrobial agents used as growth promoters. *Science of The Total Environment*, v. 644, p. 112 – 121, 2018. ISSN 0048-9697. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718324148>>.
- [11] ZHAO, Q. et al. Spatiotemporal and demographic variation in the association between temperature variability and hospitalizations in Brazil during 2000–2015: A nationwide time-series study. *Environment International*, v. 120, p. 345 – 353, 2018. ISSN 0160-4120. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018311619>>.
- [12] SANTOS, C. A. S. et al. Using a hierarchical approach to calibrate swat and predict the semi-arid hydrologic regime of northeastern Brazil. *Water*, 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4441/10/9/1137/htm>>.
- [13] PILZ, T.; FRANCKE, T.; BRONSTERT, A. lumpR 2.0.0: an r package facilitating landscape discretisation for hillslope-based hydrological models. *Geoscientific Model Development*, Copernicus GmbH, v. 10, n. 8, p. 3001–3023, aug 2017.
- [14] PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H.; SPATAFORA, L. R. Assessment of SM2RAIN-derived and state-of-the-art satellite rainfall products over northeastern Brazil. *Remote Sensing*, MDPI AG, v. 10, n. 7, p. 1093, jul 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/10/7/1093>>.
- [15] SILVA, P. E. D. et al. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, Wiley, aug 2018.
- [16] LIMA, C. H. R.; AGHAKOUCHAK, A.; RANDERSON, J. T. Unraveling the role of temperature and rainfall on active fires in the brazilian amazon using a nonlinear Poisson model. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, American Geophysical Union (AGU), v. 123, n. 1, p. 117–128, jan 2018. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017JG003836>>.
- [17] VERHAGE, F. Y. F.; ANTEN, N. P. R.; SENTELHAS, P. C. Carbon dioxide fertilization offsets negative impacts of climate change on arabica coffee yield in Brazil. *Climatic Change*, v. 144, n. 4, p. 671–685, Oct 2017. ISSN 1573-1480. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2068-z>>.
- [18] RODRIGUEZ, R. del G. et al. Biofuel-water-land nexus in the last agricultural frontier region of the brazilian cerrado. *Applied Energy*, Elsevier BV, sep 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918314338>>.
- [19] DANIELSON, J.; GESCH, D. *Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010)*. [S.l.], 2011. 26 p. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/of/2011/1073/pdf/of2011-1073.pdf>>.
- [20] INMET. *Sobre falha de comunicação*. 2017. Comunicação pessoal.
- [21] FILHO, A. C.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R. Coordenadas geográficas na estimativa das temperaturas máxima e média decendiais do ar no estado do rio grande do sul. *Ciência Rural*, FapUNIFESP (SciELO), v. 38, n. 9, p. 2448–2456, dec 2008.
- [22] LYRA, G. B. et al. Espacialização da temperatura do ar anual no estado de alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais. *Ciência Florestal*, Universidad Federal de Santa Maria, v. 21, n. 2, jun 2011.
- [23] RODRÍGUEZ-LADO, L. et al. Modelling air temperature for the state of são paulo, brazil. *Scientia Agricola*, FapUNIFESP (SciELO), v. 64, n. 5, p. 460–467, oct 2007.