

Avaliação de parâmetros meteorológicos gerados pela reanálise ERA 5 para a cidade de Duque de Caxias, região da Baixada Fluminense-RJ

Larissa Mylena Santos Paulo¹; Marcelo Negreiros de Araújo Júnior¹; Fabricio Polifke da Silva²; Gisele Dornelles Pires²

¹ Alunos Engenharia Civil do Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu - RJ

² Docentes Engenharia Civil do Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu - RJ

larissamy@hotmail.com, marcelo_fernandesneg@outlook.com, briciaopolifke@gmail.com, unigengenharia@gmail.com

Resumo-As informações ambientais coletadas de forma sistemática, uniforme e ininterrupta e em horas estabelecidas permitem conhecer as características e variações dos elementos ambientais que constituem os dados básicos para modelagem numérica, planejamento e gestão dos governantes, assim como auxílio para a tomada de decisão. Inserido neste contexto, este trabalho teve como objetivo de forma qualitativa e quantitativa das estimativas da temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão ao nível médio do mar e intensidade do vento gerados pela reanálise europeia ERA 5 em comparação aos dados observados in situ para a cidade de Duque de Caxias entre 2008 e 2018. Através dos resultados verificou-se que a reanálise ERA 5 conseguiu qualitativamente a distribuição e amplitude dos dados coletados in situ pela estação Xerém na escala mensal. Utilizando o coeficiente Pearson foi possível também verificar que os parâmetros temperatura do ar e pressão atmosférica ao nível médio do mar gerados pela reanálise apresentaram alta correlação em relação aos dados observados. Entretanto, os parâmetros temperatura do ponto de orvalho e intensidade do vento apresentaram menores coeficientes de correlação entre as duas fontes de dados.

Palavras-chave: Meio Ambiente, reanálise, Duque de Caxias

Abstract - The environmental information collected in a systematic, uniform and uninterrupted manner and in established hours allows knowing the characteristics and variations of the environmental elements that constitute the basic data for numerical modeling, planning and management of the government, as well as aid for decision making. Inserted in this context, this work aimed in a qualitative and quantitative way of the estimates of air temperature, dew point temperature, mean sea level pressure and wind intensity generated by the European ERA 5 reanalysis in comparison to the data observed in situ for the city of Duque de Caxias between 2008 and 2018. Through the results it was found that the ERA 5 reanalysis achieved qualitatively the distribution and amplitude of the data collected in situ by the Xerém station on a monthly scale. Using the Pearson coefficient, it was also possible to verify that the parameters air temperature and atmospheric pressure at mean sea level generated by the reanalysis showed a high correlation in relation to the observed data. However, the dew point temperature and wind intensity parameters showed lower correlation coefficients between the two data sources.

Keywords: Environment, reanalysis, Duque de Caxias

1 Introdução

Um sistema de observação ambiental é um conjunto de instrumentos configurados para uso simultâneo, tanto para entender a cobertura espacial das medições ou para coletar medições de propriedades físicas do tempo e clima associado ou características de uma região. As medições visam determinar o estado de um sistema através de técnicas, ou tipos, de observação que podem ser diretas (*in situ*) ou indiretas (obtidas através de sensoriamento remoto ou modelagem numérica). Todas estas informações realizadas de forma sistemática, uniforme e ininterrupta e em horas estabelecidas permitem conhecer as características e variações dos elementos ambientais que constituem os dados básicos para serem utilizados como condições iniciais para a previsão numérica, clima, projeções climáticas, planejamento e gestão dos governantes, assim como auxílio para a tomada de decisão (Varejão-Silva 2006).

A observação de dados *in situ* se caracteriza como uma importante fonte de informações para a sociedade em seus diversos setores. Assim, para tais observações, ou coletas, é necessário que normas pré-estabelecidas sejam seguidas para que tais dados sejam representativos das variações ambientais de uma determinada região. Nesse contexto, o tipo e instalação dos equipamentos, a padronização dos horários de observação e, principalmente, os procedimentos de manutenções preventivas, como os procedimentos de calibração e aferição dos instrumentos de medição adquirem tema de grande relevância. Entretanto, os custos para a manutenção dos equipamentos são alto favorecendo, conseqüentemente, que haja um número reduzido de estações em diversos lugares do mundo, especialmente sobre o Brasil que apresenta uma grande dimensão territorial. Neste sentido, o uso das estimativas indiretas, isto é, obtidas através de técnicas de sensoriamento remoto ou modelagem numérica (reanálises) se apresentam como alternativa de grande utilidade, tanto científicos quanto operacionais, para muitos estudos nas últimas décadas (Castro et al. 2019).

Dentre as estimativas indiretas de parâmetros ambientais podem-se citar as reanálises. Estas fontes de dados estão entre as mais utilizadas em estudo ambientais com diferentes finalidades. Através das informações disponibilizadas pelas reanálises é possível avaliar parâmetros ambientais em diferentes escalas espaço-temporais, variando desde curtos (geralmente horas) a longos períodos de tempo (geralmente anos ou décadas). Os dados obtidos através das reanálises são produzidos considerando técnicas de assimilação de dados e as equações físicas representativas dos fenômenos de tempo e clima predominantes. Devido também as incertezas associadas às observações *in situ*, muitos profissionais se referem frequentemente aos dados calculados pelas reanálises como “observações reais” e os utilizam para diversos fins como se realmente fossem representativos das condições ambientais locais, isto é, como se estivessem sido medidas localmente. Acredita-se que vertente seja assim considerada porque, além das reanálises fornecerem estimativas ambientais abrangentes e graduais em intervalos regulares durante longos períodos de tempo; passam também por um controle de qualidade durante o processo de assimilação de dados. Assim, fornecem conseqüentemente, uma maior confiabilidade subjetiva para o seu

uso, sendo também disponibilizada em um formato conveniente para avaliações de seus em modelos numéricos, assim como a detecção e atribuição de estudos de projeções climáticas, dentre outros (Parker 2016).

As assimilações geradas pelas reanálises dependem principalmente dos dados coletados localmente das componentes do sistema climático, podendo-se citar a atmosfera, biosfera, criosfera, hidrosfera e litosfera. Devido a não linearidade e interações altamente não lineares e complexas entre as componentes do sistema climático utiliza-se uma hierarquia para a consideração das escalas espaço-temporais associadas às observações dos parâmetros ambientais, assim como a sua utilização dos modelos numéricos ambientais. Primeiramente os dados observacionais do estado da atmosfera e do oceano são veementemente observados através de técnicas observacionais *in situ* e sensoriamento remoto, para serem posteriormente assimilados em um modelo numérico, isto é, equações físicas e matemáticas associadas, visando produzir as reanálises. Entretanto, as observações *in situ*, além de serem utilizadas para gerar as reanálises, são também utilizadas para calibrar as relações estatísticas utilizadas no processamento, para determinar e corrigir o erro das estimativas obtidas das interpolações numéricas e, por fim, avaliar a representatividade final dos resultados gerados pelas reanálises (Brönnimann et al. 2018).

Segundo Guedes et al. (2005) atualmente inúmeras pesquisas científicas vêm sendo realizadas considerando os dados fornecidos pelas reanálises. Segundo os autores, tal característica se deve em função de sua ampla e gratuita disponibilidade, tornando-se conveniente o incentivo de estudos que busquem avaliar qualitativamente e quantitativamente se os dados pelas reanálises conseguem reproduzem as características espaço-temporais em diferentes regiões, isto é, as variabilidades diárias e/ou anuais, presentes nos dados coletados *in situ*, assim como detectar outras variabilidades, como variações de baixa frequência. Os autores ainda ressaltam a necessidade da validação dos dados de reanálise em comparação aos dados observacionais em diferentes regiões do mundo. Com ênfase à América do Sul, os autores apontam que os dados disponibilizados pelas reanálises podem apresentar menor acurácia em relação ao Hemisfério Norte em função da baixa quantidade de dados observados na região que são enviados e utilizados operacionalmente para contribuir na assimilação de dados que geram as reanálises (Guedes et al. 2005).

Dentre as reanálises existentes, o primeiro grande projeto foi a Reanálise de 40 anos gerada em conjunto por dois grandes centros operacionais americanos, o *National Centers for Environmental Prediction* e o *National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) que forneceram, através das técnicas estatísticas e equações representativas dos processos físicos ambientais, análises globais, isto é, em grades espaciais regulares e em intervalos sub-diários (a cada seis horas) para o período compreendido entre 1957 e 1996 (Kalnay et al. 1996). Com a evolução computacional e dos sistemas de observação *in situ* e remotos, após anos de pesquisas contínuas, o *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) iniciou a produção de uma nova reanálise climática, chamada ERA5. Os dados disponibilizados pela reanálise ERA5 apresentam uma maior resolução espaço-temporal do que a

reanálise anterior (ERA-INTERIM) disponibilizada pelo ECMWF, com disponibilidade das variáveis a cada hora e resolução horizontal de 31 km. Assim, optou-se por utilizar os dados da reanálise ERA 5 para a aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

Inserido neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar qualitativamente e quantitativamente o comportamento das variáveis temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão ao nível médio do mar e intensidade do vento gerados pela reanálise ERA 5 em relação aos dados da estação Xerém, localizada na cidade de Duque de Caxias, para o período compreendido entre 2008 e 2018. A avaliação qualitativa corresponderá a análise da evolução mensal entre estas duas fontes de dados. A avaliação quantitativa corresponderá ao grau de correlação entre as mesmas fontes de dados.

2 Materiais e Métodos

O município de Duque de Caxias é uma cidade localizada na região administrativa da Baixada Fluminense do estado do Rio de Janeiro, possui população estimada em 924.624 habitantes (estimada em 2020), sendo assim o mais populoso da Baixada Fluminense, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (<http://www.ibge.gov.br/home/>) e ocupa uma área de 467,3 km² (Figura 1). Para avaliação da estimativa dos parâmetros meteorológicos gerados pela reanálise ERA 5 serão utilizados os dados coletados *in situ* entre 2008 e 2018 pela estação Xerém pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/portal/>) localizada na cidade de Duque de Caxias.

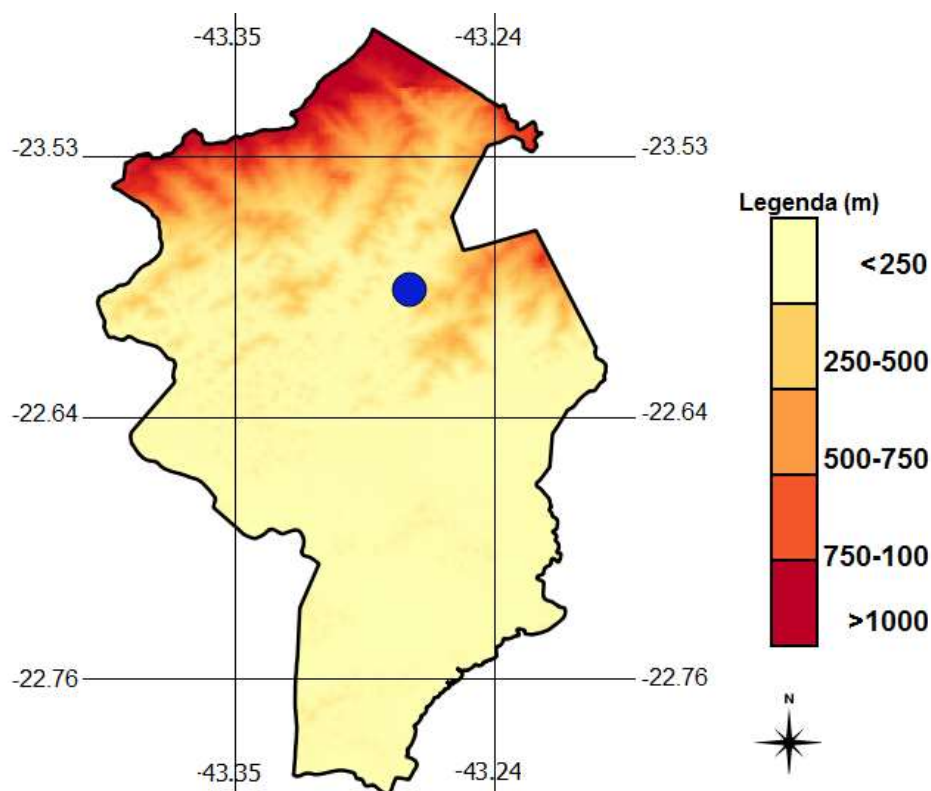


Figura 1- Perfil de elevação da cidade de Duque de Caxias, localizada na Baixada Fluminense do estado do Rio de Janeiro. A posição geográfica da estação Xerém encontra-se em azul.

Além da avaliação qualitativa associada à distribuição dos dados será também verificado o grau de correspondência entre os parâmetros medidos pela estação Xerém e estimados pela reanálise ERA 5. Esta correspondência será calculada através da correlação entre as duas fontes de dados analisadas. Assim, neste contexto, será utilizado o coeficiente de correlação de Pearson, definido como:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Este coeficiente, representado por ρ , assume somente valores entre -1 e 1. $\rho = 1$ significa uma correlação positiva perfeita entre as duas variáveis. $\rho = -1$ expressa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, ou seja, se uma aumenta, a outra sempre diminui. $\rho = 0$ caracteriza que as duas variáveis não dependem linearmente umas das outras. No entanto, pode haver uma dependência não linear.

3 Análise mensal dos parâmetros meteorológicos para a cidade de Duque de Caxias

As Figuras 2 a 4 mostram os diagramas de caixa, do inglês *boxplot* para as distribuições mensais dos dados de temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica ao nível médio do mar e intensidade do vento, respectivamente, medidos pela estação Xerém (Azul escuro) e gerados pela reanálise europeia ERA 5 (Azul claro) para a cidade de Duque de Caxias. O período de dados utilizado apresentando é entre janeiro de 2008 e agosto de 2018. Através dos resultados obtidos, verificam-se para as quatro variáveis meteorológicas que os dados da reanálise ERA 5 conseguiram acompanhar qualitativamente o comportamento e amplitude dos medidos *in situ* pela estação Xerém para os doze meses. Além desta evolução temporal similar, foi possível também verificar que ambas as fontes de dados apresentaram espalhamentos similares em torno da mediana, isto é, entre o primeiro quartil e a mediana e entre a mediana e o terceiro quartil.

Através das Figuras 2 e 3 é possível observar maiores valores de temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho para os meses compreendidos entre dezembro e março (estação de verão no Hemisfério Sul). Um máximo mensal de temperatura do ar de aproximadamente 23°C é observado para a estação Xerém e 24°C gerados pela reanálise para o mês de janeiro. De forma similar, observa-se também para este mês um máximo de aproximadamente 23°C para a estação Xerém e 19°C para a reanálise ERA 5. Os valores mínimos de ambos os parâmetros são observados entre os meses de junho e setembro (estação de inverno no Hemisfério Sul). Um mínimo de 16°C pode ser verificado no mês de julho para a estação Xerém, valores mais baixos, em torno de 18°C, foram caracterizados pela reanálise ERA 5. Comportamento similar também pode ser observado para a temperatura do ponto de orvalho, com os menores valores também observados no mês de julho, com média de aproximadamente 16°C e 14°C para o dado coletado *in situ* e estimados pela ERA 5, respectivamente. Entre março e junho e entre setembro e dezembro são observados valores intermediários, entre 22°C e 24°C para a temperatura do ar e entre 19°C e 21°C para a temperatura do ponto de orvalho, caracterizando as estações de transição (primavera e outono no Hemisfério Sul). Através dos resultados obtidos, verificou-se que a reanálise ERA 5 apresentou uma tendência de subestimava em relação aos valores medidos pela estação Xerém durante todos os meses do ano.

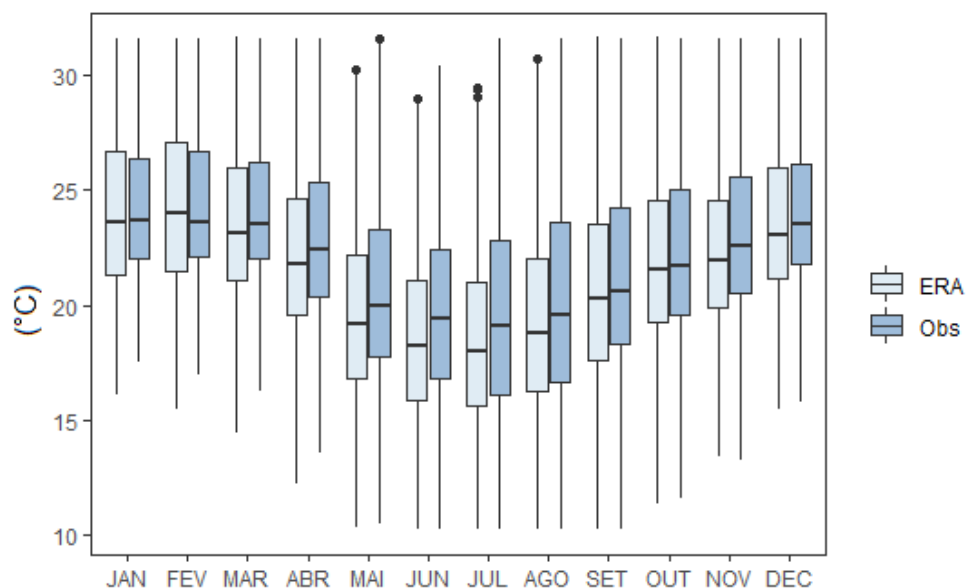


Figura 2 – Distribuição mensal dos dados de temperatura do ar horários para a estação Xerém (Azul escuro) e reanálise ERA 5 (Azul claro) entre janeiro de 2008 e agosto de 2018.

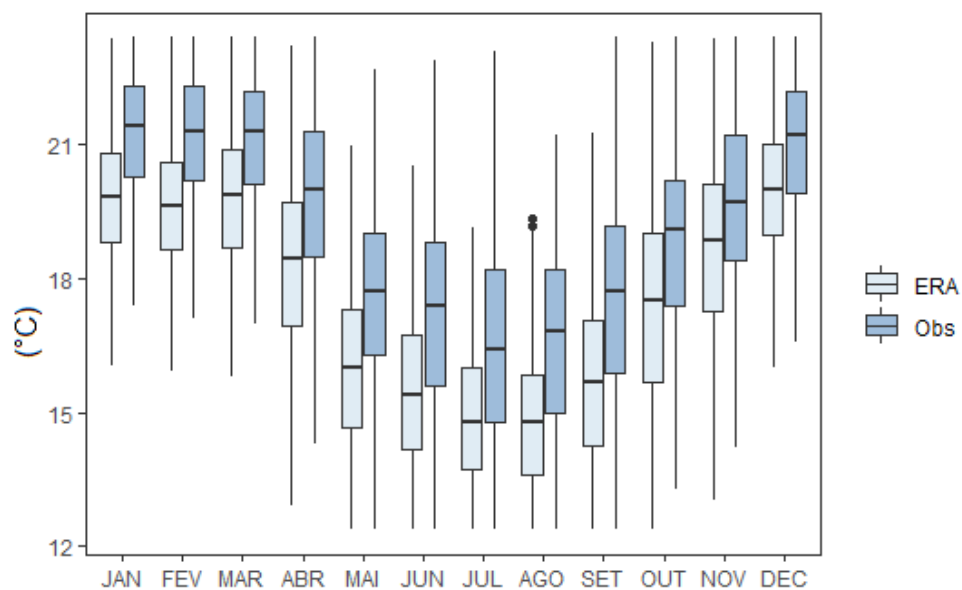


Figura 3 – Distribuição mensal dos dados de temperatura do ponto de orvalho horários para a estação Xerém (Azul escuro) e reanálise ERA 5 (Azul claro) entre janeiro de 2008 e agosto de 2018.

Com relação à amplitude mensal do comportamento observado para a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho, observa-se um cenário oposto para a distribuição mensal dos dados de pressão atmosférica ao nível do mar. Através da Figura 4, verificam-se os menores valores (entre 1008 hPa e 1012 hPa) para os meses compreendidos entre dezembro e março (estação de verão no Hemisfério Sul) e os maiores valores (entre 1018 hPa e 1022 hPa) entre junho e setembro (estação de inverno no Hemisfério Sul). O comportamento destas três variáveis analisadas conjuntamente corresponde com o

comportamento hidrodinâmico esperado em função das variações de aquecimento solar junto à superfície. Tais distribuições corroboram o proposto pelo balanço hidrostático com maiores (menores) valores de temperatura no verão (inverno) e consequentemente menores (maiores) valores de pressão. Para esta variável, verifica-se que a reanálise ERA 5 apresentou uma tendência de, ao contrário do observado nas Figuras 2 e 3. Valores intermediários (entre 1010 hPa e 1012 hPa) desta variável são observados nas estações de transição (primavera e outono no Hemisfério Sul). Com exceção dos demais parâmetros, verifica-se que a intensidade do vento não apresentou amplitudes sazonais. Para esta variável, verificam-se valores observados *in situ* oscilando entre 0,5 m/s e 1,5 m/s ao longo do ano na cidade de Duque de Caxias. Para a reanálise ERA 5, verifica-se um comportamento qualitativamente similar com valores estimados de aproximadamente 1 m/s e 2 m/s ao longo do ano.

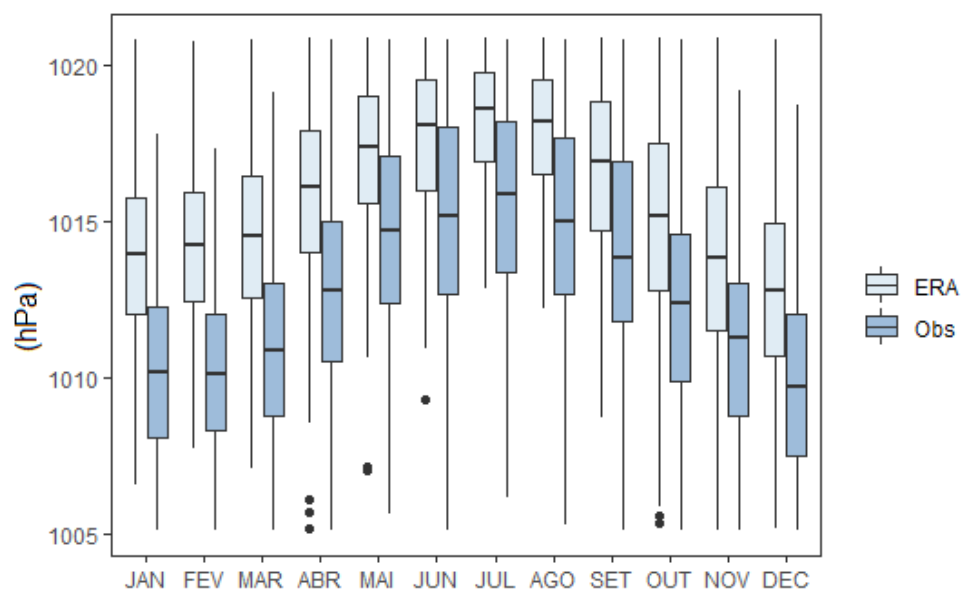


Figura 4 – Distribuição mensal dos dados de pressão atmosférica ao nível médio do mar horários para a estação Xerém (Azul escuro) e reanálise ERA 5 (Azul claro) entre janeiro de 2008 e agosto de 2018.

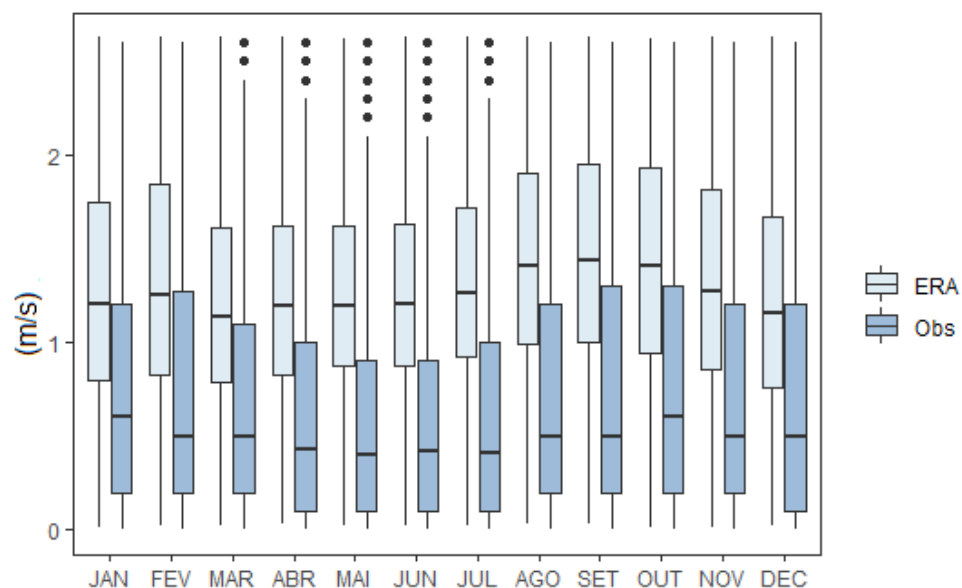


Figura 5 – Distribuição mensal dos dados de intensidade do vento horários para a estação Xerém (Azul escuro) e reanálise ERA 5 (Azul claro) entre janeiro de 2008 e agosto de 2018.

4 Coeficiente de correlação de Pearson

As Figuras 6 e 7 mostram os resultados dos coeficientes de correlação de Pearson mensais obtidos para cada uma das quatro variáveis (parâmetros meteorológicos) analisados entre 2008 e 2018. Através dos resultados obtidos, é possível verificar que a temperatura do ar (TEMP) e a pressão ao nível médio do mar (PNMM) apresentaram os maiores coeficientes, com um valor máximo de 0,88 (destacado em azul claro) no mês de fevereiro para a temperatura do ar (TEMP) e um valor máximo de 0,93 (azul claro) no mês de abril para a pressão ao nível médio do mar (PNMM). Maiores variações para os resultados deste coeficiente podem ser observadas para a temperatura do ponto de orvalho (TD), com um valor máximo foi de 0,79 (azul claro) em abril. Menores valores de correlação podem ser observados para a intensidade do vento (IV), com valores abaixo de 0,50 para todos os meses.

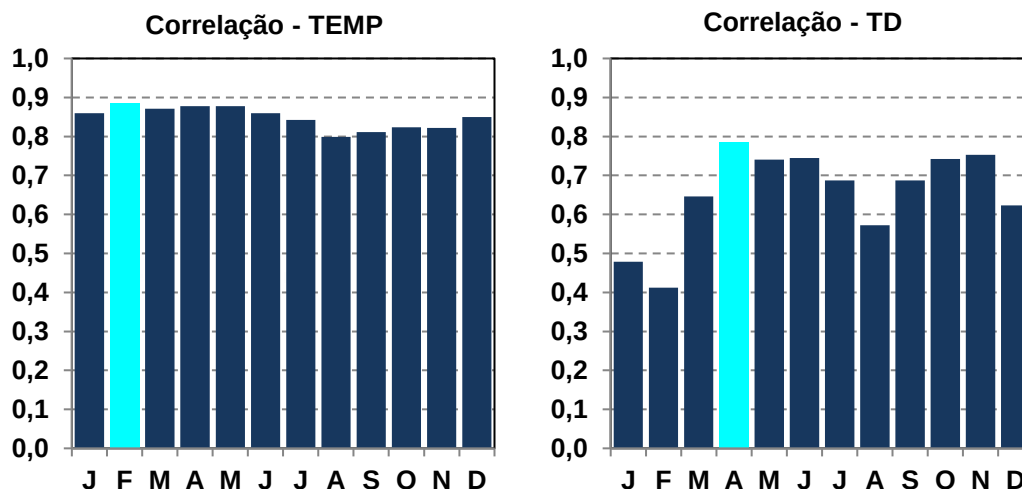


Figura 6 – Coeficientes mensais de Pearson obtidos para a temperatura do ar (esquerda) e temperatura do ponto de orvalho (direita) entre janeiro de 2008 e agosto de 2018.

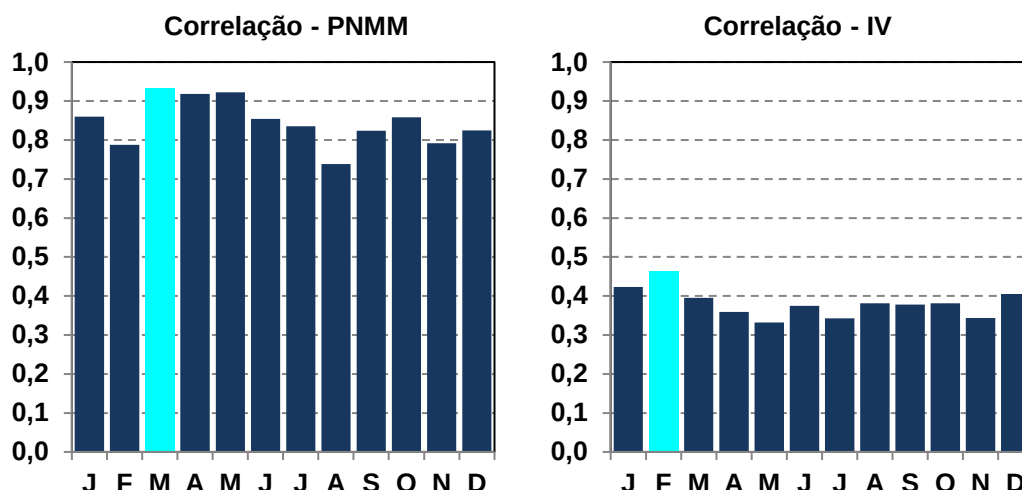


Figura 7 – Coeficientes mensais de Pearson obtidos para a pressão ao nível médio do mar (esquerda) e intensidade do vento (direita) entre janeiro de 2008 e agosto de 2018.

Através dos resultados obtidos, acredita-se que os valores mais baixos do coeficiente de correlação obtidos para a temperatura do ponto de orvalho e principalmente para a intensidade do vento estejam relacionados a uma possível dependência das condições locais (podendo-se citar, por exemplo, o aquecimento diferenciado associado às diferentes superfícies (albedo), presença de árvores, cursos d'água, entre outro que não foram provavelmente bem caracterizados pela reanálise ERA 5). Além disso, vale ressaltar que a reanálise ERA 5 apresentam uma resolução espacial de 31 km, podendo consequentemente não caracterizar as condições físicas que ocorrem em escala espacial inferior a este e que provavelmente influenciam e controlam as variações da temperatura do ponto de orvalho (umidade) e intensidade do vento. As variáveis temperatura do ar e pressão atmosférica ao nível médio do mar, entretanto, apresentam maiores valores de coeficiente de correlação, sugerindo que a reanálise ERA 5

conseguiu representar adequadamente os mecanismos atmosféricos que controlam as variações (amplitudes e taxas) dessas variáveis nesta escala espacial.

5 Conclusões

Utilizando os dados gerados pela reanálise ERA 5 e os dados coletados in situ e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia entre janeiro e agosto de 2018 foi possível avaliar estatisticamente entre duas fontes de dados através de uma análise qualitativa e quantitativa. Foram analisados quatro parâmetros meteorológicos, sendo eles a temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica ao nível médio do mar e intensidade do vento. Os resultados mostraram que a reanálise ERA 5 conseguiu qualitativamente a distribuição e amplitude dos dados coletados in situ pela estação Xerém na escala mensal. Para as variáveis temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho verificou-se que a reanálise apresentou uma tendência de subestimar os valores observados localmente. Um cenário oposto foi observado para as variáveis pressão ao nível médio do mar e intensidade do vento, onde se verificou uma tendência de superestimativa destes dois parâmetros.

Através do cálculo do coeficiente de Pearson foi possível realizar uma análise quantitativa entre estas duas fontes de dados. Os resultados mostraram maiores coeficientes de correlação, isto é, valores mais próximos de um, para as variáveis temperatura do ar e pressão atmosférica ao nível médio do mar. Verificou-se também que tais valores foram observados em diferentes escalas temporais, com a temperatura do ar apresentando melhor grau de correlação em fevereiro e a pressão ao nível médio do mar em abril. Os menores valores foram observados para a temperatura do ponto de orvalho e intensidade do vento. Através dos resultados obtidos, acredita-se que os valores mais baixos do coeficiente de correlação obtidos para a temperatura do ponto de orvalho e principalmente para a intensidade do vento estejam relacionados a uma possível dependência das condições locais, considerando que a reanálise ERA 5 apresenta uma resolução espacial de 31 km.

6 Referências Bibliográficas

- Brönnimann S, Allan R, Atkinson C, and Coauthor (2018) Observations for reanalysis. Bull. Amer. Meteor. Soc.
- Castro BVO, Silva FP, Pires GD, (2019) Avaliação de parâmetros meteorológicos gerados pela reanálise ERA 5 para a cidade de Seropédica, região da Baixada Fluminense-RJ. Rev Eng, Meio Amb e Inov 2:07-15
- Guedes RL, Andreoli RV, Kayano MT, Oyama MD, Alves MAS (2005) Série temporal de precipitação mensal de Fortaleza, Brasil: comparação entre observações e dados de reanálise do NCEP/NCAR Rev Bras Meteor 20(1):83-92

Parker WS (2016) Reanalyses and observations: What's the difference? Bull. Amer. Meteor. Soc., 97, 1565–1572

Varejão-Silva MA (2006) Meteorologia e Climatologia