O USO DE PROJEÇÕES CLIMÁTICAS PARA CONSTRUÇÃO DE ARQUIVOS TMY3: UMA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Camila Carvalho Ferreira (1); Rejane Magiag Loura (2)
(1) Doutora em Engenharia Civil, arquiteta e urbanista, UFMG, camilaccferreira@yahoo.com.br, UFMG, Rua Paraíba 697 - Belo Horizonte, (31) 3409-8825
(2) Doutora em Engenharia Nuclear, arquiteta e urbanista, UFMG, rejaneml@gmail.com, UFMG, Rua Paraíba 697 - Belo Horizonte, (31) 3409-8825

RESUMO
Na perspectiva de ampliar as alternativas de arquivos climáticos para realização de simulações computacionais, esse artigo tem o objetivo de apresentar um procedimento para construção de arquivos do tipo TMY3 a partir de dados de projeções climáticas disponíveis no portal Projeções Climáticas no Brasil. O método se estrutura em um tratamento estatístico, que permite comparar arquivos TMY3 produzidos a partir das projeções climáticas com dados das Normais Climatológicas, com ênfase para as variáveis Temperatura Média, Temperatura Mínima, Temperatura Máxima, Umidade Relativa e Precipitação. Os resultados indicam que os arquivos TMY3 produzidos a partir das projeções climáticas apresentaram capacidade de assimilar o comportamento dos dados climáticos e representá-los devidamente. Contudo, observou-se a tendência de subestimar os dados de temperatura e umidade relativa, e superestimar os dados de precipitação. Conclui-se que o ano de referência TMY3 originado a partir dos dados (históricos e futuros) de projeção foi capaz de predizer estas alterações periódicas e os erros observados não são significativos a ponto de inviabilizar a sua aplicação na ausência de outra base de dados. Por fim, as simplificações estatísticas adotadas no procedimento apresentaram um impacto pequeno nos resultados finais e a continuidade do trabalho deve analisar o impacto do período considerado para gerar o arquivo TMY3 histórico.

Palavras-chave: Clima Urbano, simulação computacional, projeções climáticas.

ABSTRACT
To expanding the alternatives of weather files for carrying out computer simulations, this article aims to present a procedure for building TMY3 type files from climate projection data available on the Climatic Projections in Brazil website. The method is structured around a statistical treatment that allows comparing TMY3 files produced from climate projections with data from Climate Normals, with emphasis on the variables Average Temperature, Minimum Temperature, Maximum Temperature, Relative Humidity and Precipitation. The results indicate that the TMY3 files produced from climate projections showed the ability to assimilate the behaviour of climate data and properly represent them. However, there was a tendency to underestimate temperature and relative humidity data, and to overestimate precipitation data. It is concluded that the reference year TMY3 originated from the projection data (historical and future) was able to predict these periodic changes and the observed errors are not significant to the point of making its application unfeasible in the absence of another database. Finally, the statistical simplifications adopted in the procedure had a small impact on the final results and the continuity of the work must analyse the impact of the period considered to generate the historical TMY3 file.

Keywords: Urban climate, computational simulation, climate projetion.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de planejamento urbano para enfretamento da crise climática e as atividades de avaliação de desempenho de edificações podem prescindir de robusta base de dados climáticos como ponto de partida. Apesar disso, O Brasil, país com dimensões continentais que abriga climas diversos, conta atualmente com 179 estações meteorológicas, seja convencionais ou estações automáticas, em pleno funcionamento na rede do Instituto Nacional de Meteorológica (INMET), cujos dados são de acesso público (INMET, 2023). Pela Figura 1, pode-se observar que extensas áreas do território nacional não contam com esse monitoramento climático essencial, não só para a o desempenho de edificações e planejamento urbano, mas também da produção agropecuárias e para previsão de eventos climáticos extremos.



(A) (B) (C)

Figura 1 – Distribuição das estações meteorológicas no território nacional: (A) Normais Climatológicas 1961-1990, (B) Normais Climatológicas 1981-2010 e (C) Normais Climatológicas 1991-2020

A consequência dessa ausência de dados é maior sobre as cidades de pequeno porte, aproximadamente 5420 municípios, que em grande parte não dispõem de recursos técnicos e financeiros para instalação de estações próprias de monitoramento. De acordo com Margulis (2017) essas são as cidades que enfrentam maiores dificuldades para lidar com a crise climática.

Apesar da precária infraestrutura de monitoramento climático, o Brasil tem empreendido esforços para lidar com os desafios da crise climática. Em 2020, o Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE) em parceria com a Rede Clima lançou o portal Projeções Climáticas no Brasil (PCBr) visando a continuidade da participação do país na implementação de diretrizes estabelecidas da Convenção-Quadro das Nações Unida sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) (INPE, 2023). Esse portal oferece informações de projeções de mudanças climáticas sobre o território brasileiro, com vistas a subsidiar os necessários estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação (INPE, 2023). É fundamental ter clareza que projeções climáticas não são equivalentes a dados climáticos mensurados (IPCC, 2018). Existe uma dependência direta do cenário desenhado em relação a emissão e concentração de GEE e forçamento radioativo, informações de entrada baseadas em suposições que podem ou não se realizar, ainda de acordo com *Intergovernmental Panel Climate Change* (IPCC) (2018).

O portal PCBr trabalha com dados provenientes de modelos climáticos globais, oriundos do projeto HELIX (CORDIS, 2022), e de modelos regionais, como aqueles do projETA (INPE, 2022). Estão acessíveis a qualquer cidadão 25 variáveis climáticas sobre temperatura e umidade do ar, precipitação, intensidade de vento, radiação, pressão, entre outras para todo o território nacional a partir de três cenários distintos, presentes em IPCC (2018). O cenário Histórico, também denominado de período de referência, é construído a partir de simulações que se utilizam de concentração de gases de efeito estufa (GEE) atual. No cenário RCP 4.5, o CO_2 alcança 650 ppm até 2100 e as forças radiativas se estabilizam em 4,5W/m² no mesmo período. Já no cenário RCP 8.5 considera a ocorrência de elevada emissão de GEE, o CO_2 equivalente excede 1000 ppm até 2100 e o forçamento radiativo atinge 8,5W/m². Ainda de acordo com IPCC (2018), o cenário RCP 8.5 está mais alinhado às tendências atuais e o RCP 4.5 tem uma visão mais otimista da resposta das nações a emissão.

As projeções climáticas têm sido muito usadas para subsidiar estudos preditivos sobre o impacto da crise climática de diferentes áreas do conhecimento e localidades no planeta, como mostram os relatórios *Climate Change* 2021, *Climate Change* 2014, *Climate Change* 2013 e *Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis St*udies (IPCC 2021; IPCC, 2014; IPCC, 2013; IPCC, 2015). Tendo deixado claro que as projeções climáticas não substituem de nenhum modo o monitoramento climático e não oferecem o mesmo tipo de resposta que os dados medidos em estações meteorológicas, ainda sim cabe questionar se os dados gerados pelas projeções climáticas poderiam ser adotados como alternativa a ausência de dados climáticos em grande parte dos municípios brasileiros para viabilizar estudos que recorrem a simulação computacional para avaliação de desempenho termoenergético de edificações ou áreas urbanas.

2. OBJETIVO

Esse artigo apresenta um procedimento para construção de arquivos climáticos do tipo TMY3 a partir de dados de projeções climáticas disponíveis no portal PCBr e uma análise estatística comparativa entre esses arquivos TMY e dados das Normais Climatológicas de 1931 – 1960, 1961 – 1990, 1981 – 2010 e 1991 – 2020 para as variáveis umidade relativo do ar, precipitação, temperatura média, mínima e máxima. Ao final, discute-se a pertinência e os cuidados, caso se faça a opção pelo uso dos dados de projeções climáticas.

3. MÉTODO

O método está estruturado em três conjuntos de procedimentos. O primeiro é a compreensão e o acesso aos dados das projeções climáticas. O segundo é a construção dos arquivos *Typical Meteorological Year 3* (TMY3) a partir desses dados. E o terceiro consiste no tratamento estatístico comparativo entre o arquivo TMY3 e os arquivos das Normais Climatológicas. A cidade de Conceição do Mato Dentro, em Minas Gerais, foi selecionada como estudo de caso para aplicação do método.

3.1. Detalhamento dos dados oriundo das projeções climáticas

Para realizar essa análise comparativa, optou-se pelo conjunto de dados do modelo regional projETA, pois ele apresenta maior resolução, se comparado aos conjuntos de dados do portal. Na sequência deve-se selecionar o experimento de interesse. O modelo projETA conta com quatro experimentos distintos – HadGEM2-ES, MIROC5, CANESM2 e BESM. O termo Experimento denomina as condições de contorno utilizadas pelo modelo de projeção climática, ou seja, cada experimento oferece quatro saídas resultantes de condições de contorno distintas para cada um dos cenários disponíveis – Histórico, RCP 4.5 (2011 a 2040, 2041 e 2070 e 2071 a 2100) e RCP8.5 (2011 a 2040, 2041 e 2070 e 2071 a 2100). Desse modo, é possível lidar com a incerteza das projeções considerando não só uma, mas várias projeções a partir de diferentes experimentos. Na sequência deve-se selecionar entre as 25 variáveis disponíveis no portal PCBr do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), aquelas de interesse e a frequência temporal delas, que neste caso foram a precipitação total, a umidade relativa, a temperatura máxima, média e mínima. Após essas definições, faz-se o download dos dados de interesse. Após acessar os dados mensais das cinco variáveis na plataforma para todo o período histórico e todo o cenário de curto prazo (2011 a 2040), seguiu-se para a elaboração dos arquivos TMY3.

Para ilustrar a análise realizada nesta pesquisa fez a opção por trabalhar com uma cidade de pequeno porte para a qual há Normais Climatológicas entre 1931 e 2020, a selecionada foi de Conceição do Mato Dentro, MG. Há a intenção de analisar o cenário histórico que compreende dados de 1961 a 1990 e comparar com as Normais. Interessa também avaliar o comportamento para dos dados para cenário RCP 4.5 2011 – 2040, porque parte desse período já está contido nas normas climatológicas 1991 – 2020.

3.2. Montagem do arquivo TMY3 a partir das projeções climáticas

Para elaborar o ano de referência típico a partir dos dados fornecidos pelo portal PCBr, optou-se pela adoção do método TMY3, que a partir da distribuição de probabilidade acumulada de todos elementos do clima, identifica o ano que tenha a distribuição de probabilidade acumulada com maior semelhança à distribuição de probabilidade acumulada (FDA), um indicador da probabilidade de um determinado valor ocorrer em um dado momento, da série de dados climáticos (GUIMARÃES, 2016). O método TMY3 convencional foi adaptado para a condição dos dados fornecidos pelo INPE, uma vez que o método foi desenvolvido para dados horários e os dados disponibilizados pelo portal PCBr são mensais. Esta adaptação resulta em simplificações importantes na análise estatística do método.

A primeira etapa é referente ao cálculo da média da série de cada variável analisada mês a mês. Para cada variável haverá um valor de média referente a cada mês do ano. Para o cálculo da distribuição de probabilidade acumulada emprega-se a estatística de Finkelstein-Schafer (FS), conforme a Equação 1. A função FS é empregada para sugerir os meses candidatos mais parecido com a série, no caso de 1961 a 2020 (WILCOX; MARION, 2008):

$$FS = (1/n) \sum_{i=1}^{n} \delta_i \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
δ_i é a diferença absoluta entre a distribuição FDA do conjunto completo de dados e a FDA do mês candidato;
n é o número de leituras diárias em um mês.

Como algumas variáveis são consideradas mais importantes que outras, uma soma ponderada (WS) das estatísticas do FS é usada para selecionar os meses candidatos: aqueles que têm as menores somas ponderadas. Desta forma, os meses candidatos são colocados em ordem crescente de seleção. Os pesos adotados foram os propostos por Wilcox e Marion (2008). A soma ponderada é calculada a partir da Equação 2 (WILCOX; MARION, 2008).

$$WS = \sum w_i FS_i \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
w_i é a o peso da variável;
FS_i é o valor de FS para cada variável.

Assim, os meses candidatos são classificados em relação à proximidade do mês com a média e mediana da série de dados. Em seguida, são calculadas a persistência da temperatura média do bulbo seco mensal, identificando os intervalos de dados que estão fora do limite estabelecido pelos percentis. As ocorrências contabilizam os intervalos identificados na etapa de análise de persistências, sendo estes intervalos agrupados para análise e eliminação dos meses candidatos não adequados. Os dados de persistência são usados para selecionar entre os cinco meses candidatos o mês a ser usado no TMY3. O mês de candidato mais bem classificado nesta etapa é então selecionado. Para a base de dados disponibilizada pelo INPE, há uma simplificação nesta etapa, sendo avaliados meses e não dias, resultando em uma análise estatística mais generalizada e simplificada, que pode ter implicações nos resultados finais.

Para identificar os meses apropriados para a formação do ano de referência, é selecionado o mês melhor classificado para as variáveis temperatura média e precipitação. No caso de não ocorrência de coincidência de ano para estas varáveis, adota-se o ano melhor classificado para a variável precipitação para compor o TMY3. Tal análise é realizada mês a mês até que um ano completo seja estruturado.

O procedimento foi aplicado para cada experimento, ou seja, quatro vezes para cada cenário. Como já explicitado, cada experimento do modelo de projeção climática tem condições de contorno distintas da atmosfera, o que afeta de maneira também distinta a variáveis climáticas. Por essa razão, seria necessário um aprofundado e extenso trabalho para aferir qual do experimento apresentaria maior aderência a cada uma das cinco variáveis trabalhadas, o que não se mostra coerente com a proposta de obter uma opção simplificada para arquivos climáticos em situações de ausência de dados meteorológicos. No intuito de viabilizar a utilização dos dados das projeções climáticas atenuando as eventuais preponderâncias provocadas pelas condições de contorno de um determinado experimento, optou-se por realizar a média aritmética simples entre os valores encontrados para cada uma das cinco variáveis nos quatro arquivos TMY3 de cada cenário.

3.3. Procedimentos estatísticos para análise comparativa

Para avaliar a qualidade do ano de referência resultante da simplificação do método TMY3 para dados mensais, o ano TMY3 para o modelo histórico e para o modelo de projeção serão comparados com os dados das Normais Climatológicas para os períodos de 1931-1960, 1961-1990, 1981-2010 e 1991-2020. Esta comparação permitirá analisar se os anos de referência gerados apresentam comportamento correspondente com os dados medidos, assim como sua aplicabilidade. Entende-se que pelo fato dos dados do INPE serem modelos, já existam erros inerentes, havendo diferenças de início entre a base de dados climáticos das Normais Climatológicas e do INPE.

O intuito de se adotar diferentes períodos das Normais é investigar as tendências de mudanças existentes para as variáveis avaliadas entre os períodos e em que grandeza, validando se uma tendência similar é encontrada entre os TMY3 para o modelo histórico e de projeção. Para estas análises serão gerados gráficos

de linha e coluna para a análise do comportamento das variáveis consideradas (temperatura média mensal, temperatura média mínima mensal, temperatura média máxima mensal, umidade relativa e precipitação) para cada um dos períodos das Normais Climatológicas considerados e para os TMY3 histórico e projeção. Serão ainda desenvolvidos gráficos *boxplot* para as variáveis para as Normais e para os TMY3, para a análise da tendência das médias e da amplitude dos dados.

Com o intuito de avaliar quantitativamente as mudanças entre os períodos das Normais Climatológicas mais antigos e os mais recentes, entre os TMY3 histórico e projeção, e, por fim, entre as Normais Climatológicas de 1991 - 2020 (período mais recente) e o TMY3 histórico, aplicou-se o indicador de desempenho desvio médio MBD, indicativo da tendência dos resultados à subestimação (valores negativos de MBD) ou à superestimação (valores positivos de MBD), sendo seu valor ideal zero. Sua unidade é a porcentagem (%). O MBD pode ser calculado através da Equação 3:

$$MBD = 100 \times \frac{\frac{\sum(y_i - y)}{n}}{\frac{\sum(y)}{n}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:
y_i é o valor de referência;
y é o valor comparado;
n é o número de medidas consideradas.

4. RESULTADOS

A análise do cenário histórico que compreende dados de 1961 a 1990 e a comparação com as Normais Climatológicas, assim como a análise do cenário de projeção para 2011 – 2040, foi realizada em um primeiro momento por meio de gráficos para a observação da tendência de comportamento dos dados. Foram elaborados gráficos de linhas para as variáveis temperatura e de colunas para as variáveis umidade relativa e precipitação, por serem estes os mais indicados para análise de comportamento destas variáveis (Figura 1 a Figura 5). Em continuidade, gráficos *boxplot* foram elaborados para a investigação da mediana, quartis e valores mínimos e máximos dos dados avaliados (Figura 6 a Figura 8). Por último, a análise de MBD foi conduzida a partir dos dados medidos das Normais Climatológicas para a investigação dos arquivos TMY3 gerados a partir de dados modelados.

Após acessar os dados mensais das cinco variáveis na plataforma para todo o período histórico e todo o cenário de curto prazo (2011 a 2040), seguiu-se para a elaboração dos arquivos TMY3.

Os dados de temperatura média para os períodos das Normais Climatológicas (linhas em cinza do gráfico apresentado na Figura 1) indicam um aumento da temperatura ao longo dos períodos, de menor amplitude no inverno e maior amplitude no restante do ano. Mesmo entre os períodos das Normais de 1981-2010 e 1991-2020, mais próximos, já é possível observar esta tendência. Os dados de temperatura média para os anos de referência TMY3 histórico e de projeção exibiram comportamento semelhante, indicando também este aumento. Comparando os dados das Normais e os TMY3 para esta variável, percebe-se haver uma semelhança de comportamento entre as curvas, apontando um bom ajuste dos arquivos TMY3. Entretanto, é notável que o arquivo TMY3 subestima as temperaturas nos períodos quentes (setembro a maio) e superestima as temperaturas no período de inverno (maio a agosto). Uma causa provável pode ser o período amplo adotado para gerar este ano de referência (1961 a 2020), amortecendo assim o comportamento das temperaturas representativas.

Análise semelhante foi realizada para as temperaturas mínimas (Figura 2) e como resultado nota-se a tendência de aumento gradual das temperaturas mínimas ao longo dos períodos das Normais Climatológicas, com maior amplitude entre agosto e novembro. Assim como para as temperaturas médias, percebe-se haver uma semelhança de comportamento entre as curvas, apontando um bom ajuste dos arquivos TMY3 e o amortecimento das temperaturas. O TMY3 de projeção indicou também o aumento da temperatura mínima ao longo do tempo, com maior amplitude entre junho e outubro.

Já para as temperaturas máximas (Figura 3), é observado um aumento destas entre 1931-1960 para 1961 em diante. Há uma semelhança entre as curvas dos períodos das Normais e dos TMY3, apontando um bom ajuste do comportamento deste conjunto de dados. Contudo observa-se para o TMY3 histórico temperaturas máximas inferiores em torno de 3°C em relação aos períodos das Normais de 1961-1990, 1981-2010 e 1991-2020. Mesmo o TMY3 de projeção apresenta valores abaixo de temperatura máxima em relação os dados das Normais Climatológicas a partir de 1961.

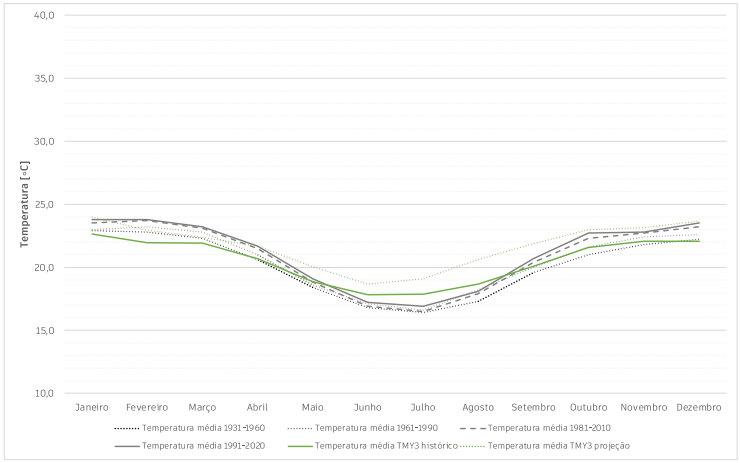

Figura 1 - Dados de temperatura média mensal das Normais Climatológicas e dos TMY3.

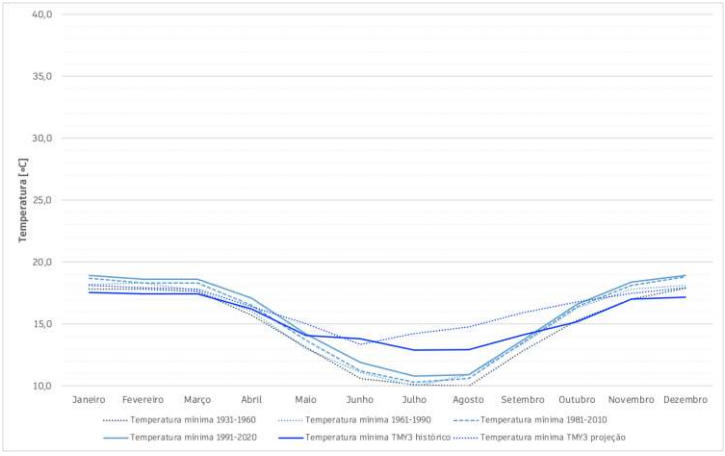

Figura 2 - Dados de temperatura média mensal das mínimas das Normais Climatológicas e dos TMY3.

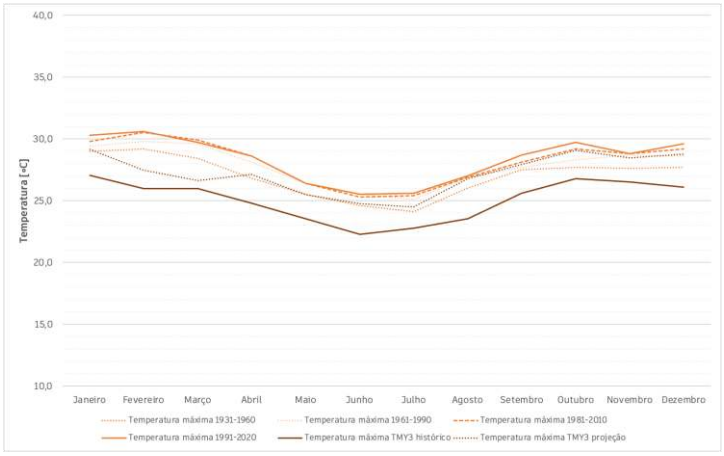

Figura 3 - Dados de temperatura média mensal das máximas das Normais Climatológicas e dos TMY3.

Em relação aos dados de umidade relativa (Figura 4), não há dados para o período das Normais de 1931-1960. Comparando os demais períodos que possuem dados, é observado uma tendência de redução nos valores da umidade relativa para o período de 1991-2020 em relação aos anteriores, com exceção do mês de agosto em que ocorre um aumento. O comportamento de aumento gradativo da umidade relativa a partir de janeiro até maio, quando começa a reduzir até setembro e depois volta a aumentar se reproduz em todos os conjuntos de dados. Comparando os comportamentos do TMY3 histórico e de projeção, identifica-se a reprodução da redução da umidade relativa ao longo do tempo, entretanto com maior amplitude do que entre os períodos das Normais Climatológicas.

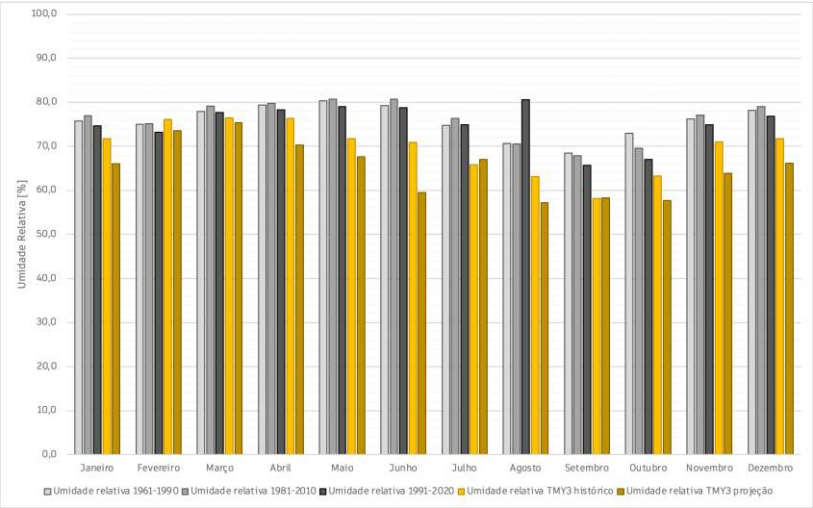

Figura 4 - Dados de umidade relativa das Normais Climatológicas e dos TMY3.

Finalmente, a análise de comportamento dos dados de precipitação, que assim como a umidade relativa não possui dados para os períodos de 1931-196 das Normais Climatológicas, para os períodos das Normais assinalam um comportamento não homogêneos de tendências, havendo tanto a redução quanto o aumento da precipitação em diferentes meses. Comparando os TMY3 com as Normais é notada uma tendência de superestimar os valores de precipitação. Tendo em vista que a precipitação foi uma das variáveis que recebeu maior peso na seleção dos meses candidatos a compor o ano de referência, este pode ser um impacto a ser considerado.

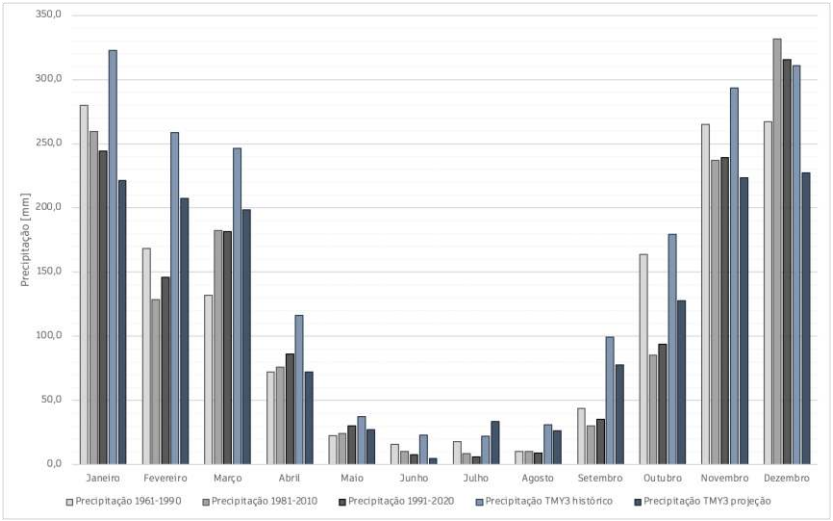

Figura 5 - Dados de precipitação das Normais Climatológicas e dos TMY3.

Os gráficos *boxplot* para as temperaturas média (em verde), mínima (em azul) e máxima (em laranja) são apresentados na Figura 6. Analisando os dados das temperaturas médias para os períodos das Normais (1931-1960, 1961-1990, 1981-2010 e 1991-2020), há uma tendência gradual de aumento dos valores médios, mínimo, máximos e da amplitude. Para os dados dos anos de referência TMY3 observa-se valores médios, máximos e amplitude menores em relação aos dados das Normais. Já os valores mínimos de temperatura média mostraram-se superiores em relação aos das Normais. Novamente é observada uma atenuação dos dados do TMY3. As mesmas conclusões foram obtidas nas análises para as temperaturas mínimas. Para as temperaturas máximas, nota-se o aumento das médias, valores mínimo e máximos e da amplitude ao longo dos períodos considerados das Normais Climatológicas. Os valores máximos da temperatura máxima para o TMY3 histórico e de projeção encontram-se abaixo dos valores médios temperatura máxima dos dados das Normais Climatológicas, o que indica que esta variável está subestimada em relação aos dados das Normais.

A Figura 7 apresenta os gráficos *boxplot* para os dados de umidade relativa. Ao contrário das temperaturas, para a umidade relativa observa-se a redução gradual das médias e da amplitude dos dados e uma tendência de aumento de dados extremos para os dados das Normais Climatológicas. Para os dados dos anos de referência TMY3 observa-se valores médios menores e amplitudes maiores em relação aos dados das Normais. Os valores máximos da umidade relativa tanto para o TMY3 histórico como para o de projeção

encontram-se abaixo dos valores médios de umidade relativa dos dados das Normais Climatológicas. Os dados de umidade dos TMY3 mostram-se, assim, menos representativos do que os dados de temperatura.

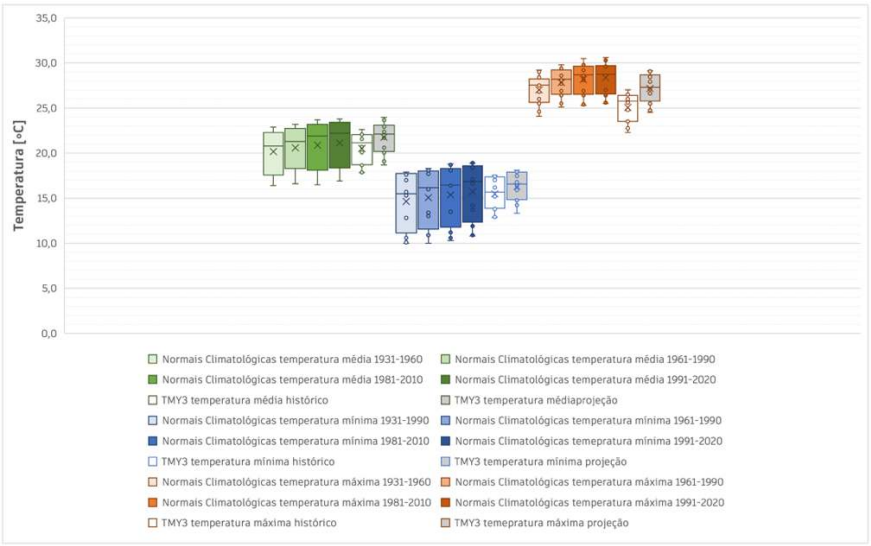

Figura 6 - *Boxplot* para as temperaturas das Normais Climatológicas e dos TMY3.

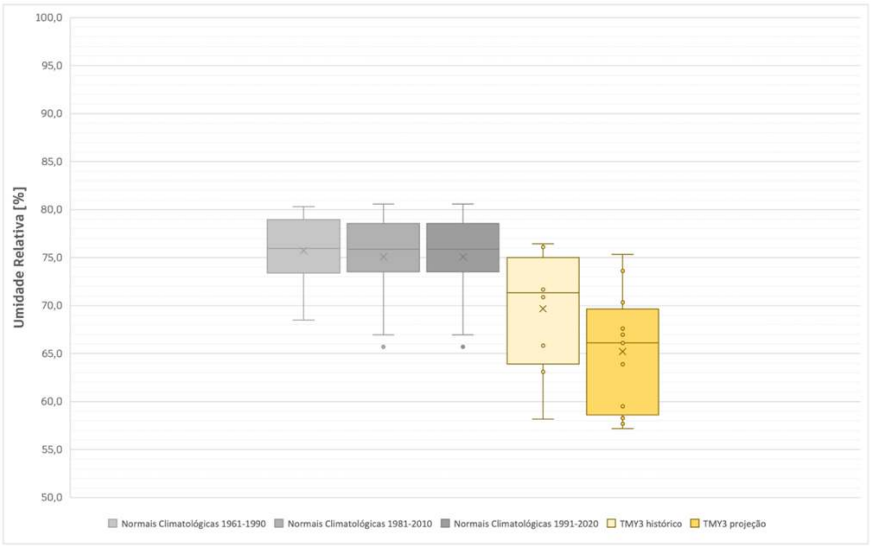

Figura 7 - *Boxplot* para as umidades relativa das Normais Climatológicas e dos TMY3.

Quanto a variável precipitação, conforme o gráfico da Figura 8, há uma tendência de redução da amplitude e aumento dos valores extremos para os dados das Normais Climatológicas entre 1961 a 2020. Comparando os dados das Normais com os TMY3, é notada uma tendência dos TMY3 superestimarem os dados, apresentando maiores valores de média e mínimo. O valor máximo e a amplitude dos dados para o caso do TMY3 histórico é superior aos dados das Normais, enquanto para o TMY3 de projeção menor.

Para uma estimativa quantitativa foi calculado o MBD comparando algumas situações. O MBD calculado para as Normais Climatológicas de 1991-2020 em relação as Normais Climatológicas de 1931-1960 com o objetivo de entender as alterações das variáveis (temperatura média, temperatura média mínima, temperatura média máxima, umidade relativa e precipitação) ao longo do tempo. Já o MBD calculado comparando os arquivos TMY3 histórico e o TMY3 de projeção tem como objetivo de entender as alterações das variáveis entre os dois períodos: histórico e projetado. E o cálculo do MDB tomando como referência os dados das Normais Climatológicas de 1991-2020, período mais recente, e comparando com o arquivo TMY3 histórico, avalia a correspondência entre as duas bases e a aplicabilidade do ano de referência. Os valores calculados de MBD para cada comparação é apresentado na Tabela 1.

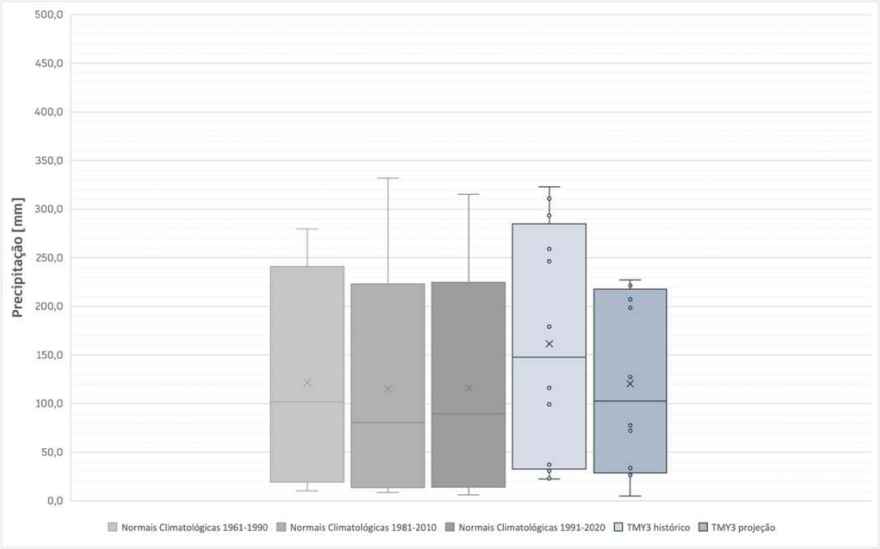

Figura 8 - *Boxplot* para a precipitação das Normais Climatológicas e dos TMY3.

Tabela 1 - Cálculo do MBD para as variáveis

	MBD para as variáveis				
Comparativo entre os dados	**Temperatura média**	**Temperatura mínima**	**Temperatura máxima**	**Umidade relativa**	**Precipitação**
Normais 1931-1960 e 1991-2020	0,03	0,05	0,03	-0,01	-0,03
TMY3 histórico e projeção	0,04	0,04	0,05	-0,05	-0,24
Normais 1991-2020 e TMY3 histórico	-2,97	-1,56	-13,17	-7,77	28,17

Os valores de MBD estimados para comparação entre os períodos de 1931-1960 e 1991-2020 das Normais Climatológicas apontaram que há uma tendência de aumento das temperaturas (médias, mínimas e máximas), enquanto há uma diminuição dos valores de umidade relativa e precipitação. As alterações foram baixas como apontam os valores pequenos de MBD, bem próximos a zero.

Os valores de MBD estimados para comparação os anos de referência histórico e de projeção apresentaram comportamento similar ao dos períodos de 1931-1960 e 1991-2020 das Normais Climatológicas, havendo uma ligeira diferença na precipitação, em que neste caso apresentou uma redução um pouco superior. Estes resultados apontam que a tendência de alteração de comportamento das variáveis ao longo do tempo (MBD próximo a 0,05), com exceção da precipitação, acompanham a alteração percebida entre os períodos das Normais Climatológicas de 1931-1960 para 1991-2020 (MBD entre 0,03 e 0,05), indicando assim que o TMY3 de projeção é capaz de predizer estas alterações periódicas.

De forma geral, o ano de referência TMY3 histórico apresentou uma tendência em subestimar a medida das variáveis analisadas. Parte das diferenças observada entre as Normais Climatológicas de 1991-2020 e o ano de referência TMY3 histórico pode ser procedente pela diferença dos períodos considerados das séries. Enquanto as Normais Climatológicas são compostas por dados de 1991 a 2020, o ano de referência TMY3 histórico foi desenvolvido a partir dos dados de 1961 a 2020. Além disso, há de se considerar também o erro inerente do modelo para gerar os dados utilizados como base para a construção do TMY3. A variável com maior valor de MDB foi a precipitação, que apresentou uma tendência a superestimação, assim como observado na tendência de comportamento do gráfico apresentado na Figura 5, aspecto que precisa ser investigado de forma mais detida e aprofundada. A temperatura média e a mínima apresentaram uma leve tendência a subestimar os dados (MBD de -2,97 e -1,56, respectivamente), enquanto a temperatura máxima apresentou uma tendência superior a subestimar os dados (MBD = -13,17).

Em síntese, percebe-se que os anos de referência resultantes apresentam a capacidade de assimilar o comportamento dos dados climáticos e representá-los devidamente. Todavia, há uma tendência de subestimar os dados de temperatura e umidade relativa, e superestimar os dados de precipitação, indicando haver um erro no ano resultante. Este erro pode ser em virtude do período considerado para gerar os arquivos TMY3 que atenua quantitativamente as variáveis apreciadas. Este erro, embora existente, não se mostrou considerável se tratando de variáveis climáticos e apontando a aplicabilidade do uso dos anos de referência TMY3 na ausência de outros dados climáticos mais confiáveis para análise.

5. CONCLUSÕES

A avaliação de desempenho de edificações e o planejamento urbano são embasados em dados climáticos. No entanto, o Brasil não possui um número de estações meteorológicas satisfatório que forneça os dados climáticos para este embasamento. Desta forma, o objetivo deste artigo é propor um procedimento para construção de arquivos climáticos do tipo TMY3 a partir de dados de projeções climáticas disponíveis no portal PCBr e validar sua aplicabilidade para as variáveis umidade relativo do ar, precipitação, temperatura média, mínima e máxima. Discute-se a pertinência e os cuidados, caso se faça a opção pelo uso dos dados de projeções climáticas.

Os resultados obtidos apontaram que o ano de referência TMY3 originado a partir dos dados de modelo histórico e de projeção apresentaram para as cinco variáveis uma tendência de comportamento similar aos dados climáticos medidos. Contudo, observou-se a tendência dos dados de temperatura média, mínima e máxima, assim como de umidade relativa, em serem subestimados e os dados de precipitação superestimados. Uma causa provável pode ser o período amplo adotado para gerar este ano de referência (1961 a 2020), amortecendo assim o comportamento das temperaturas representativas. Maiores investigações acerca desta possibilidade são necessárias. Entre as variáveis consideradas, as maiores diferenças de comportamento foram observadas para a temperatura máxima, umidade relativa e precipitação. A diferença de comportamento da precipitação ganha relevância, uma vez que ela foi uma das variáveis que recebeu maior peso na seleção do ano de referência.

O ano de referência TMY3 originado a partir dos dados de projeção foi capaz de predizer estas alterações periódicas.

As simplificações estatísticas adotadas na construção do método apresentaram um impacto pequeno nos resultados finais. Embora o ano de referência gerados possuam erros, estes erros não são significativos a ponto de inviabilizar a sua aplicação na ausência de outra base de dados para utilização.

Como continuidade do trabalho, propõe-se a análise do impacto do período considerado para gerar os arquivos TMY3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORDIS. High-End cLimate Impacts and eXtremes project – HELIX. Disponível em: Final Report Summary - HELIX (High-End cLimate Impacts and eXtremes) | FP7 | CORDIS | European Commission (europa.eu) Acessado em 15/10/2022.

GUIMARÃES, Ítalo B. B. Análises de incertezas e sensibilidade de arquivos climáticos e seus impactos em simulações computacionais termo energéticas. UFV. Viçosa, p. 109. 2016.

INMET. Banco de Dados Meteorológicos do INMET. 2023. Disponível em https://bdmep.inmet.gov.br.

INPE. Eta Model. Disponível em: http://etamodel.cptec.inpe.br/documentation/. Acesso em: 18/10/2022.

INPE. Projeções Climáticas no Brasil. Ministério de Ciências, Tecnologia, Inovações e Comunicações. 2023. Disponível em http://pclima.inpe.br/

IPCC. Annex I: Glossary. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge, 2018. doi:10.1017/9781009157940.001.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2015: Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, and M. Tignor (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 171.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

MARGULIS, Sergio. Guia de adaptação às mudanças do clima para entes federativos. WWF-Brasil. 2017. Disponível em: https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/guia_adaptacao_wwf_iclei_revfinal_01dez_ 2.pdf

WILCOX, S.; MARION, W. User's Manual for TMY3 Data Sets. National Renewable Energy Laboratory. [S.l.], p. 58. 2008.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do Projeto CNPq 441610/2020-0.