Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Análise da representatividade estatística de dados meteorológicos para uma região do Submédio São Francisco

Alisson Amorim Siqueira¹; Saulo Medrado dos Santos²; Iug Lopes³; Brauliro Gonçalves Leal⁴; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro⁵

¹Engenheiro da Computação e Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA. e-mail: Alisson-amorin@hotmail.com; ²Doutorando Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA. Bolsista CAPES. e-mail: saulomedrado1@gmail.com; ³Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Bom Jesus da Lapa. e-mail: iuglopes@hotmail.com; ⁴Professor Doutor Colegiado de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA. e-mail: brauliro.leal@univasf.edu.br; ⁵Professor Doutor do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. e-mail: abelardomontenegro666@gmail.com.

Artigo recebido em 14/10/2017 e aceito em 29/03/2018

RESUMO

Disponer de dados meteorológicos confiáveis e representativos é essencial para todas as etapas do planejamento agrícola, desde manejo de plantios e o cálculo da irrigação até a pós-colheita e armazenamento da produção. Esses dados se fazem ainda mais importantes em regiões cuja economia tem sua base no agronegócio, como é a Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) Petrolina/PE-Juazeiro/BA, onde a atividade agrícola é uma das principais responsáveis pelo crescimento econômico da região. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a representatividade estatística dos dados medidos, através do Teste de Médias Pareadas, nas 14 Estações Meteorológicas Automáticas do INMET dentro da área de estudo. Tal análise procurou destacar quanto representativo são os dados meteorológicos obtidos dessas estações e a área possivelmente coberta por esses dados. Para a realização deste projeto utilizou-se um Sistema de Informações Geográficas (SIG), ferramenta gratuita desenvolvida pelos autores, para trabalhar com camadas vetoriais e dados meteorológicos, que permitiu representar visualmente os dados das estações, conferido credibilidade à proposta. Com o programa desenvolvido, foi proposta uma realocação que poderá melhorar os modelos de previsão e contribuir com o agronegócio na região. Espera-se que os indicativos de áreas fornecidos por esse estudo também subsidiem a instalação de novas estações.

Palavras-chave: Estações meteorológicas automática, Representatividade de dados, SIG, médias pareadas.

Analysis of the statistical representativeness of meteorological data for a region of São Francisco Submiddle

ABSTRACT

Providing reliable and representative meteorological data is essential for all stages of agricultural planning, from crop management to irrigation to post-harvest and storage of production. These data are even more important in regions whose economy is based on agribusiness, such as the Integrated Development Region (RIDE) Petrolina/PE-Juazeiro/BA, where agricultural activity is one of the main factors responsible for economic growth in the region. Thus, the objective of this work was to analyze the statistical representativeness of the measured data, through the Test of paired means, in the 14 Automatic Weather Stations of INMET within the study area. This analysis sought to highlight how representative are the meteorological data obtained from these stations and the area possibly covered by these data. For this project, a Geographic Information System (GIS) was used, a free tool developed by the authors, to work with vector layers and meteorological data, which allowed to represent the data of the stations visually, conferring credibility to the proposal. With the program developed, a new organization was proposed to improve forecasting models and contribute to agribusiness in the region. It is expected that the indicative of areas provided by this study also subsidize the installation of new stations.

Keywords: Weather stations; representativeness of data, GIS; Paired means.

Introdução

A agricultura é um dos mais importantes segmentos da cadeia produtiva e o mais dependente das condições ambientais, exigindo que dados meteorológicos confiáveis e representativos sejam gerados a fim de permitir o planejamento agrícola e a tomada de decisão. As condições ambientais desempenham considerável influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando de forma associada sobre os processos fisiológicos, como germinação, fotossíntese, evapotranspiração e produção de matéria seca (Zhao et al., 2017; Stotz et al., 2017) e são úteis em todas as etapas do planejamento agrícola, desde manejo de plantios e o cálculo da irrigação até a pós-colheita e armazenamento da produção (Carvalho et al., 2016). Em regiões cuja economia é fundamentada na agricultura, os dados meteorológicos tornam ainda mais essenciais.

Tendo em vista o crescimento socioeconômico motivado pelo agronegócio, a Região Integrada de Desenvolvimento Econômico (RIDE) Petrolina/PE – Juazeiro/BA é resultado de uma política pública voltada para o desenvolvimento do semiárido e em particular da região. É caracterizada por forte incidência de radiação solar, altas temperaturas e regimes marcados pela escassez e irregularidade de chuvas, com precipitações concentradas durante três meses do ano (Angelotti et al., 2009; Lopes e Leal, 2016). A oferta de água do Rio São Francisco, juntamente com a forte insolação diária e anual, são fatores favoráveis à produção de frutas tropicais com elevado padrão de exigência, voltadas ao mercado externo, e a criação de um processo de dinamização que transformaria a realidade semiárida local (Silva, 2009; Prado e Leal, 2016).

Segundo a CODEVASF (2010), a região conta com uma área de cerca de 260.000 hectares irrigados. Dados do Instituto Brasileiro de Geografias e Estatísticas (IBGE), ainda para o ano de 2012 (dados mais recentes) indicaram que o município de Petrolina-PE gerou Valor Agregado Bruto (VAB) pela Agropecuária de aproximadamente R\$ 437 milhões. Para o mesmo ano, o município de Juazeiro-BA contou com cerca de R\$ 155 milhões (IBGE, 2012).

Para suprir a região com dados meteorológicos, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mantém uma rede com 25 estações meteorológicas em operação, das quais 11 convencionais e 14 automáticas (INMET, 2011). As variáveis comumente medidas nestas estações são Temperatura, Umidade Relativa, Temperatura

do Ponto de Orvalho, Pressão Atmosférica, Velocidade e Direção do Vento, Velocidade de Rajada, Radiação Solar e Precipitação. Os dados medidos por estas estações possuem elevada qualidade e estão disponíveis no site do INMET, sendo por vezes, subutilizados.

Segundo a WMO (2008), as previsões climáticas de menor alcance exigem observações mais frequentes de uma rede mais densa em uma área limitada, a fim de detectar qualquer fenômeno em pequena escala e seu rápido desenvolvimento. Afirmam ainda que a representatividade de uma observação é o grau em que descreve com precisão o valor da variável necessária para um propósito específico. Portanto, não é uma qualidade fixa de qualquer observação, mas resulta da avaliação conjunta da instrumentação, intervalo de medição e exposição em relação aos requisitos de alguma aplicação específica. Por exemplo, as observações sinóticas (previsão do tempo) geralmente devem ser representativas de uma área de até 100 km em torno da estação, mas para aplicações em pequena escala ou locais, a área considerada pode ter dimensões de 10 km ou menos.

A representatividade de um conjunto de dados pode ser obtida através do Teste de Médias Pareadas, uma ferramenta estatística que se destaca pela simplicidade de uso e fácil interpretação dos resultados. O teste consiste em calcular, através de um intervalo de confiança, se existe diferença significativa entre amostras de dados, o que ocorre quando o zero não pertence a este intervalo (existe flutuação entre valores negativos e positivos), caso contrário, as amostras analisadas são estatisticamente idênticas (Hines, 2006).

Dada a importância dos dados meteorológicos para a agricultura e a rede de estações disponível na RIDE, torna-se fundamental saber quão representativos são os dados obtidos pelas estações automáticas e a área de influência desses dados, objetivando com isso um maior controle local do clima e a antecipação aos eventos extremos, sobretudo nas regiões de elevada produção agrícola.

Considerando o momento atualmente enfrentado com a diminuição da vazão do Rio São Francisco, com sua capacidade de armazenamento na barragem de Sobradinho/BA próximo ao volume morto, faz-se necessário atualizar quantidade de água que pode ser retirada para a agricultura irrigada.

Diante disso, esse trabalho tem por objetivo analisar quão representativos são os dados

medidos nas estações meteorológicas automáticas do INMET, através do teste de médias pareadas, e propor uma nova disposição para as estações meteorológicas, tendo como critério principal a diminuição das distâncias entre as estações e aumento da cobertura da região objeto deste estudo.

Material e métodos

Área de estudo

A área para estudo localiza-se na região hidrográfica do Submédio São Francisco, compreendendo a Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE). Com municípios de destaque agrícola, Petrolina-PE, Juazeiro-BA e circunvizinhos, situa-se ao extremo Oeste de Pernambuco e Norte da Bahia, abrangendo alguns dos municípios com características mais áridas do Nordeste Brasileiro, grande parte, às margens do Rio São Francisco (Figura 1).

Figura 1. Delimitação da área de estudo e disposição das 14 estações meteorológicas automáticas utilizadas no trabalho.

Dados utilizados

As etapas metodológicas para esse trabalho foram divididas em duas etapas distintas:

- (I) Análise da representatividade dos dados
- (II) Proposta de realocação das estações

1. Análise da representatividade dos dados das estações

Inicialmente foram utilizadas médias mensais de dados diários, calculadas a partir dos dados horários das 14 estações meteorológicas automáticas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em operação na área, modelo Vaisala MAWS301. Foram monitorados valores de

Temperatura Média (°C), Umidade Relativa Média (%), Velocidade do Vento (m/s) e Radiação Solar (mJ/m²), e o período de observação de dados foi de 21/06/2002 a 21/06/2016.

Os valores obtidos em cada estação foram comparados com as médias dos dados da estação de Petrolina (A307), utilizada como referência para os cálculos, objetivando-se, com isso, avaliar a representatividade central dos dados meteorológicos dentro da área de estudo. Tal referência justifica-se pelo recorte espacial incluir áreas que têm extrema necessidade de dados climáticos a serem aplicados na agricultura irrigada. Os dados das localizações geográficas das estações foram provenientes do próprio site do INMET e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Estações meteorológicas automáticas utilizadas no trabalho com Código do INMET, informações de localização e distância aproximada em relação à estação de Petrolina/PE.

Código	Local	UF	Lat. (°)	Long. (°)	Altitude (m)	Distância (Petrolina) (km)
A329	Cabrobó	PE	-8,5036	-39,3144	342	192
A443	Delfino	BA	-10,4553	-41,2072	637	127
A442	Euclides da Cunha	BA	-10,5367	-38,9978	432	237
A351	Floresta	PE	-8,6103	-38,5922	329	260
A424	Irecê	BA	-11,3289	-41,8647	755	246
A440	Jacobina	BA	-11,2050	-40,4653	453	206
A330	Paulistana	PI	-8,1325	-41,1428	374	144
A307	Petrolina	PE	-9,3833	-40,8000	370	0
A436	Queimadas	BA	-10,9847	-39,6171	315	221
A423	Remanso	BA	-9,6189	-42,0831	401	145
A331	São João do Piauí	PI	-8,3647	-42,2508	235	197
A345	São Raimundo Nonato	PI	-9,0331	-42,7006	402	214
A428	Senhor do Bonfim	BA	-10,4442	-40,1469	548	138
A435	Uauá	BA	-9,8336	-39,4956	453	153

Os elementos meteorológicos escolhidos para o estudo foram definidos através da maior representatividade para o cálculo da Evapotranspiração de referência (ET_o) por Penman-Monteith, parametrizada pela FAO. O modelo FAO Penman-Monteith (PM-FAO56) é o método padrão recomendado para o cálculo da ET_o

em nível mundial (Allen, 1956; Prado e Leal, 2016).

Os dados para o cálculo de representatividade, em comparação com a estação Petrolina, só foram processados quando todas as estações possuíam a leitura diária para cada um dos elementos.

Para obter o intervalo de confiança (IC) de uma amostra contendo “n” diferenças, calculou-se a média e o desvio padrão das diferenças da amostra, $\bar{x}$ e s , com nível de confiança de 95% pela distribuição Normal Z, e assim aplicados na Equação 1. O intervalo de confiança oscila em torno da média geral das diferenças, podendo assumir valores positivos, ou negativos, ou nulos.

$$(IC^-, IC^+) = \left(\bar{x} - z_{\alpha=95\%} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z_{\alpha=95\%} \frac{s}{\sqrt{n}} \right) \text{ Eq. 1}$$

Para o auxílio no gerenciamento e cálculo do intervalo de confiança (IC) foi estruturado um banco de dados (utilizando a biblioteca Sqlite3) em que se implementou um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) na linguagem C, visando uma automação nos cálculos. Preparou-se consultas em SQL (Structured Query Language) para organizar os dados e tornar mais fácil o processamento das variáveis (Figura 2).

Figura 2. Tela principal do banco de dados desenvolvido para análise dos dados.

Com os dados organizados, foi desenvolvido um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG), em linguagem C++ com o objetivo de processar as mais de 12.500 linhas e 23 colunas de informações obtidas das

leituras das estações, bem como executar as consultas preparadas no banco de dados. O funcionamento do software é explicado pelo fluxograma da Figura 3.

Figura 3 Fluxograma de execução do software de cálculo da representatividade das estações.

O software foi testado e validado de forma a comparar com análises executadas em software de planilha eletrônica. Após a validação, os cálculos foram realizados e os resultados do teste de médias pareadas exportado pela interface do próprio programa. Por fim, realizou-se a interpretação da representatividade das estações em relação à estação central (A307), que consistiu em verificar o intervalo de confiança, entendido quando há inversão de sinais entre IC^- (negativo) e IC^+ (positivo).

A primeira etapa consistiu de uma verificação analítica, conferindo impessoalidade estatística e corroboração à proposta de disposição das estações da etapa seguinte.

II. Proposta de Realocação das Estações Automáticas

A realocação foi realizada com base nas indicações da Organização Mundial de Meteorologia (WMO), onde afirma que a representatividade de uma observação é o grau em que descreve com precisão o valor da variável necessária para um propósito específico. As observações sinóticas (previsão do tempo) geralmente devem ser representativas de uma região de até 100 km em torno da estação, e para aplicações em pequena escala ou locais, a região considerada pode ter dimensões de 10 km ou menos (WMO, 2008). Como pode ser observado através da Tabela 1, nota-se que as estações da

região estão a uma distância superior em raio a ambas indicações.

Visando uma cobertura espacial de dados em escala local, uma vez que tal região surge como importante área agrícola, foi utilizada para este trabalho uma região de influência em torno de 50 km, propondo com isso uma realocação das estações existentes objetivando a melhor representatividade dos dados para áreas ou regiões prioritárias.

Utilizando-se do software SIG (construído na etapa anterior), plotou-se os pontos com as coordenadas geográficas das estações, criando-se um buffer (contorno) de 50 km ao redor das mesmas como já discutido anteriormente, e o ponto central da área de estudo, ponto representando a localidade Petrolina-PE, com um buffer de 250 Km. A cena foi sobreposta com as camadas de municípios e de estados brasileiros (IBGE, 2016), como ilustrado na Figura 4.

Com a disposição atual das estações representadas, efetuou-se os cálculos de distância entre as estações e os cálculos de área ocupada pela estação, para posterior comparação. O uso do SIG auxilia com fundamental importância para a realocação das estações meteorológicas uma vez que torna possível a coleta, armazenamento, manipulação e análise, como também a visualização gráfica de dados de diferentes tipos e origem.

Figura 4. Disposição das 14 Estações meteorológicas automáticas e o buffer de 50 Km ao redor, mostrando que a maior parte da RIDE está desassistido de estações meteorológicas.

Para primeira proposta de realocação, utilizou-se um algoritmo de disposição circular de pontos, sem considerar critérios geográficos para instalação das estações. Esse algoritmo tem por objetivo minimizar a distância entre os raios de alcance da estação e evitar sobreposição de raio.

Para segunda proposta de realocação das estações, considerou-se os seguintes critérios, adaptados das indicações feitas pela WMO (2008): 1) o local deve apresentar horizontes amplos, sem barreiras que impeçam a incidência da radiação solar ou que modifiquem o vento; 2) não deve haver terreno inclinado na vizinhança; 3) deve manter distância dos cursos d'água, pois modificam o balanço de energia; 4) a área escolhida deve representar os ventos gerais da região; 5) a estação deve estar longe de áreas urbanas e em locais com a vegetação preservada; 6) deve-se observar a rugosidade do terreno; 7) o solo deve ser representativo da região, plano, que não acumule água e deve ser gramada a fim de minimizar o efeito de condições físicas do ambiente;

Para escolha do local de realocação ou instalação das novas estações, utilizou-se dados geográficos em formato shapefile de solo, cobertura vegetal e remanescentes florestais, disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), Cobertura Hídrica, disponibilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017), velocidade e direção dos ventos, estimado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL, 2001) e imagens do sensor SRTM disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE, 2017), dados esses trabalhados com escala mínima de 1:250.000. A incorporação das camadas citadas é ilustrada pela Figura 5.

Para a segunda proposta, utilizou-se de algoritmo de varredura ao redor da área de estudo, buscando locais que atendessem aos critérios definidos e que tivesse uma distância mínima de 50 km entre as estações adjacentes.

Figura 5. Camadas de hidrografia, solo, vegetação e velocidade e direção dos ventos dentro da RIDE, pronto para o processamento de varredura e realocação.

Após a definição dos locais, efetuou-se, em ambas as propostas, novamente os cálculos de distância entre as estações e os cálculos de área ocupada pela estação. Comparou-se ao fim com a disposição atual, com intuito de informar o ganho com a realocação.

Resultados e discussão

Os valores do teste de médias pareadas executado para Temperatura Média está disposta na Tabela 2. Em cada Tabela das variáveis estudadas é apresentado o código da estação, o valor médio e o desvio padrão das diferenças de cada leitura, o valor do teste ($F = z_{\alpha=95\%} \frac{s}{\sqrt{n}}$) e os intervalos de confiança resultante.

Em relação a variável Temperatura Média, apresentada na Tabela 2, verificou-se que a estação A307 (Petrolina) e A423 (Remanso) possuem leituras idênticas, estatisticamente de IC, com nível de confiança de 95%. Todas as demais estações, entretanto, possuem leituras diferentes.

Confrontando os intervalos de confiança (IC) para a temperatura, Tabela 1, nota-se que a relação da Latitude entre as estações e a estação de

Petrolina-PE torna os intervalos de confiança mais próximos ou distantes do zero, com algumas exceções. Remanso apresentou a menor diferença de Latitude, indicando uma relação com a temperatura medida e podendo estar relacionada com as condições de também ser margeada pelo Rio São Francisco.

Esses dados de temperatura permitiram indicar que as estações estudadas, com exceção da estação de Remanso, não podem ser retiradas da área, pois a temperatura medida em cada uma delas é diferente estatisticamente. Como a maior parte da área de estudo está desassistida de estações com abrangência nacional, faz-se necessário a instalação de novas estações.

É comentado por Leitão (2017) que as estações meteorológicas, enfatizadas em algumas no Submédio São Francisco, encontram-se monitorando elementos meteorológicos em condições de ambiente urbano. Essa situação ressalta a importância desse estudo para retirada dos locais que são inapropriados.

Para o teste de médias pareadas executado para velocidade de ventos, pode ser observado Tabela 3

Tabela 2. Comparação da Temperatura Média com a estação de Petrolina (A307), com teste f (F), os intervalos de confiança (IC-; IC+) e número de dados (N)

Estação	Média	Desvio Padrão	F	IC-	IC+	N
A329	-0,2809	0,7775	0,0551	-0,3360	-0,2258	768
A330	0,3233	1,3209	0,0936	0,2297	0,4169	768
A331	0,6375	1,8634	0,1320	0,5055	0,7695	768
A345	-0,3639	1,3330	0,0982	-0,4621	-0,2657	710
A351	-0,4352	1,0395	0,0895	-0,5247	-0,3457	521
A423	-0,0535	1,1657	0,0876	-0,1410	0,0341	683
A424	-3,1693	1,1053	0,0832	-3,2525	-3,0861	680
A428	-2,8502	1,0927	0,0822	-2,9323	-2,7680	682
A435	-1,6830	0,9525	0,0760	-1,7590	-1,6069	605
A436	-1,1514	1,3445	0,1046	-1,2560	-1,0468	637
A440	-2,8197	1,3349	0,1022	-2,9219	-2,7175	658
A442	-2,5765	1,4867	0,1143	-2,6908	-2,4622	652
A443	-3,1671	1,0369	0,0844	-3,2515	-3,0827	582

(A329) Cabrobó; (A330) Paulistana; (A331) São João do Piauí; (A345) São Raimundo Nonato; (A351) Floresta; (A423) Remanso; (A424) Irecê; (A428) Senhor do Bonfim; (A435) Uauá; (A436) Queimadas; (A440) Jacobina; (A442) Euclides da Cunha; (A443) Delfino.

Em relação a variável Temperatura Média, apresentada na Tabela 2, verificou-se que a estação A307 (Petrolina) e A423 (Remanso) possuem leituras idênticas, estatisticamente de IC, com nível de confiança de 95%. Todas as demais estações, entretanto, possuem leituras diferentes.

Confrontando os intervalos de confiança (IC) para a temperatura, Tabela 1, nota-se que a relação da Latitude entre as estações e a estação de Petrolina-PE torna os intervalos de confiança mais próximos ou distantes do zero, com algumas exceções. Remanso apresentou a menor diferença de Latitude, indicando uma relação com a

temperatura medida e podendo estar relacionada com as condições de também ser margeada pelo Rio São Francisco.

Esses dados de temperatura permitiram indicar que as estações estudadas, com exceção da estação de Remanso, não podem ser retiradas da área, pois a temperatura medida em cada uma delas é diferente estatisticamente. Como a maior parte da área de estudo está desassistida de estações com abrangência nacional, faz-se necessário a instalação de novas estações.

Tabela 3. Comparação da Velocidade dos Ventos com a estação de Petrolina (A307), com teste f (F), os intervalos de confiança (IC-; IC+) e número de dados (N)

Estação	Média	Desvio Padrão	F	IC-	IC+	N
A329	0,1203	0,7957	0,0623	0,0580	0,1825	630
A330	0,0706	0,7728	0,0604	0,0102	0,1310	631
A331	-1,3978	0,5321	0,0416	-1,4394	-1,3562	631
A345	-1,4798	0,5837	0,0466	-1,5264	-1,4332	605
A351	-0,1269	0,6025	0,0531	-0,1800	-0,0738	497
A423	-0,6480	0,5784	0,0463	-0,6943	-0,6017	602
A424	-0,5311	0,4639	0,0371	-0,5682	-0,4940	602
A428	-0,2590	0,5474	0,0439	-0,3029	-0,2152	601
A435	0,2161	0,5365	0,0483	0,1678	0,2644	476
A436	-0,0571	0,8564	0,0690	-0,1260	0,0119	595
A440	-1,3987	0,7358	0,0590	-1,4577	-1,3396	599
A442	-0,1677	0,9032	0,0770	-0,2447	-0,0908	531
A443	-0,6681	0,5552	0,0462	-0,7143	-0,6219	557

(A329) Cabrobó; (A330) Paulistana; (A331) São João do Piauí; (A345) São Raimundo Nonato; (A351) Floresta; (A423) Remanso; (A424) Irecê; (A428) Senhor do Bonfim; (A435) Uauá; (A436) Queimadas; (A440) Jacobina; (A442) Euclides da Cunha; (A443) Delfino.

É comentado por Leitão (2017) que as estações meteorológicas, enfatizadas em algumas

no Submédio São Francisco, encontram-se monitorando elementos meteorológicos em

condições de ambiente urbano. Essa situação ressalta a importância desse estudo para retirada dos locais que são inapropriados.

Para o teste de médias pareadas executado para velocidade de ventos, pode ser observado Tabela 3 Quando observado os IC dos valores de velocidade dos ventos entre as estações estudadas e a estação Petrolina, nota-se que são diferentes estatisticamente. Nessa variável, apenas a estação de Queimadas mostrou-se estatisticamente semelhante à Petrolina.

Para a velocidade de vento, deve-se ter cautela na aplicação dos dados estimados para locais intermediários entre as estações uma vez das diferenças de padrão e pela importância da variável para o cálculo da ETo demonstrado por Prado e Leal (2016).

Observa-se na Tabela 4 o teste de médias pareadas executado para umidade relativa média, com seus respectivos índices estatísticos.

Tabela 4. Comparação da Umidade Relativa Média com a estação de Petrolina (A307), com teste f (F), os intervalos de confiança (IC-; IC+) e número de dados (N).

Estação	Média	Desvio Padrão	F	IC-	IC+	N
A329	0,8016	6,6965	0,5239	0,2777	1,3255	630
A330	-0,8590	7,1690	0,5604	-1,4194	-0,2985	631
A331	-0,6006	9,9877	0,7808	-1,3814	0,1802	631
A337	2,4907	11,9613	1,0694	1,4213	3,5601	483
A345	8,3917	11,7351	0,9370	7,4548	9,3287	605
A351	0,5682	8,0989	0,7181	-0,1499	1,2864	491
A354	4,1480	13,0208	1,0866	3,0614	5,2346	554
A411	5,1039	10,2386	0,8907	4,2132	5,9946	510
A423	4,3721	7,2273	0,5785	3,7936	4,9506	602
A424	5,3787	8,8342	0,7071	4,6716	6,0859	602
A428	7,7388	9,2226	0,7388	6,9999	8,4776	601
A435	2,3193	7,2457	0,6526	1,6668	2,9719	605
A436	2,3260	9,8774	0,7952	1,5307	3,1213	637
A440	7,3756	10,3871	0,8335	6,5421	8,2091	658
A442	8,9850	13,1741	1,0562	7,9287	10,0412	652
A443	1,9174	7,0870	0,5898	1,3275	2,5072	582

(A329) Cabrobó; (A330) Paulistana; (A331) São João do Piauí; (A345) São Raimundo Nonato; (A351) Floresta; (A423) Remanso; (A424) Irecê; (A428) Senhor do Bonfim; (A435) Uauá; (A436) Queimadas; (A440) Jacobina; (A442) Euclides da Cunha; (A443) Delfino.

Verificou-se que os intervalos de confiança da Umidade Relativa na sua maioria são estatisticamente diferentes, exceto para os dados da estação A331 (São João do Piauí) e A351 (Floresta), que são estatisticamente semelhantes

aos correspondentes valores medidos em A307 (Petrolina).

Da mesma forma que as outras variáveis meteorológicas, na Tabela 5 pode ser observado o teste de médias pareadas executado para radiação solar.

Tabela 5. Comparação da Umidade Relativa Média com a estação de Petrolina (A307), com teste f (F), os intervalos de confiança (IC-; IC+) e número de dados (N).

Estação	Média	Desvio Padrão	F	IC-	IC+	N
A329	227,999	3519,128	275,326	-47,326	503,326	630
A330	969,340	3648,275	285,203	684,137	1254,544	631
A331	748,541	4081,345	319,058	429,483	1067,600	631
A345	330,381	4023,153	321,223	9,158	651,604	605
A351	113,793	3589,081	316,629	-202,836	430,422	496
A423	2756,293	3990,329	635,218	2121,075	3391,511	154
A424	1204,231	3889,762	311,348	892,883	1515,580	602
A428	-18604,397	4171,081	334,145	-18938,542	-18270,252	601
A435	-823,671	2840,684	255,842	-1079,514	-567,828	476
A436	-3691,061	5646,622	454,634	-4145,696	-3236,426	595
A440	-2761,714	4125,769	331,068	-3092,783	-2430,646	599
A442	-1693,394	3607,474	289,236	-1982,631	-1404,158	600
A443	-1322,287	3443,894	286,625	-1608,913	-1035,662	557

(A329) Cabrobó; (A330) Paulistana; (A331) São João do Piauí; (A345) São Raimundo Nonato; (A351) Floresta; (A423) Remanso; (A424) Irecê; (A428) Senhor do Bonfim; (A435) Uauá; (A436) Queimadas; (A440) Jacobina; (A442) Euclides da Cunha; (A443) Delfino.

Constata-se que os IC entre os valores da Radiação Solar são estatisticamente idênticos apenas para as estações A329 (Cabrobó) e A351 (Floresta) e diferentes para as demais.

Com a observação dos resultados obtidos de radiação solar, pode-se confirmar a importância individual de cada estação para cada uma das variáveis estudadas e inferir a necessidade de uma melhor distribuição espacial das estações pertencentes à região. Para o estudo em questão foi

avaliada a possibilidade de redistribuição das estações existentes adaptando o que indica o Guia de Instrumentos Meteorológicos e Métodos de Observação (WMO, 2008).

A primeira proposta, consistiu em dispor os pontos das estações ao redor do centro do raio de 250 km. O resultado dessa proposta é apresentado na Figura 6.

Figura 6. Aplicação da primeira proposta de realocação. As estações estão dispostas de forma a diminuir a distância e maximizar a área ocupada, entretanto, não considera a localização das mesmas.

A segunda proposta, utilizou-se de camadas vetoriais contendo informações de solo, vegetação, hidrografia, velocidade e direção dos ventos e ocupação urbana para propor a realocação das estações, com base nos critérios ditos anteriormente.

Utilizando-se como área de busca os municípios da RIDE, o algoritmo testa cada área de 1 km² em busca de pontos que atendam os critérios acima. A estação é alocada no primeiro ponto válido e a análise recomeça para o próximo ponto. Ao fim do processamento, obteve-se a configuração da Figura 7.

Figura 7. Aplicação do algoritmo de realocação com base nos critérios apresentados em (WMO, 2008). As estações estão dispostas de forma a ocupar a maior área dentro da área de estudo, desde que atendam aos critérios expostos.

A primeira proposta maximizou a área ocupada e minimizou a distância entre as estações, entretanto não foi a mais indicada para ser aplicada, pois não atendem aos critérios recomendados pela WMO por não considerar a localização das mesmas.

Do ponto de vista prático, a solução da segunda proposta não maximizou a área ocupada dentro da RIDE, diminuindo ainda mais a porcentagem ocupada, que atualmente é de 46%.

Entretanto, cobre praticamente todos os municípios da área de estudo (considerando a malha de 50 km), minimizando a distância média entre as estações e a distância mínima entre elas, Tabela 6.

Com essa verificação das distâncias mínimas, tende a diminuir a incerteza nas interpolações dos dados meteorológicos, a exemplo das interpolações para umidade relativa do ar (Lopes e Leal, 2018) e da temperatura do ar (Lopes et al., 2017b) para a Região do Submédio São Francisco.

Tabela 6. Tabela comparativa das soluções apresentadas e do cenário atual.

Cenário Utilizado	Área ocupada % (Raio 250 km)	Distância Média (Total, km)	Distância Mínima (Média, km)
Disposição Atual	45,8%	3482,17	97,91
1ª Proposta	56,0%	2700,00	100,00
2ª Proposta	38,9%	1920,25	58,11

O resultado da realocação para as estações é mostrado na Tabela 7 e 8, onde os valores de Latitude e Longitude diz respeito as coordenadas

originais das estações obtidas junto ao INMET; Latitude 1 e Longitude 1 a primeira proposta e Latitude 2 e Longitude 2 a segunda proposta.

Tabela 7. Tabela com localização geográficas das estações de estudo: Original (INMET) e Proposta 1.

Código	Local	UF	Lat. (°)	Long. (°)	Lat.1 (°)	Long.1 (°)
A329	Cabrobó	PE	-8,5036	-39,3144	-9,1965	-40,4743
A443	Delfino	BA	-10,4553	-41,2072	-9,1965	-39,5760
A442	Euclides da Cunha	BA	-10,5367	-38,9978	-8,4186	-40,0252
A351	Floresta	PE	-8,6103	-38,5922	-8,4186	-40,9235
A424	Irecê	BA	-11,3289	-41,8647	-9,1965	-41,3727
A440	Jacobina	BA	-11,2050	-40,4653	-9,9745	-40,9235
A330	Paulistana	PI	-8,1325	-41,1428	-9,9745	-40,0252
A307	Petrolina	PE	-9,3833	-40,8000	-9,1965	-38,6777
A436	Queimadas	BA	-10,9847	-39,6171	-8,4186	-39,1269
A423	Remanso	BA	-9,6189	-42,0831	-7,6406	-39,5760
A331	São João do Piauí	PI	-8,3647	-42,2508	-7,6406	-40,4743
A345	São Raimundo Nonato	PI	-9,0331	-42,7006	-7,6406	-41,3727
A428	Senhor do Bonfim	BA	-10,4442	-40,1469	-8,4186	-41,8218
A435	Uauá	BA	-9,8336	-39,4956	-9,1965	-42,2710

Tabela 8. Tabela com localização geográficas das estações de estudo: Original (INMET) e Proposta 2.

Código	Local	UF	Lat. (°)	Long. (°)	Lat.2 (°)	Long.2 (°)
A329	Cabrobó	PE	-8,5036	-39,3144	-8,4820	-40,4430
A443	Delfino	BA	-10,4553	-41,2072	-10,0220	-40,7020
A442	Euclides da Cunha	BA	-10,5367	-38,9978	-8,9310	-39,5410
A351	Floresta	PE	-8,6103	-38,5922	-8,9000	-40,4430
A424	Irecê	BA	-11,3289	-41,8647	-9,2570	-41,0370
A440	Jacobina	BA	-11,2050	-40,4653	-8,4460	-39,8030
A330	Paulistana	PI	-8,1325	-41,1428	-8,7410	-39,9810
A307	Petrolina	PE	-9,3833	-40,8000	-9,3850	-40,6020
A436	Queimadas	BA	-10,9847	-39,6171	-8,8390	-41,3680
A423	Remanso	BA	-9,6189	-42,0831	-9,4680	-40,1150
A331	São João do Piauí	PI	-8,3647	-42,2508	-8,5240	-40,9200
A345	São Raimundo Nonato	PI	-9,0331	-42,7006	-9,4400	-41,5380
A428	Senhor do Bonfim	BA	-10,4442	-40,1469	-9,8640	-39,9230
A435	Uauá	BA	-9,8336	-39,4956	-9,4350	-39,5270

A instalação ou realocação de estações meteorológicas envolvem questões financeiras, política e práticas, tornando-se inviável uma

sugestão que não atendam simultaneamente essas questões. Entretanto, é exposta a necessidade de

instalação de novas estações dentro da RIDE Petrolina-PE/Juazeiro-BA.

Santos e Leal (2017), em estudos sobre a avaliação de interpoladores para espacialização de dados de Radiação Solar para a região, indicaram uma maior influência dos valores mais próximos ao ponto interpolado. Dessa forma, recomendaram a instalação de novas estações meteorológicas automáticas, de modo a favorecer o uso de interpoladores espaciais, tendo em vista sua importância no cenário agrícola brasileiro.

Nesse mesmo direcionamento, destaca-se estudos para o desenvolvimento de ferramentas/dados que facilitem o cotidiano da região e que se utilizam desses dados meteorológicos, a exemplo de potencial de geração de energia eólica (Lopes et al., 2017a) e cálculo da evapotranspiração (Lopes e Leal, 2016).

De uma forma geral, a verificação da necessidade de mudança e instalação de novas estações faz jus ao estudo de Prado e Leal (2016) em que verificaram a urgência da aplicação de dados agrometeorológicos pela agricultura tendo em vista a baixa oferta de água do Rio São Francisco, juntamente com a baixa pluviometria e forte insolação diária.

Conclusões

Através das análises realizadas, comprovou-se a importância individual de cada estação e a necessidade de instalação de mais estações ou realocação das existentes.

Uma proposta de realocação de estações ao longo da Região de Desenvolvimento pode melhorar significativamente os modelos de previsão e contribuir com o agronegócio na região.

As Propostas de realocação apresentadas fundamentam-se nos critérios aceitos pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) e utilizou-se de um Sistema de informações Geográficas (SIG) desenvolvido pelos autores para esse trabalho.

As ferramentas desenvolvidas nesse trabalho surgem como aliado a pesquisadores que buscam indicativos de áreas, que podem ser confirmadas in loco. Além disso, a verificação da representatividade dos dados pode evitar que esforços e capitais sejam investidos em áreas estatisticamente iguais.

Os indicativos de áreas fornecidos por esse estudo podem subsidiar a instalação de novas estações, contribuindo com o agronegócio da referida região.

O programa desenvolvido pode ser utilizado para mais estudos de realocação de estações, melhorando a representatividade de dados.

Referências

- Allen, R. G. 2017. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper, 1956. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>>. Acesso em jul. 2017.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Hidroweb, 2017. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?ToCItem=4100>>. Acesso em ago. 2017.
- Angelotti, F.; Sá, I. B.; Melo, R. F. 2009. Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. In: Embrapa Semiárido/Embrapa Informática Agropecuária. Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. Petrolina-PE, Embrapa Semiárido; Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária. 295p.
- Carvalho, J. F.; Silva, E. F. F.; Silva, G. F. Da.; Rolim, M. M.; Pedrosa, E. M. R. 2016. Production components of *Vigna unguiculata* (L. Walp) irrigated with brackish water under different leaching fractions. Revista Caatinga, 29, 966-975.
- CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1>>. Acesso em ago. 2017.
- CODEVASF, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. 2010. Perímetros irrigados, Polo de Desenvolvimento Petrolina/PE-Juazeiro/BA. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/polos-de-desenvolvimento-1/juazeiro-petrolina>>. Acesso em jan. 2017.
- Hines, W. W. 2006. Probabilidade e estatística na engenharia. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos Municípios, VAB por setor de atividade, 2012. Disponível em: <<http://www.deepask.com/goes?page=Confira-o-VAB-da-agropecuaria-no-PIB-do-seu-municipio>>. Acesso em: ago. 2017.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área Territorial Brasileira, 2016. Disponível

- em:<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: ago. 2017.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados ambientais, 2017. Disponível em:<<http://downloads.ibge.gov.br/index.htm>>. Acesso em: ago. 2017.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Rede de estações meteorológicas e Monitoramento das Estações Automáticas, 2011. Disponível em:<http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf>. Acesso em fev. 2017.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. Mapa índice TOPODATA. Disponível em:<<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em mar. 2017.
- Leitão, M. de M. V. B. R., 2017. Ambiente Urbano e Mudanças Climáticas, in: Galvêncio, J.D.; Oliveira, V. S.; Souza, W. M. (Org.), Mudança Climática, Sociedade, Cidade e Meio Ambiente. 1 ed. Editora Universitária da UFPE, Recife, pp. 101-125.
- Lopes, I.; Cerqueira Júnior, E. P.; Melo, J. M. M.; Leal, B. G. 2017a. Potencial de geração de energia eólica no Submédio São Francisco. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 2, 330-342.
- Lopes, I.; Melo, J. M. M.; Leal, B. G. 2017b. Espacialização da temperatura do ar para a região do Submédio São Francisco. *IRRIGA* 22, 177-193.
- Lopes, I.; Leal, B. G. 2016. Evapotranspiração horária x diária utilizando penmanmonteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 10, 914-924.
- Lopes, I.; Leal, B. G. 2018. Spatialization of the relative air humidity to a region of the Sub-middle of São Francisco. *Revista Brasileira de Biometria* 36, 89-107.
- Prado, L. C.; Leal, B. G. 2016. Meteorological Variables Influence Analysis Over Petrolina-Juazeiro Pole Monthly Reference Evapotranspiration. *IEEE Latin America Transactions*, 14, 10.
- Santos, S. M. dos; Leal, B. G. 2017. Espacialização da radiação solar para a região Submédio do Vale do São Francisco. *Revista Geonorte* 1, 10-19.
- Silva, R. M. A. 2009. Políticas públicas e sustentabilidade do desenvolvimento do Semiárido brasileiro. In: Embrapa Semiárido/Embrapa Informática agropecuária. Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido; Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária. pp. 197-219.
- Stotz, G. C.; Pec, G. J.; Cahill, J. F. 2016. Is biotic resistance to invaders dependent upon local environmental conditions or primary productivity? A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology* 17, 377-387.
- WMO, World Meteorological Organization. 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. ed. 70.
- Zhao, D. F.; Buchholz, A.; Tillmann, R.; Kleist, E.; Cheng, W.; Rubach, F.; Kiendler-Scharr, A.; Yinon, R.; Wildt, J.; Mentel, T. F. 2017. Environmental conditions regulate the impact of plants on cloud formation. *Nature Communications* 8, 14067.