



---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**APLICAÇÃO DO MODELO SARIMA EM SÉRIE DO  
ÍNDICE DE CALOR NA BAIXADA CUIABANA**

Ana Cristina Oliveira Ribeiro da Mata

Cuiabá- Mato Grosso  
2019



Ana Cristina Oliveira Ribeiro da Mata

## **APLICAÇÃO DO MODELO SARIMA EM SÉRIE DO ÍNDICE DE CALOR NA BAIXADA CUIABANA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em nível de Mestrado em Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá (UNIC), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Carlo Ralph de Musis

Março/2019  
Cuiabá- Mato Grosso

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecária Elizabete Luciano /CRB1-2103

M425a Mata, Ana Cristina Oliveira Ribeiro da.

Aplicação do Modelo SARIMA em Série do Índice de Calor na Baixada Cuiabana. /Ana Cristina Oliveira Ribeiro da Mata. Cuiabá-MT, 2019.

74p.

Inclui Lista de Figuras e Tabelas.

Exame de Qualificação apresentado ao programa de Pós-Graduação em nível de Mestrado em Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá (UNIC), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Carlo Ralph de Musis

1.Cuiabá. 2.Heat Index. 3.Box-Jenkis. 4.Modelagem.

CDU 34:551

UNIVERSIDADE DE CUIABÁ  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: APLICAÇÃO DO MODELO SARIMA EM SÉRIE DO ÍNDICE DE CALOR NA BAIXADA CUIABANA**

**AUTORA: ANA CRISTINA OLIVEIRA RIBEIRO DA MATA**

Dissertação defendida e aprovada em 11 de março de 2019, pela comissão julgadora:

  
**Dr. Carlo Ralph de Muis - Orientador**

Universidade de Cuiabá - UNIC

  
**Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais - Examinador Interno**

Universidade de Cuiabá – UNIC

  
**Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo – Examinador Externo**

Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

## DEDICATÓRIA

–Dedico esse trabalho ao meu filho Arthur Rafael Ribeiro da Mata (in memoriam), como gratidão por todo aprendizado recebido nos quatro anos que passamos juntos. Que no céu junto com seus irmãos esteja orgulhoso da mamãe.”.

## AGRADECIMENTO

- A Deus por me conceder saúde, força para superar dificuldades e seguir em frente conquistando novos objetivos.
- Ao meu esposo, Adriano que desejou esse momento tanto quanto eu, obrigada por sempre me apoiar e incentivar, mesmo sabendo que muita dúvida pairava na minha cabeça. Obrigada pela parceria de sempre.
- Aos meus pais Elifas e Edvirges e minha irmã Cláudia, serei eternamente grata por estarem sempre por perto. Obrigada pelas orações e pela torcida para que tudo desse certo. Amo vocês!
- Ao meu orientador Professor Doutor Carlo Ralph de Musis, por ter aceitado me orientar já na metade do caminho. Pessoa que aprendi admirar não somente pela inteligência, mas também pela humildade e educação, muito obrigada por todo conhecimento compartilhado, por toda paciência e empenho para que pudesse concluir esse trabalho.
- Aos professores Doutor Jonathan Willian Zangeski Novais e a doutora Iramaia Jorge Cabral de Paulo, que aceitaram compor minha banca de qualificação e de defesa, pelas considerações significativas às quais tentei atender na versão definitiva do texto.
- A professora Maricéia Tatiana Vilani, agradeço por ter me instigado e estimulado a gostar da modelagem matemática e por todo aprendizado obtido em nossas reuniões.
- Aos amigos que fiz durante o mestrado, em especial a Dani, Juliana, Larissa, Aline e Fabi, companheiras de trabalhos e amizade, vocês fizeram parte da minha formação e vão continuar presentes em minha vida com certeza.

**RESUMO:**

MATA, A.C.O.R *Aplicação do modelo SARIMA em série do índice de calor na baixada cuiabana*. 2018. 60fl. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Departamento de Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá - Unidade Beira Rio, Cuiabá, 2017.

O homem é um animal homeotérmico e seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante, Para manter essa temperatura do corpo sem que haja um desconforto é necessário que os ambientes sejam termicamente confortáveis para os seus usuários. Com a modelagem matemática podemos criar modelos de previsões que auxiliem na construção ou manutenção de locais ambientalmente confortáveis. Objetivo deste trabalho foi utilizar-se do modelo matemático SARIMA para a construção de um modelo preditivo para índice de calor na baixada cuiabana. Os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram obtidos do site do INMET e ICEA, as falhas encontradas foram preenchidas por regressão e estimativa de Kalman. Após esses ajustes foi realizado o cálculo do índice de calor e esses submetidos á metodologia Box & Jenkins. Em relação a este é preciso um olhar atento na baixada cuiabana, pois os mesmo se encontram em situação que pedem cautelas e em alguns casos cautela extremas, pois podem comprometer assim a qualidade de vida e conforto da população que fica exposta em ambientes aberto. Observa-se também que este trabalho obteve resultados satisfatórios para previsão de índices de calor na baixada cuiabana usando o modelo SARIMA e que esses dados podem ser melhorados e complementados, sugerindo assim trabalhos futuros.

**Palavra chave:** Cuiabá, Heat Index, Box-Jenkins, Modelagem

**ABSTRACT:**

**MATA, A.C.O.R Application of the SARIMA model in series of the heat index in the cuiabana basin.** 2018. 60 fl. Dissertation (Master of Science in Environmental Sciences), Department of Environmental Sciences, University of Cuiabá - Beira Rio Unit, Cuiabá, 2017.

Man is a homeothermic animal and his organism is maintained at a substantially constant internal temperature. To maintain this body temperature without discomfort it is necessary that the environments be thermally comfortable for its users. With mathematical modeling we can create prediction models that aid in the construction or maintenance of environmentally comfortable locations. The objective of this work was to use the mathematical model SARIMA for the construction of a predictive model for heat index in the Cuiabana basin. The data of air temperature and relative air humidity were obtained from the INMET and ICEA website, the faults found were filled by Kalman regression and estimation. After these adjustments the calculation of the heat index was carried out and those submitted to the Box & Jenkins methodology. In relation to this it is necessary to have a close look at the cuiabana lowland, because they are in a situation that demands caution and in some cases extreme caution, since they can thus compromise the quality of life and comfort of the population that is exposed in open environments. It is also observed that this work obtained satisfactory results for prediction of heat indexes in the Cuiabana basin using the SARIMA model and that this data can be improved and complemented, thus suggesting future work.

**Keyword (s):** Cuiabá, Heat Index, Box-Jenkis, Modeling

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Nomograma de ITE.....	14
<b>Figura 02:</b> Monograma de Índice de Conforto Equatorial.....	16
<b>Figura 03:</b> Totais mensais de passageiros em linhas aéreas internacionais nos EUA entre 1949 e 1960.....	19
<b>Figura 04:</b> Número anual de lincos capturados em armadilhas entre 1821 e 1934 no Canadá.....	20
<b>Figura 05:</b> Consumo de gás no Reino Unido entre o primeiro trimestre de 1960 e o quarto trimestre de 1986.....	21
<b>Figura 06:</b> Medições anuais de vazões do Rio Nilo em Ashwan entre 1871 e 1970.....	21
<b>Figura 07:</b> a) Função de autocorrelação e b) função de autocorrelação parcial para o número de atendimentos de clientes tipo contrato.....	23
<b>Figura 08:</b> Terraço do Colégio São Gonçalo Cuiabá/MT.....	28
<b>Figura 09:</b> Estação 9º Distrito de Meteorologia de Várzea Grande/MT.....	29
<b>Figura 10:</b> Localização da Estação Marechal Rondon Várzea Grande/MT.....	29
<b>Figura 11:</b> Estrutura Geral do Filtro de Kalman.....	31
<b>Figura 12:</b> Fluxograma utilizado para o calculo do ARIMA.....	33
<b>Figura 13:</b> Médias mensais da temperatura obtida na estação do INMET, em Cuiabá entre os anos de 1961 a 2018.....	35
<b>Figura 14:</b> Médias mensais da temperatura obtida na estação do ICEA, em Várzea Grande nos anos de 1963 a 2018.....	35
<b>Figura 15:</b> Médias mensais da Umidade Relativa do ar obtida no site do INMET, em Cuiabá entre os anos de 1961 a 2018.....	36
<b>Figura 16:</b> Médias mensais da Umidade Relativa do ar obtida na estação do ICEA, em Várzea Grande nos anos de 1963 a 2018.....	36
<b>Figura 17:</b> Dados de temperatura do INMET e ICEA nos anos de 1961 a 2018 com preenchimento de falhas através da regressão e estimativa de kalman.....	37
<b>Figura 18:</b> Dados de Umidade Relativa do ar do INMET e ICEA nos anos de 1961 a 2018 com preenchimento de falhas através da regressão e estimativa de kalman.....	37
<b>Figura 19:</b> Índice de calor obtido com os dados de temperatura do ar e umidade do INMET e ICEA de 1961 a 2018.....	38

<b>Figura 20:</b> Decomposição da série temporal do índice de calor calculado com os dados obtidos no site do INMET e ICEA para a baixada cuiabana no período de 1961 a 2018.....	39
<b>Figura 21:</b> Gráficos da FAC (a) e da FACP (b) dos resíduos do modelo ARIMA (1,1,2).....	40
<b>Figura 22:</b> Percentis dos resíduos do modelo em relação a distribuição Normal.....	41
<b>Figura 23:</b> Percentis dos resíduos do modelo após transformação de Box-Cox.....	42
<b>Figura 24:</b> Gráfico com os valores reais (linha preta) e ajustados (linha azul) pelo modelo SARIMA(0,0,3)(0,1,1) <sub>12</sub> .....	44
<b>Figura 25:</b> Recorte da série temporal (linha preta), 10/2010-07/2018, com previsões para 08-12/2018 (linha azul) e intervalos de confiança de 95% (área azul escura) e 99% (área cinza).....	44

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 01:</b> Índice de Temperatura-Umidade.....	36
<b>Tabela 02:</b> Resultado da regressão robusta entre os dados de temperatura do ar obtido na estação do INMET e ICEA entre anos de 1961 a 2018.....	36
<b>Tabela 03:</b> Resultado da regressão robusta entre os dados de Umidade Relativa do ar obtido na estação do INMET e ICEA entre anos de 1963 a 2018.....	36
<b>Tabela 04:</b> Resultados dos Arima Manual sem sazonalidade.....	40
<b>Tabela 05:</b> Resultados dos Arima Manual com sazonalidade.....	40
<b>Tabela 06:</b> Resultado do auto ARIMA.....	41
<b>Tabela 07:</b> O valor de $\lambda$ ( <i>lambda</i> ) encontrado após retirada de outliers e transformada de Box Cox para os dados do índice de calor dos anos de 1961 a 2018 calculados para cidade de Cuiabá com os dados retirados do INMET e ICEA.....	42
<b>Tabela 08:</b> Apresentação do intervalo de confiança do AIC por bootstrap com 1000 reamostragens.....	43
<b>Tabela 09:</b> Intervalos de Confiança do AIC no modelo final	
<b>Tabela 10:</b> Previsões e intervalos de confiança do IC (80% e 95%) para 08/10/18.....	43

## LISTA DE ABREVIACÕES

- AIC - Critério de Informação de Akaike
- AICc - Critério de Informação de Akaike Corrigido
- AR – Modelos Autoregressivo
- ARIMA - Modelos Autorregressivos Integrados De Médias Móveis
- ARMA - Modelos Autoregressivo e de Médias Móveis
- BIC- Critério de Informação Bayesiano
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBOVESPA - ndice da Bolsa de Valores de São Paulo
- IBUTG - ndice de Bulbo mido e o Termmetro de Globo
- FAC – Função de Auto Correlação
- FACP - Função de Auto Correlação Parcial
- IC – ndice de Calor
- ICE - ndice de Conforto Equatorial
- ICEA - Instituto de Controle do Espaço Aéreo
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
- IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
- ITE - ndice de Temperatura Efetiva
- ITU - ndice de Temperatura e Umidade
- MA - Modelos de Médias Móveis
- PET - ndice Temperatura Fisiológica Equivalente
- SARIMA - Modelo ARIMA Sazonais
- TE - Temperatura Efetiva
- ZCI - Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE TABELAS.....	
LISTA DE ABREVIACÕES.....	
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
Problematização.....	01
Justificativa.....	02
Objetivo.....	02
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>03</b>
2.1– Climatologia.....	03
2.1.1 Ritmos climáticos.....	05
2.1.2 Clima Urbano.....	06
2.1.3 Clima de Cuiabá.....	08
2.2 - Conforto Urbano.....	10
2.2.1 Índice de conforto ambiental.....	12
2.2.1.1 Índice de Temperatura Efetiva.....	13
2.2.1.2 Índice Temperatura Fisiológica Equivalente.....	14
2.2.1.3 Índice de Bulbo Úmido de Termômetro de Globo.....	15
2.2.1.4 Índice de Conforto Equatorial (ICE).....	15
2.2.1.5 Índice de Temperatura e Umidade (ITU).....	16
2.2.1.6 Índice de calor (IC).....	17
2.3 Séries Temporais.....	18
2.3.1 Definição.....	18
2.3.2 Componentes de uma serie temporal.....	19
2.3.3 Principais modelos de séries temporais.....	22
2.3.3.1 Modelos Autoregressivo – AR ( $p$ ).....	22
2.3.3.2 Modelos de Médias Móveis – Ma ( $q$ ).....	22
2.3.3.3 Modelos Auto Regressivo e de Médias Móveis – ARMA ( $p,q$ ).....	23
2.3.3.4 Modelos Auto Regressivos Integrados de Médias Móveis - ARIMA ( $p,d,q$ ).....	23
2.3.3.5 Modelo Arima Sazonais – SARIMA ( $p,d,q$ ),(P,D,Q)s..	25
2.3.4 Método de Box & Jenkins.....	26

<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 - Caracterização do locus de pesquisa e coleta de dados.....	27
3.2 – Seleção do Índice de Conforto.....	30
3.3 - Correção de falhas.....	30
3.4 - Calculo Índice de calor.....	31
3.5 - Calculo do SARIMA .....	32
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
4.1 – Processamento preliminar.....	35
4.2 – Modelo com dados brutos.....	39
4.3 – Modelo com transformação Box Cox.....	41
4.4 – Modelo com retirada de outliers e transformada de Box Cox.....	42
4.4 – validação do Modelo.....	43
5.5 – Previsão.....	43
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>45</b>
<b>APÊNDICE A - CÓDIGOS DO PROGRAMA R UTILIZADO NAS</b>	
<b>MODELAGENS .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos climáticos revelam ainda hoje uma grande deficiência no que se refere ao planejamento de ações antrópicas dentro do ambiente urbano aliado ao conforto ambiental da população. O processo de ocupação da região Centro-Oeste acelerou a partir da década de 1960 com a implantação das rodovias, a construção de Brasília e o interesse pelo desenvolvimento da agricultura no nosso bioma. Neste processo de ocupação ocorreram várias transformações ambientais nunca antes imaginadas, tornando fundamental o conhecimento de seus fatores naturais e antrópicos.

Na baixada cuiabana teve uma explosão de crescimento com a transferência da Capital Federal e com o programa de povoamento do interior do país. Logo após esses episódios Cuiabá cresceu tanto que os serviços e infraestrutura não conseguiram acompanhar o ritmo e assim a cidade passou a se modernizar e a industrializar-se de forma rápida, com isso a urbanização se deu com a aglomeração populacional em áreas relativamente pequenas sem um planejamento urbano prévio.

As cidades mais antigas foram crescendo sem um planejamento e durante muito tempo projetou-se as obras nas cidades levando em consideração apenas aspectos estéticos e tecnológicos, sem a preocupação com o conforto ambiental para a população, criando assim, ambientes desconfortáveis e impróprios para a qualidade de vida da população.

O conforto ambiental é definido como o nível de satisfação que a população possa vir sentir em um determinado ambiente e a compreensão das exigências para que essa sensação de conforto seja percebida é de extrema importância, em especial na baixada Cuiabana, por ser caracterizada como um local com temperaturas em níveis elevados na maior parte do ano, além de apresentar grande incidência de radiação solar.

Estudos de séries temporais com variáveis climáticas têm sido disponibilizados para planejamento urbano, esse estudo ocorre por meio de sistemas computacionais, que criam modelos matemáticos para serem aplicados para estudo de mudanças ambientais, tanto de origem naturais quando de origem antrópica, e tem como finalidade gerar diagnósticos e prognósticos para direcionar um desenvolvimento sustentável. A Modelagem matemática ambiental é um recurso que tem sido cada vez mais empregado nos estudos ambientais, devido ao seu alto valor científico e sua utilidade na avaliação de impactos ambientais.

Atualmente existem diversos estudos sobre modelagem com utilização de vários de modelos. Neste trabalho buscando uma boa previsão dos dados utilizou-se uma metodologia aditiva para a previsão de séries temporais de um índice de conforto térmico, a ser selecionado, na baixada cuiabana, fazendo a combinação entre o modelo estatístico ARIMA (Autorregressivos Integrados e de Médias Móveis), utilizando a metodologia de Box e Jenkins (BOX; JENKINS, 1976),

Diante do exposto acima observa que é necessário se pensar em medidas que possam melhorar a sensação de conforto térmico da população, e os modelos matemáticos criados por meio da modelagem ambiental, podem ser usados como base para fomentar ideias que possa auxiliar no planejamento de medidas a serem adotadas de modo a melhorar a qualidade de vida dos habitantes de determinado ambiente.

#### Objetivo Geral

- Desenvolver e validar o modelo SARIMA para a série temporal da baixada cuiabana.

#### Objetivos Específicos:

- Analisar em termos estatísticos o comportamento das séries temporais mensais da temperatura do ar e umidade relativa do ar, disponibilizadas no site do INMET e ICEA,
- Selecionar e calcular o índice de conforto térmico.
- Aplicar a uma serie temporal de índice de conforto térmico o modelo SARIMA.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CLIMATOLOGIA:

O estudo dos fenômenos atmosféricos é realizado pela meteorologia e pela climatologia, a climatologia nasce baseada nos estudos da meteorologia, que estuda a atmosfera e seus fenômenos preocupando-se com o registro e a medição destes fenômenos cuja finalidade seria determinar as condições físicas sob as quais foram produzidos. (FERREIRA, 2012). Outra definição vem de Steinke (2012), expõe que a meteorologia é definida como a ciência da atmosfera que está relacionada ao seu estado físico e ao estudo dos fenômenos atmosféricos. Já a climatologia analisa a evolução desses fenômenos e suas especializações, ou seja, trata do estudo geográfico dos climas.

A pesquisa da meteorologia apresenta dois domínios: Meteorologia Tradicional e a Meteorologia Dinâmica. A meteorologia tradicional estuda os elementos atmosféricos de forma isolada sendo conhecida também como meteorologia analítico-separativa; a meteorologia dinâmica considera todos os elementos do meio atmosférico, sendo, portanto, possível atender melhor às necessidades das ciências que se interessam mais pelas combinações do que por fatos isolados. (BARROS; ZAVATINI, 2009).

Julius Hann, meteorologista nascido na Áustria, em 1839, considerado o pai da meteorologia dinâmica ou moderna, preocupado com a produção de bases sólidas, calcadas no rigor metodológico necessário, elaborou o primeiro manual de climatologia: *Handbuch der klimatologie*. As bases gerais da climatologia foram construídas de forma didática junto à descrição dos climas regionais. No entanto, podemos considerar que sua maior contribuição foi de cunho teórico, propondo as primeiras definições para os termos clima e tempo, definindo clima como “[...] o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da Terra” (HANN, 1882 apud MONTEIRO, 1976). “Já o tempo meteorológico foi caracterizado como uma fração da sucessão daqueles fenômenos, reproduzindo-se com maior ou menor regularidade no ciclo anual.” (SANT’ANNA NETO; ZAVATINI, 2000).

A Climatologia Clássica, ou separatista, tenta ser fiel aos propósitos geográficos ao recomendar o estudo dos conjuntos dos fenômenos atmosféricos. Quanto às classificações climáticas, podemos citar a de Köppen-Geiger, como a principal dentro dessa área. Esses cientistas classificaram o clima da Terra levando em consideração duas variáveis como principais, a temperatura do ar e a precipitação média das diversas

regiões do Globo, bem como a cobertura regional do solo. Essa obra ainda hoje tem ampla relevância, sendo utilizada em classificações fiéis, ou adaptadas, do globo ou sendo base para novas classificações como, por exemplo, Thornthwaite e Strahler, para citar as mais relevantes e difundidas (PEEL et al, 2007).

A respeito do clima região Centro-Oeste do Brasil, Nimer (1989) afirma que esse é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos. O tempo seco no meio do ano juliano (inverno) tem sua origem na estabilidade gerada pela influência do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e de pequenas dorsais que se formam sobre a parte continental sul americana. O período de chuva está associado ao deslocamento para sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCI, também conhecida como CIT), acompanhando a marcha aparente do sol em direção ao Trópico de Capricórnio. Sobre a porção central da América do Sul a CIT avança mais para sul do que nas regiões costeiras gerando instabilidade em todo o Brasil central nos meses de verão. Em função da influência da massa de ar tropical marítima e equatorial, as temperaturas são elevadas durante todo o ano. No inverno, quando a CIT está deslocada para norte, a região apresenta baixa ou nenhuma precipitação.

O sistema climático da Terra é um conjunto altamente complexo, sendo formado por quatro componentes (ou subsistemas) principais: a atmosfera (gases, partículas e vapor d'água), a hidrosfera (água superficial e subterrânea), a superfície terrestre (as terras emersas, com diferentes tipos de solo), e a biosfera (conjunto dos seres vivos terrestres e oceânicos). Sua dinâmica é determinada por fenômenos que ocorrem entre esses quatro componentes, e dentro de cada um deles. (BRASIL, 2004).

Outro elemento fundamental para entender o clima é a radiação solar, essa radiação coloca em movimento todo o sistema climático, funcionando como sua força motriz. A Terra intercepta a radiação solar e uma parte dela é refletida de volta para o espaço pela atmosfera e superfície terrestres. O restante é absorvido pelos cinco componentes do sistema climático. A própria Terra também emite alguma radiação para o espaço, e isso ajuda a compensar a radiação que ela recebe de fora, mantendo a temperatura do planeta dentro de determinados limites. Quando há algum desequilíbrio entre a energia que entra e a energia que sai, alterações no sistema climático tornam-se esperadas. (TULIO NETO, 2010).

A América do Sul estende-se desde 12° N de latitude até 55° S e possui formas de relevo variadas, como a Cordilheira dos Andes, diversos planaltos e planícies, além de possuir cobertura vegetal não homogênea. Outro fator importante é que a América do

Sul é circundada a oeste pelo oceano Pacífico e a leste pelo oceano Atlântico. Esses fatores combinados proporcionam a atuação e o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos que contribuem para a não homogeneidade climática da região. (REBOITA et al., 2012).

A Climatologia no Brasil nasceu do conhecimento empírico dos índios que habitavam estas terras antes da chegada dos colonizadores europeus. A este conhecimento, somam-se àqueles trazidos pelos religiosos e cronistas dos séculos XVI e XVII, baseados nas interpretações dos clássicos da antiguidade, como Estrabão, Aristóteles, entre outros. Os primeiros relatos que tratam das informações sobre o clima do Brasil foram realizados tanto pelos primeiros visitantes de nossas terras, como Pero Vaz de Caminha, através de sua prima carta aos reis de Portugal, e de Hans Staden, que durante anos ficou cativo dos tupis, na região de Ubatuba, litoral paulista, quanto pelos religiosos como os padres José de Anchieta, Manoel da Nóbrega e Fernão Cardim, portugueses, que iniciaram o trabalho de catequese junto aos primitivos donos da terra. (SANT'ANNA NETO, 2002).

Somente no último quarto do século XIX, com a reorganização e ativação do Observatório Astronômico no Rio de Janeiro, que apesar de ter sido fundado em 1827, funcionou precariamente até 1871, e com a criação da Repartição Central Meteorológica do Ministério da Marinha, em 1888, é que se inicia a fase científica das ciências atmosféricas – Meteorologia e Climatologia – no Brasil. (SANT'ANNA NETO, 2002).

A revolução de técnicas e métodos que atingiram as ciências naturais, que estudam o tempo e o clima ocorreu, segundo Monteiro (1991), após a Primeira Grande Guerra mundial, mais precisamente durante a década de 1920. Os progressos alcançados pela “escola escandinava”, que introduziu no campo da meteorologia, novos conhecimentos sobre a dinâmica atmosférica e a análise sinótica provocou, no escopo da Geografia, a partir da contribuição de Sorre, uma mudança de paradigma culminando com a revisão conceitual, onde se substituiu as antigas concepções de tempo e clima preconizados por Hann, pelas noções de “ritmo” e “sucessão”, dotando o clima de um atributo pulsante e dinâmico.

### 2.1.1 RITMOS CLIMÁTICOS

Para Ayoade (1991), a circulação atmosférica pode ser classificada em três escalas de abrangência, considerando escala, área e tempo. A primeira escala corresponde à circulação primária ou zonal, determinada pela circulação geral da

atmosfera e pelos padrões de vento e pressão, responsáveis pelos diferentes tipos de clima no mundo. A segunda escala está inserida na circulação zonal, como a atuação dos centros de ação positivos, já a terceira escala ou local, está inserida na circulação regional e as respostas locais as sucessões de tempo.

Os estudos acerca da análise rítmica em Climatologia têm sua base nos trabalhos de Monteiro (1976). A preocupação com a ação combinada dos diferentes elementos do clima no seu ritmo de sucessão habitual, com a utilização das sequências de cartas sinóticas do tempo e com a necessidade de aperfeiçoamento da classificação genética dos climas em termos regionais, levaram o autor a conceber a técnica batizada de “análise rítmica”, que consiste na representação do ritmo climático através de gráficos, que são “longas faixas de representação diária concomitante de todos os atributos atmosféricos mensuráveis (e possíveis de obter) sobre um lugar, acompanhados da informação sobre o sistema meteorológico atuante em cada dia.” (MONTEIRO, 1976).

Wollmann (2009) aponta que a análise do ritmo e sucessão do tempo permite a realização da frequência sazonal de participação dos sistemas atmosféricos sobre uma determinada região, que pode ser uma das formas de se classificar o seu clima. Para Monteiro (1971), a primeira aproximação válida para o conceito de ritmo seria aquela das variações anuais percebidas através das variações mensais dos elementos climáticos. Uma repetição das variáveis mensais em vários e sucessivos anos é o fundamento da noção de ritmo.

O ritmo natural da temperatura e chuva integrado a uma série de fatores locais, regionais e globais ao longo do tempo apresenta uma variação rítmica, marcado por fenômenos naturais ou antrópicos. Portanto, o ritmo do clima ocorre caracterizado por períodos de temperaturas elevadas ou baixas e de períodos com muitas chuvas e outros com poucas chuvas (SILVA, 2005). Portanto, entendemos que o ritmo climático só poderá ser compreendido com a combinação de elementos fundamentais do clima e do tempo cronológico associados à circulação atmosférica que gera estados atmosféricos e constituem o fundamento do ritmo.

### 2.1.2 CLIMA URBANO

A partir da década de 1960 a climatologia brasileira passou a produzir trabalhos regionais e locais, passando a ser influenciados pelas teorias de Monteiro (1976), que elaboram um modelo teórico para a investigação do comportamento climático de cidades. Segundo Monteiro (1976) “a cidade gera um clima próprio (clima urbano),

resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local”. Portanto é inevitável dissociar os atributos climáticos das interações urbanas.

A observação do clima local deve ser acompanhada da análise das características geoambientais, características físicas do meio geográfico, assim como, das características do processo de urbanização dos espaços a serem estudados, pois, dessa forma é possível identificar quais as alterações climáticas e suas magnitudes, além de relacioná-las às ações sociais. (UGEDA; AMORIM, 2016).

O conhecimento do comportamento das variáveis climáticas nas áreas urbanas é fundamental na mitigação dos efeitos adversos da urbanização. Taesler (1986) e Mills (2015) apontam que muitos dos problemas ambientais poderiam ser reduzidos se o planejamento urbano incorporasse estudos relativos ao clima. Porém, há uma dificuldade na tradução dos estudos de climatologia urbana para a linguagem do planejamento.

Para Maricato (2012) as conquistas institucionais, nos anos recentes, foram significativas: Lei de Uso e Ocupação do Solo; promulgação do Estatuto das Cidades, retomada das políticas de habitação e saneamento, entre outros, após décadas de ausência do Estado. Mas, a crise urbana continua a se manifestar em todos os espaços urbanos brasileiros.

As cidades podem ser entendidas como organizações estritamente humanas, nas quais o homem atua na transformação do meio em função de suas necessidades. Os grandes aglomerados urbanos criam uma especificidade climática através da interferência dos fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem alterando suas características em escala local, gerando uma atmosfera local com características climáticas próprias, ou seja, temperatura e umidade relativas do ar únicas, diferentes das verificadas nas áreas circunvizinhas. As características urbanas associadas aos tipos e níveis de adensamento e uso que recobrem o solo têm a capacidade de modificar os elementos climáticos que compõem a atmosfera local. (SANTOS et al., 2014).

No Brasil, geralmente a existência do clima urbano representa problemas à qualidade de vida da população. Isso porque, as alterações climáticas observadas nas cidades brasileiras não são intencionais, principalmente devido ao fato de que o planejamento urbano, historicamente praticado, não é realizado a partir de premissas sociais, econômicas e ambientais, e sim, quase que exclusivamente, a partir de

premissas econômicas imediatas. De modo geral, as cidades crescem sem levar em consideração as características do meio ao qual está inserida, o que acaba por levar a queda na qualidade ambiental. (UGEDA; AMORIM, 2016).

A infraestrutura para suprir as demandas das cidades tem provocado alterações na cobertura do solo, com vegetação sendo substituída por ruas, estacionamentos, edificações e moradias. Como resultado, a temperatura do ar das regiões mais pavimentadas cria ilhas de calor, que possuem variabilidade no decorrer do dia e dependem da cobertura do solo e do tempo de exposição à radiação. As ilhas de calor alteram características físicas do ar em contato com a superfície, alterando a magnitude do calor sensível e calor latente, fluxos de *momentum* e massa, propriedades óticas, altura e características da camada limite. Essas alterações impactam na dispersão dos poluentes, na intensidade e desenvolvimento de tempestades e em outros processos químicos e físicos do ambiente urbano, ainda não quantificados apropriadamente. As ilhas de calor também potencializam o impacto das ondas de calor, podendo provocar adoecimento e mortes em indivíduos mais vulneráveis, como crianças, idosos e doentes crônicos. (Khan; Simpson, 2001).

Picone e Campo (2014), estudando clima urbano na cidade de Tandil na Argentina, compararam os parâmetros meteorológicos nas áreas divididas em urbano e rural, foram analisados o comportamento espacial das temperaturas, precipitação e umidade, além do conforto climático. Assim ela descreveu a influência urbana em todos os parâmetros meteorológicos analisados, com intensidade máxima dos efeitos durante o verão. A evolução do comportamento térmico mostrou uma mudança no padrão de distribuição explicada pelas mudanças na morfologia urbana. As precipitações apresentaram um duplo processo: um efeito de sombra no centro da cidade gerado pelos edifícios em altura e uma maior concentração de millimetraje nas zonas altas da cidade. A umidade mostrou uma influência da temperatura dentro da cidade e da precipitação em termos de disponibilidade de água. A análise de conforto climático mostrou que a cidade apresenta condições de desconforto durante o verão, principalmente na área central e no nordeste da área urbanizada.

Maitelli (1997), em seu trabalho –Crescimento Urbano e Tendências Climáticas em Cuiabá/MT: Período de 1920/1992” analisou as variáveis climatológicas em Cuiabá e constatou que o crescimento urbano exerceu influências que tenderam ao aumento nas variáveis climatológicas locais, principalmente no que se refere às temperaturas médias e mínimas, quantidade de chuvas e velocidade dos ventos.

Costa (1999) realizou um estudo sobre a influência de uma área densamente arborizada, o parque Mãe Bonifácia, e outra densamente construída e antropizada, o centro de Cuiabá/MT. Os resultados mostraram uma diferença de temperatura entre as duas áreas de até 7°C no período noturno.

Análise do ritmo climático em Cuiabá/Várzea Grande no período de 1912/2012 realizada por Silva e Tarifa (2017), concluiu que é provável que a tendência de aumento nos valores de temperatura tenha sido influenciada pela urbanização de Cuiabá/Várzea Grande, na medida em que a população cresceu a temperatura média também se elevou a partir de 1970 a 2012, sendo o período mais longo de tendência de elevação da temperatura.

### 2.1.3 CLIMA DE CUIABÁ

O processo histórico de ocupação do Estado de Mato Grosso firmou-se na década de 1940, quando Mato Grosso passou a receber grande contingente populacional, devido à política de colonização da “Marcha para o Oeste”. Este quadro intensificou-se na década de 1970, com a colonização oficial e privada, quando várias cidades surgiram no norte de Mato Grosso, como Juína, Sinop, Vera, Colíder e outras. (VASCONCELOS, 2009).

A partir dos anos de 1970, Mato Grosso integrou-se a área de fronteira agrícola, causando um intenso fluxo migratório, e surgindo novos Municípios, conseqüentemente novas cidades, além de incrementar o crescimento das cidades existentes. (VILARINHO NETO, 2009).

O núcleo urbano de Cuiabá teve sua origem no ciclo do ouro e foi fundada em 1719, recebendo foros de cidade em 1818. Sendo que a área urbana ocupa 254,57 Km<sup>2</sup>. Em 1900 a população de Cuiabá era de 34.393 mil habitantes, a qual se manteve relativamente pequena até a década de 1960 com um total de 57.860 mil habitantes. A partir de 1970 a 1990 a população triplicou de 100.865 para 380.140. (SILVA, 2015).

Cuiabá teve um crescimento populacional de aproximadamente 952% entre os anos de 1960 e 2010, conforme dados do IBGE (2010). Nas décadas de 70 e 80 o município passou por um processo de explosão populacional, sofrendo transformações na estrutura da paisagem e ocupação do solo urbano. Em algumas áreas, houve uma concentração do crescimento vertical das edificações, como o centro da cidade. As construções verticalizadas absorvem e armazenam parte da energia calorífica durante o

dia, emitindo-a durante a noite para o ar atmosférico e mantendo o ambiente aquecido por mais tempo. (SANTOS, 2014).

O processo de urbanização traz alterações no ambiente, gerando impactos consideráveis no clima local. A atuação dos parques industriais, a substituição da vegetação nativa pela massa de construções prediais e do revestimento no uso do solo alteram substancialmente a paisagem local, interferindo no comportamento do microclima, topo e clima local, no espaço urbano. (SILVA, 2015).

Segundo VILARINHO NETO (2009) a cidade de Cuiabá constitui o maior centro comercial e de prestação de serviço do Estado, atendendo tanto ao interior quanto aos estados de Rondônia, Acre e Pará, além do Leste da Bolívia. Seu crescimento populacional, nas últimas décadas do século XX, tornou-se um dos elementos responsáveis pelo processo que a transformou em uma metrópole regional, reforçando a migração em ritmo intensivo para Cuiabá.

As pesquisadoras Maitelli e Zamparoni foram as pioneiras na pesquisa sobre climas urbanos em Mato Grosso. Maitelli (1991) utilizando transectos móveis analisou a distribuição horizontal da temperatura e umidade relativa do ar. A fim de obter relações entre os elementos climáticos e o uso do solo urbano. Resultados mostraram a formação de ilha de calor na área central da cidade, aonde a noite fazia uma diferença de até 2,5°C com o entorno.

Maitelli (1994), ao dar continuidade e aprofundamento aos seus estudos de 1991, investigou os efeitos da urbanização na temperatura e umidade do ar em Cuiabá em um novo estudo, intitulado de “Uma Abordagem Tridimensional de Clima Urbano em Área Tropical de Cuiabá/MT”. Os resultados mostraram que, na estação chuvosa, nos dias sem chuva, as diferenças de temperatura chegavam até 2,5°C durante a noite, e até 2°C no período diurno. No entanto, no período de seca as diferenças eram maiores, indo de 3°C durante o dia, para até 5°C durante a noite. Assim, é durante a estação seca e no período noturno que ocorrem as maiores diferenças térmicas.

Machado et al., (2013) observando as variações temporais e espaciais de temperatura e umidade relativa do ar nos diferentes usos e ocupação do solo do Campus Cuiabá - Bela Vista (BLV) do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) localizado na região oeste da cidade de Cuiabá – MT, observou que as áreas com cobertura vegetal tiveram os menores valores de temperatura do ar e os maiores valores de umidade relativa do ar, enquanto as áreas sem cobertura vegetal tiveram padrão inverso, ou seja, maiores valores de temperatura do ar e menores valores de umidade relativa do ar.

Biudes et al., (2013) estudando o traçado urbano e sua influência no microclima: um estudo de caso em centro histórico de Cuiabá; buscaram identificar características urbanísticas ligadas à bioclimatologia na concepção do traçado citadino vernacular de Cuiabá, discutindo sobre suas consequências no conforto urbano e no planejamento da cidade na escala do pedestre. Para isso foram realizados levantamentos iconográficos no centro histórico, em conjunto com uma pesquisa bibliográfica na área de clima urbano que envolve a localidade estudada e um levantamento de dados micrometeorológicos. Como resultado o trabalho termina por identificar ações possíveis para auxiliar as cidades a se tornarem mais adaptadas as características climáticas locais.

## 2.2 CONFORTO AMBIENTAL

O homem é um animal homeotérmico. Seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante. Essa temperatura é da ordem de 37°C, com limites muito estreitos — entre 36,1 e 37,2°C —, sendo 32°C o limite inferior e 42°C o limite superior para sobrevivência, em estado de enfermidade. A manutenção da temperatura interna do organismo humano relativamente constante, em ambientes cujas condições termo-higrométricas são as mais variadas e variáveis, se faz por intermédio de seu aparelho termorregulador, que comanda a redução dos ganhos ou o aumento das perdas de calor através de alguns mecanismos de controle. O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade. (FROTA, 2003)

Dessa forma, o conforto térmico pode ser definido como o nível de satisfação do usuário em um ambiente, conseqüente da relação da temperatura média, umidade relativa, velocidade do ar, atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada, causando a sensação de bem-estar na pessoa, sendo, portanto, considerado as diferenças de hábitos, cultura e particularidades da população analisada. É muito comum no Brasil encontrar edificações (públicas ou privadas) com ambientes termicamente desconfortáveis, com necessidade de sistemas de refrigeração artificial, nem sempre eficientes. (SANTOS, 2008).

Andrade et al. (2016) mencionam que as construções e os veículos contribuem para acelerar o aquecimento das cidades através do calor dissipado pela atmosfera e que esse índice pode representar um terço da energia solar incidida e, cabe considerar a grande área de espaços pavimentados no ambiente urbano. Enquanto a vegetação tem

baixa condutibilidade de calor, os materiais construtivos como o concreto, a cerâmica, os tijolos e o asfalto têm boa condutibilidade, criando condições propícias para o aquecimento (LEAL, 2012).

Já Silva (2002) diz que o conforto térmico não é um conceito exato, já que não implica uma temperatura exata, dependendo de fatores quantificáveis: temperatura do ar, velocidade do ar, umidade, etc.; e de fatores não quantificáveis: estado mental, hábitos, educação, cultura, etc. Assim, as preferências de conforto das pessoas variam bastante conforme a sua aclimatização particular ao ambiente local.

Para a obtenção de um ambiente termicamente confortável para os seus usuários, as normas sobre conforto térmico são ferramentas essenciais. Segundo Xavier (1999), para que uma pessoa se encontre em estado de conforto térmico, são necessários que se verifiquem três condições fisiológicas e ambientais, sem as quais este estado não é capaz de ser atingido, quais sejam: que a pessoa se encontre em neutralidade térmica; que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor, estejam dentro de certos limites compatíveis com sua atividade; que a pessoa não esteja sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado.

As variáveis de conforto térmico estão divididas em variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar; e variáveis humanas: metabolismo gerado pela atividade física e resistência térmica oferecida pela vestimenta. Além disso, variáveis como sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura etc. podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e devendo, portanto, ser consideradas. (SANTOS, 2008).

A temperatura do ar é considerada a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pela diferença de temperatura entre a pele e o ar, relacionada com os outros mecanismos termoreguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa. (SANTOS, 2008).

Umidade relativa é definida como a relação entre o teor em vapor d'água que o ar contém e o teor máximo que poderia conter, à temperatura ambiente. É a porcentagem de vapor d'água existente no ar em relação ao máximo que poderia existir aquela temperatura (OMETTO, 1981). As perdas de energia térmica do organismo humano, representadas pelo calor latente, correspondem à dissipação através das perdas de vapor d'água pela respiração ou pela perspiração, ou através da evaporação do suor,

e equivalem ao calor que libertar-se-ia proporcionando a condensação dessa quantidade de vapor d'água que mantém-se no ar. Desta forma, a umidade relativa é um fator determinante da quantidade de suor que a pele pode evaporar na unidade de tempo, pois quanto mais próximo o ar encontra-se da sua quantidade máxima de vapor d'água, representando uma alta umidade relativa, menor a sua capacidade de reter a água presente na superfície da pele, dificultando a eliminação da energia térmica pelo organismo, causando desconforto (FROTA, 2001).

Para a bioclimatologia não se dá tanta ênfase aos efeitos de movimento do ar causados pelo gradiente de pressão e pela rotação da terra, basicamente consideram-se os efeitos de fricção e a diferença de densidade, esta última provocada pelo gradiente de temperatura. Como a bioclimatologia trata da camada de ar mais próxima do homem, considera-se para seus estudos somente a camada superficial, que estende-se até aproximadamente 100 metros acima da superfície do solo (OMETTO, 1981). O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando há um deslocamento de ar por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, elevando assim, a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor. (SANTOS, 2008).

O metabolismo é o processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos, ou seja, através do metabolismo, o organismo adquire energia. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% são transformadas em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio. (FROTA, 2003).

A vestimenta pode ser considerada uma barreira para as trocas de calor por convecção, já que funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre. A vestimenta reduz também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. (SANTOS, 2008).

A temperatura é um fator muito importante para a vida de todos os seres vivos, exercendo grande influência em todas as atividades fisiológicas, por controlar as taxas das reações metabólicas nas células. Especialmente para os vegetais, seres sésseis, as

adaptações às alterações de temperatura devem ser rápidas e eficientes, para garantir sua sobrevivência (Browse & Xin 2001).

Alterações da temperatura ambiental influenciam sensivelmente o crescimento das plantas. Mudanças em poucos graus ocorridas no ambiente natural geralmente levam a alterações significativas nas taxas de crescimento, sendo a temperatura mínima definida como aquela abaixo da qual não há crescimento; temperatura ótima, aquela onde o crescimento atinge a máxima taxa e temperatura máxima, o valor de temperatura acima do qual não há crescimento e a planta pode morrer. Além disso, diferentes tecidos de uma mesma planta também podem apresentar diferentes temperaturas cardinais (Salisbury & Ross 1991).

### 2.2.1 ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO

Como as condições de conforto térmico são predominantes para a sensação de satisfação com o ambiente construído, torna-se necessário o estabelecimento de critérios e valores de referência para a correta avaliação do ambiente térmico que a edificação propicia. Com o intuito de quantificar as reações do organismo humano frente às variações térmicas do ambiente, buscou-se a estruturação de índices e/ou sistemas de avaliação que expressassem esta relação de causa e efeito. (ROSSETI et al., 2009).

As pesquisas sobre conforto térmico em ambientes externos, quando comparadas com aquelas em ambientes internos, são mais complexas uma vez que envolvem uma maior variação das condições climáticas. Em ambiente natural, a quantificação do conforto térmico geralmente é realizada utilizando-se a temperatura e a umidade do ar, em função da dificuldade de determinação das outras variáveis e por serem facilmente modificadas pelo vestuário e sombreamento, especialmente devido à mobilidade humana. (GREGORCZUK & CENA, 1967).

A avaliação da exposição a temperaturas excessivas é de grande importância para que se possa garantir o conforto térmico do trabalhador. Existem vários índices para avaliação da exposição ao calor, dentre os quais se destacam os índices de Temperatura Efetiva Corrigida, Temperatura Fisiológica Equivalente, de Conforto Equatorial, de Bulbo Úmido e o Termômetro de Globo, de Temperatura e Umidade e índice de calor.

#### 2.2.1.1- Índice de Temperatura Efetiva (ITE)

Em 1923 a ASHVE, Associação Americana dos Engenheiros de Aquecimento e Ventilação, publicou o trabalho de Houghten & Yaglou (1923) que estabelecia "linhas de igual conforto", definidas depois como de temperatura efetiva, e definiu "zonas de conforto" e, a partir destas, o ITE. Os experimentos que originaram esse índice foram desenvolvidos num laboratório que continha duas câmaras climatizadas interligadas por uma porta, mas com controles independentes de temperatura e umidade. Essas combinações originaram as chamadas linhas de igual conforto, que foram plotadas numa carta psicrométrica e chamadas de temperatura efetiva (TE). Essas linhas foram identificadas pelo correspondente valor da temperatura de bulbo seco no ponto do seu cruzamento com a linha de umidade relativa de 100%. (OLIVEIRA, 2003).

Vernon e Warner (1932) propõem a Nova Temperatura Efetiva, através da substituição da temperatura de bulbo seco pela temperatura de globo, para consideração dos efeitos da radiação. Esse índice foi adotado pela ASHRAE, em 1967, com a nomenclatura de Temperatura Efetiva Corrigida (ASHARE, 1967). O ITE correlaciona as variáveis meteorológicas através de um nomograma, como mostra a Figura 1. SZOKOLAY, 1980 apud STIPEN, 2007 (JUNIOR,2015).

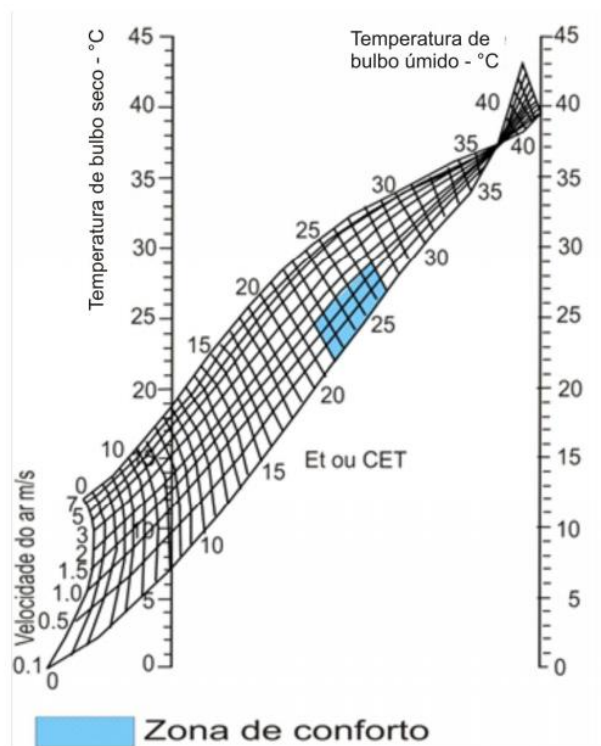


FIGURA 01- Nomograma do ITE. FONTE: Szokolay, 1980 apud Stipen, 2007

### 2.2.1.2 - Índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET)

O índice PET- Temperatura Fisiológica Equivalente (HÖPPE, 1999) dado em graus centígrados, traduz a sensação térmica resultante da interação das quatro variáveis ambientais, o que facilita sua apreensão. Este índice pode ser utilizado para ambientes externos ou internos e vem sendo aplicado por pesquisadores para estudos de clima urbano. (NERY; ANDRADE; FROTA, 2006).

Uma das vantagens do índice PET é que as variáveis climáticas são as mesmas utilizadas em outros índices de conforto, o que torna possíveis análises comparativas. O PET utiliza as variáveis climáticas temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média para estimar a sensação térmica. (KRÜGER; ROSSI; DRACH, 2018).

O índice PET baseia-se na equação de balanço térmico do corpo humano em condições de estabilidade. Seu valor é igual ao da temperatura do ar de um ambiente interno de referência no qual a temperatura interna corporal e a da pele são iguais àquelas sob as condições do ambiente considerado. (NERY; ANDRADE; FROTA, 2006).

### 2.2.1.3 - Índice de Bulbo Úmido e o Termômetro de Globo (IBUTG)

O IBUTG funciona como um indicador que engloba os principais fatores causadores da sobrecarga térmica (alta temperatura, metabolismo, calor radiante e alta umidade relativa do ar) e, também, os principais fatores atenuadores da mesma (ventilação do ambiente, baixa umidade relativa do ar e baixa temperatura) fornecendo uma escala de tempo de trabalho e de tempo de repouso para aquela situação (COUTO, 1995).

O IBUTG é o principal parâmetro de análise para a quantificação do estresse térmico. Esse índice foi desenvolvido por Yaglou & Minard 33, inicialmente, para estudar as relações entre o calor e suas consequências fisiológicas durante treinamentos militares. O IBUTG para ambientes externos com carga solar é dado por:

$$\text{IBUTG} = (0,7 \cdot T_n) + (0,1 \cdot T) + (0,2 \cdot T_g)$$

Em que  $T_n$  é a temperatura de bulbo úmido "natural",  $T_g$  é a temperatura de globo, e  $T$  é a temperatura do ar.

### 2.2.1.4 - Índice de Conforto Equatorial (ICE)

Webb (1959) desenvolveu este índice para ser aplicado a habitantes de climas tropicais, de preferência quente e úmido. Baseou-se em observações feitas em Cingapura, em habitações correntes e em uma escala climática desenvolvida especialmente para condições tropicais, procurando correlacionar os valores dessa escala com a sensação de calor, tendo incorporado dados referentes ao P4SR (Previsão da Produção de Suor em 4 horas, que é um índice fisiológico desenvolvido por McArdle, do Royal Naval Research Establishment) e chegou a um nomograma semelhante ao da Temperatura Efetiva, como mostrado na figura 2. Webb estende a aplicabilidade de seu índice e de seu gráfico de conforto a habitantes de regiões climáticas semelhantes a Cingapura, como, por exemplo, a Amazônia. (FROTA E SCHIFFER, 2006).

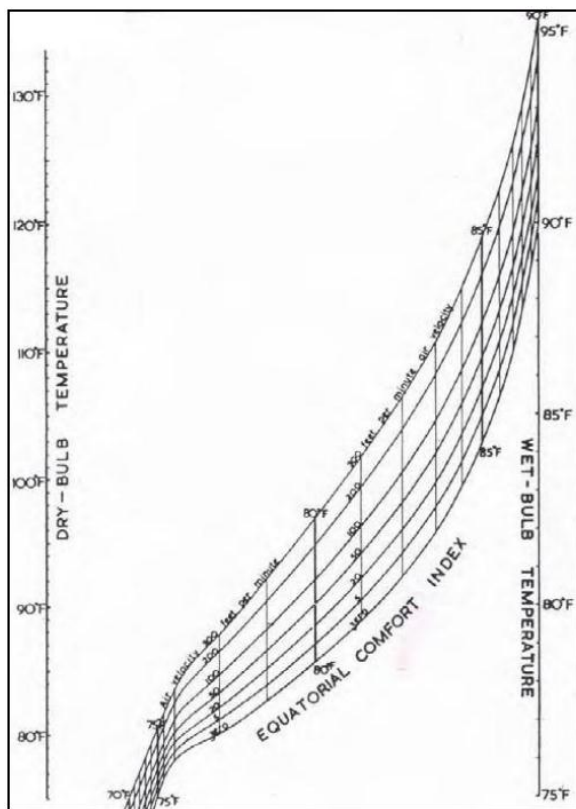


FIGURA 02: Monograma de Índice de Conforto Equatorial. FONTE: Auliciems & Szokolay, 1997

#### 1.1.2.5- Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU), originalmente desenvolvido por THOM (1958) como um índice de conforto térmico para humanos, tem sido utilizado para descrever o conforto de animais, principalmente bovinos, desde que JOHNSON et

al. (1962) relataram redução na produção de leite de vacas associada ao aumento no valor do ITU.

Segundo Barbirato et al., (2007) esse índice é comumente utilizado nos trópicos pela sua praticidade e, além disso, é um dos índices utilizados para ambientes abertos que permitem quantificar o “stress” no ambiente urbano.

O índice de temperatura-umidade (ITU) é um avaliador do conforto humano para o verão, baseado em condições de temperatura e umidade.

$$ITU = T - 0.55 (1 - UR)(T - 14),$$

Onde T é a temperatura dada em graus Celsius e UR é a umidade relativa dada em fração decimal.

Para comparar os níveis de conforto do ITU foram utilizados os critérios apresentados na tabela abaixo:

NÍVEIS DE CONFORTO	ITU
Confortável	21 < ITU < 24
Levemente desconfortável	24 < ITU < 26
Extremamente desconfortável	ITU > 26

TABELA 01: Índice de Temperatura-Umididade. Fonte: Nóbrega e Lemos (2011)

França et al., (2015) utilizando o índice de temperatura e umidade realizou o estudo “Estimativa de índices de conforto térmico na cidade de Cuiabá/MT” que conclui que os valores estimados do ITU apresentaram predomínio de dias “levemente desconfortáveis” em março e “extremamente desconfortáveis” em setembro, enquanto os valores estimados do IDT mostraram predomínio de dias “parcialmente confortáveis” no período. Nesse caso, verificou-se uma condição preocupante do ponto de vista conforto ambiental, com tendência de desconforto térmico, independente da sazonalidade regional;

#### 1.1.2.6- Índice de calor (IC)<sup>1</sup>

O IC ou também chamada de temperatura aparente, é uma medida que se relaciona ao desconforto para os seres humanos por níveis elevados de temperatura e umidade atmosférica, proposta por STEADMAN (1979, 1984). A premissa básica no IC

1 Índice de Calor – É a tradução exata para o português de um dos Índices Térmico utilizado, em especial, por americanos, *Heat Index*. O índice de calor ou *heat index*, em inglês, é a temperatura sentida devido a combinação entre a temperatura aparente do ar e a umidade relativa do ar. (EPAGRI/CIRAM, 2016)

é que, com a evaporação do suor, o corpo resfria-se, devido ao consumo de calor latente na superfície da pele e que, altos valores de umidade relativa do ar diminuem a taxa de evaporação, fazendo o corpo reter mais calor e assim causando desconforto (DELWORTH et al., 1999).

O IC é um índice biometeorológico válido e preferencialmente deve ser usado nas seguintes condições (STEADMAN, 1979): a temperatura do bulbo seco deve ser acima de 20°C e abaixo de 50°C e velocidade do vento fraco (menor ou igual a 2,5m s<sup>-1</sup>) em condições de sombra. O IC é um índice de desconforto humano facilmente calculado a partir de dados meteorológicos de estações convencionais ou automáticas, pois a temperatura e a umidade relativa do ar são variáveis medidas no interior do abrigo meteorológico. (SILVA, 2014).

O IC foi elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para dados valores de temperatura e umidade relativa do ar, nas situações em que as temperaturas estão elevadas, estando à pessoa à sombra em condições de vento fraco. A expressão para cálculo do IC à sombra é dada por ajuste empírico.

$$IC = -42,379 + 2,04901523 \cdot T + 10,14333127 \cdot UR - 0,22475541 \cdot T \cdot UR - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot UR^2 + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot UR + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot UR^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot UR^2$$

Onde, T é a temperatura do bulbo seco (°F) e UR é a umidade relativa. (BOTARI, 2017).

Os níveis de alerta e suas consequências à saúde humana está ilustrada no quadro abaixo:

INTERVALO DO IC	NÍVEL DE ALERTA	SÍNDROME DE CALOR (SINTOMAS)
IC < 27	Ausência de alerta	-----
27,1 ≤ IC ≤ 32	Atenção	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividades físicas.
32,1 ≤ IC ≤ 41	Muito cuidado	Possibilidade de câibras, esgotamento e insolação para exposição prolongada e atividades físicas.
41,1 ≤ IC ≤ 54	Perigo	Câibras, insolação e esgotamento, prováveis possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividade física.
IC ≥ 54,1	Extremo perigo	Insolação e Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.

Níveis de alerta e possíveis sintomas fisiológicos, de acordo com o IC. FONTE: FUNDACENTRO (2008).

## 2.3 SÉRIES TEMPORAIS

### 2.3.1 DEFINIÇÃO

Segundo Reis (2009), “Série Temporal ou série histórica é um conjunto de observações sobre uma variável, ordenado no tempo”, e registrado em períodos regulares. Podemos enumerar os seguintes exemplos de séries temporais: temperaturas máximas e mínimas diárias em uma cidade, vendas mensais de uma empresa, valores mensais do IPC-A, valores de fechamento diários do IBOVESPA, resultado de um eletroencefalograma, gráfico de controle de um processo produtivo.

Chatfield (2002) define que as séries temporais podem ser classificadas como séries estacionárias ou não estacionárias, também conhecidas como séries convergentes e séries divergentes, respectivamente. O estudo de uma série temporal pode ser feito no domínio do tempo ou no domínio das frequências. Para ambos domínios, os modelos gerados são estocásticos, isto é, constituem processos controlados por leis probabilísticas.

### 2.3.2 COMPONENTES DE UMA SERIE TEMPORAL

Conforme descrito em Morettin e Toloí (2004), as séries temporais são compostas por quatro elementos básicos, também denominados componentes de uma série temporal, que podem ser classificados em:

- a) **Tendências:** referem-se ao movimento dos dados a longo prazo, para cima ou para baixo;
- b) **Ciclos:** variações com certo grau de regularidade, porém com período diferente de um ano;
- c) **Sazonalidades:** os fenômenos sazonais estão associados às estações do ano, difere das variações cíclicas por considerar o período de um ano;
- d) **Aleatórios:** são variações ao acaso, que não apresentam regularidade.

#### TENDÊNCIAS:

A tendência é um elemento muito importante em uma série temporal. Ela pode ser linear, quando o crescimento é constante em cada período de tempo, polinomial ou exponencial. Os objetivos de se isolar a tendência de uma série temporal é identificar a tendência e usá-la para fazer previsões, ou remover a tendência de modo permitir o estudo dos demais componentes da série.

Em Pedro Alberto Morettin (2006), são descritos três testes de tendência: o teste do sinal (Cox-Stuart), o teste baseado no coeficiente de relação de Spearman e o teste F

para análise de variância de uma regressão. A Figura 03 exemplifica uma tendência crescente, tanto nos valores médios quanto nas variâncias.

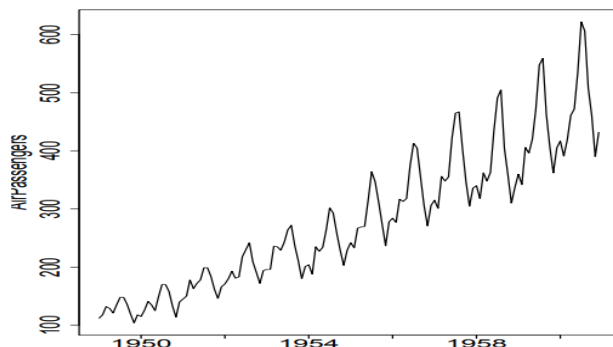


FIGURA 03: Totais mensais de passageiros em linhas aéreas internacionais nos EUA entre 1949 e 1960. FONTE: Ehlers (2009).

#### CICLOS:

Os Ciclos em uma série de tempo se referem aos movimentos recorrentes de elevação e queda em torno do nível médio da tendência e, portanto, também são relativos a dados que refletem o longo-prazo da variável em questão (LAMOUNIER, 2007). De acordo com Souza (1989), deve-se ressaltar que os movimentos para cima e para baixo em torno da tendência podem ser estritamente periódicos ou aproximadamente periódicos, assim sendo, eles podem variar em comprimento e magnitude, vide, como exemplo, a Figura 04.

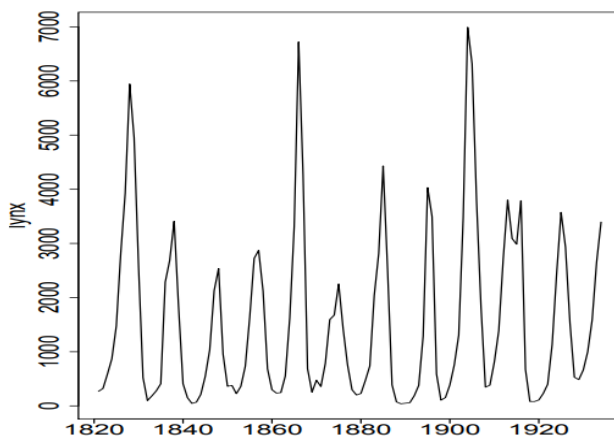


FIGURA 04: Número anual de lincas capturados em armadilhas entre 1821 e 1934 no Canadá. FONTE: Ehlers (2009).

#### SAZONALIDADE:

Assim como o componente cíclico, a sazonalidade também está relacionada aos movimentos para cima e para baixo em torno de um valor médio, contudo, ela difere

basicamente em dois aspectos do primeiro: a sazonalidade possui um comprimento constante de 12 meses, repetindo-se nesta base periódica regular e as variações sazonais podem ser observadas tendo-se por base períodos menores de tempo (médio e curto-prazo), assim sendo, os dados a serem analisados não deverão estar distribuídos em observações anuais, mas sim mensais ou trimestrais, para que seja possível a modelagem da sazonalidade (figuras 3 e 5).

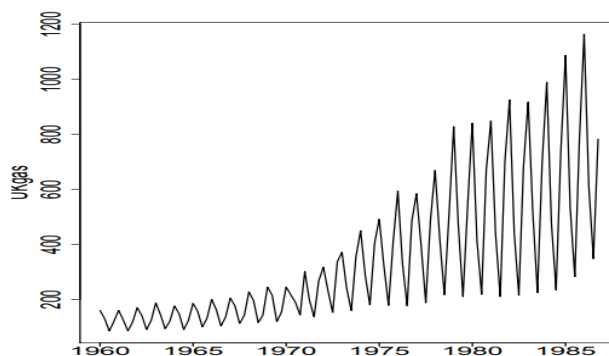


FIGURA 05: consumo de gás no Reino Unido entre o primeiro trimestre de 1960 e o quarto trimestre de 1986. FONTE: EHLERS (2009).

#### ALEATÓRIOS:

Movimentos ascendentes e descendentes da série após a ocorrência de um efeito de tendência, um efeito cíclico, ou de um efeito sazonal. Nas componentes de erro, ou ruído branco, aparecem flutuações de período curto, com deslocamento inexplicável e geralmente são causadas, entre outros motivos, por eventos políticos e oscilações climáticas imprevisíveis (Figura 6).

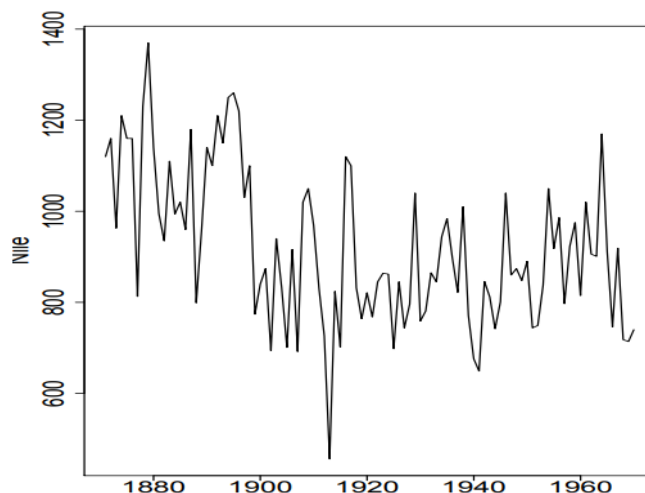


FIGURA 06: medições anuais de vazões do Rio Nilo em Ashwan entre 1871 e 1970. Fonte: (EHLERS, 2009).

Segundo Antunes (2015), construir um gráfico é o primeiro passo para compreender os processos subjacentes às medidas sequenciais ordenadas

temporalmente. Esse primeiro passo é importantíssimo e não deve ser subestimado. É necessário construir, sempre, o gráfico da série temporal a ser estudada e refletir sobre ele. Sabendo-se o que se procura nas séries temporais, pode-se partir para os métodos práticos de análise.

Na análise de uma série temporal primeiramente deseja-se modelar o fenômeno estudado para, a partir de aí descrever o comportamento da série, fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries. Para tanto, há um conjunto de técnicas estatísticas disponíveis que dependem do modelo definido (ou estimado para a série), bem como do tipo de série analisada e do objetivo do trabalho. (LATORRE; CARDOSO, 2011).

### 2.3.3 PRINCIPAIS MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS

A metodologia das séries temporais apresenta uma série de modelos, os quais podem ser classificados de acordo com os seus respectivos parâmetros. O que usaremos podem ser classificados como sendo paramétricos, pois se caracterizam pelo número finito de parâmetros, e tem suas análises feita no domínio do tempo.

#### 2.3.3.1– MODELOS AUTOREGRESSIVO –AR ( $p$ )

Segundo Morettin e Tolo (2006), um modelo autorregressivo de ordem  $p$ , denotado por AR( $p$ ) é tal que:

$$Z_t = \Phi_1 \cdot Z_{t-1} + \Phi_2 \cdot Z_{t-2} + \dots + \Phi_p \cdot Z_{t-p} + a_{t2}$$

onde  $a_t$  é o componente aleatório;

Esse modelo pressupõe que o valor atual da série é uma combinação linear dos  $p$  valores passados da série e de um componente aleatório  $a_t$ . A função de auto correlação de um processo autorregressivo é constituída de uma mistura de polinômios, exponenciais e senoides amortecidas e é infinita em extensão. Já a função de autocorrelação parcial não é nula somente para defasagens menores que  $p$  (veja Box, Jenkins e Reinsel, 1994).

#### 2.3.3.2 - MODELOS DE MÉDIAS MÓVEIS – MA ( $q$ )

Segundo Morettin e Toloí (2006), um modelo de médias móveis ordem  $q$ , denotado por  $MA(q)$  é tal que, para um processo de média nula:

$$Z_t = \theta_1 \cdot a_{t-1} + \theta_2 \cdot a_{t-2} + \dots + \theta_q \cdot a_{t-q}$$

onde  $a_t$  é o componente aleatório;

Nesse modelo o valor atual da série é uma média ponderada dele próprio mais os  $q$  últimos valores de um processo ruído branco.

Segundo Morettin e Toloí (2006), a f.a.c. de um processo  $MA(q)$  se anula para defasagens maiores do que  $q$ , sendo, portanto finita. Já a função de auto correlação parcial se comporta por exponenciais e ou senóides amortecidas (veja Box, Jenkins e Reinsel, 1994).

### 2.3.3.3 - MODELOS AUTO REGRESSIVO E DE MÉDIAS MÓVEIS – ARMA ( $p, q$ )

Morettin e Toloí (2006) sugerem que para muitas séries encontradas na prática, se o objetivo for um modelo com um número reduzido de parâmetros, isto é, mais parcimonioso, a inclusão de termos tanto auto regressivos quanto de médias móveis é adequada. Portanto, um modelo deste tipo, denotado por  $ARMA(p, q)$  pode ser escrito da forma:

$$Z_t = \Phi_1 \cdot Z_{t-1} + \Phi_2 \cdot Z_{t-2} + \dots + \Phi_p \cdot Z_{t-p} + a_t + \theta_1 \cdot a_{t-1} + \theta_2 \cdot a_{t-2} + \dots + \theta_q \cdot a_{t-q}$$

Morettin e Toloí (2006) verificam que se a função de autocorrelação (FAC) de um processo  $ARMA(p, q)$  se comporta:

- Se  $q < p$  a f.a.c. consiste numa mistura de exponenciais e ou senóides amortecidas;
- Se  $q \geq p$ , os primeiro os  $q - p - 1$  não seguirão este padrão.

A função de autocorrelação parcial (FACP), por sua vez, se comporta por exponenciais e ou senóides amortecidas (veja Box, Jenkins e Reinsel, 1994).

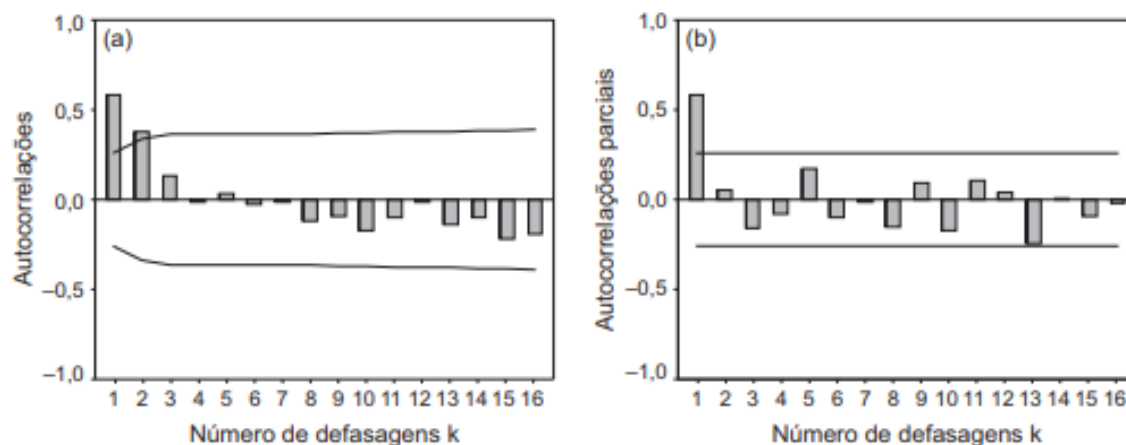


FIGURA 07: a) Função de autocorrelação e b) função de autocorrelação parcial para o número de atendimentos de clientes tipo contrato. FONTE: Werner & Ribeiro (2003).

#### 2.3.3.4 MODELOS AUTORREGRESSIVOS INTEGRADOS DE MÉDIAS MÓVEIS - ARIMA $(p,d,q)$

Os modelos mostrados até agora assumem que as séries são estacionárias, diferente do encontrado nas séries reais. Se uma série  $Z_t$  é não estacionária, segundo Morettin e Toloí (2006), a série

$$W_t = Z_t - Z_{t-d}$$

É uma diferença de  $Z_t$  e, portanto,  $Z_t$  é uma integral de  $Z_t$ . O modelo ARIMA  $(p, d, q)$  é um caso especial de processo integrado no sentido de que supõe que a  $d$ -ésima diferença de uma série não estacionária pode ser representada por um modelo ARMA  $(p, q)$ , estacionário.

Para a estimação dos parâmetros, nesta abordagem, deve ser observada a questão da autocorrelação dos erros  $(Nt)$ , que impede a utilização do Método de Mínimos Quadrados Ordinários para este cálculo, que segundo Pereira (1984) e Makridakis et al. (1998) fornecem regressões espúrias. Estes mesmos autores sugerem a utilização dos Métodos de Mínimos Quadrados Generalizados ou Máxima Verossimilhança neste caso.

Conforme Barbiero (2003) o diagnóstico focaliza análises sobre os resíduos do modelo e a pergunta principal é: - Os resíduos resultaram em "ruído branco"? Ou seja, o modelo foi tão bem ajustado que somente restou à aleatoriedade dos dados que não

pode ser explicada matematicamente? Para responder esta questão, testes estatísticos são utilizados para análise, sendo conhecidos por teste de Portmanteau, onde:

i) Estatística  $Q$  de Box e Pierce:  $Q = n \sum_{k=1}^h r_k^2$

ii) Estatística  $Q^*$  de Ljung e Box:  $Q = n(n+2) \sum_{k=1}^h (n-k)^{-1} r_k^2$

com  $n$  sendo o número de observações da série,  $h$  o máximo período (defasagem) considerado, geralmente  $h=20$ , tendo distribuição qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com  $(h-m)$  graus de liberdade onde  $m$  é o número de parâmetros do modelo.

Chatfield (2000) sugere três verificações básicas para o diagnóstico:

- i) análise do viés da previsão,
- ii) correlação dos erros de previsão,
- iii) simetria dos intervalos de confiança.

Para tanto, serão verificadas também as funções de autocorrelação total e parcial dos resíduos.

### 2.3.3.5– MODELO ARIMA SAZONAIS – SARIMA $(p,d,q),(P,D,Q)_s$

Um dos modelos mais utilizados que consideram a sazonalidade de uma determinada serie temporal, e o chamado modelo ARIMA sazonal, ou SARIMA (MORETTIN & TOLOI, 2004). Estes modelos são importantes, pois levam em consideração a sazonalidade estocástica dos dados. Quando o período  $s=12$ , o modelo denominado SARIMA de ordem  $(p,d,q) \times (P,D,Q)_{12}$ , é dado por:

$$\phi(X)\Phi(X^{12})\Delta^d\Delta_{12}^D Z_t = \theta(X)\Theta(X)a_t$$

Em que  $\phi(X)$  e o operador autorregressivo (AR) de ordem  $p$ ,  $\theta(X)$  e o operador médias móveis (MA) de ordem  $q$ ,  $\Phi(X)$  o operador AR-sazonal de ordem  $P$ ,  $\Theta(X)$  e o operador MA-sazonal de ordem  $Q$ ,  $\Delta^d$  e o operador diferença,  $\Delta_{12}^D$  e o operador diferença sazonal e  $a_t$  e o componente aleatório.

### 2.3.4 Método de Box & Jenkins

Basicamente, a metodologia Box & Jenkins assume que qualquer série temporal estacionária  $Y_t$  pode ser modelada parcimoniosamente por uma classe de modelos lineares. A aplicação do método a uma série qualquer é feita em quatro etapas distintas, a saber:

- a) **Identificação** - Consiste em descobrir qual dentre as várias versões dos modelos de Box Jenkins, sejam eles sazonais ou não, descreve o comportamento da série. A identificação do modelo a ser estimado ocorre pelo comportamento das ACFs e PACFs e seus respectivos correlogramas. Outros detalhes referentes à obtenção dessas funções e a quais comportamentos representam os modelos anteriormente abordados podem ser encontrados em (MAKRIDAKIS et al., 1998).
- b) **Estimação** - Consiste em estimar os parâmetros  $\varphi$  e  $\Phi$  do componente auto regressivo, os parâmetros  $q$  e  $Q$  do componente de médias móveis e a variância de  $\varepsilon_t$ .
- c) **Verificação** - Consiste em avaliar se o modelo estimado é adequado para descrever o comportamento dos dados. GUJARATI (2000).

Caso o modelo não seja adequado, o ciclo é repetido, voltando-se à fase de identificação. Um procedimento muito utilizado é identificar não só um único modelo, mas alguns modelos que serão então estimados e verificados. Quando se obtém um modelo satisfatório, passa-se para a última etapa da metodologia de Box-Jenkins, que trata da realização de **previsões**.

### 3- MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada procurando explicar através da análise do índice de calor para dados macroclimáticos de Cuiabá, MT a aplicação do modelo ARIMA. Para isso a pesquisa foi conduzida em quatro procedimentos metodológicos: a) pesquisa bibliográfica, conceitual e documental; b) obtenção dos dados c) correção das falhas; d) calculo do índice de calor e) análise dos dados.

Os procedimentos foram desenvolvidos na linguagem R, no ambiente de desenvolvimento Jupyter Notebook, utilizando os computadores disponibilizados em nuvem pela Sage na aplicação CoCalc.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LÓCUS DE PESQUISA

Na pesquisa foram coletados os dados de temperatura mensal e umidade relativa do ar no período de janeiro de 1961 a junho de 2018, os dados foram obtidos no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo).

Os dados meteorológicos obtidos junto ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia estão no formato digital TXT (arquivos de texto que possuem somente caracteres simples sem a presença de caracteres especiais) no endereço eletrônico: <http://www.inmet.gov.br>. A estação Cuiabá - MT (OMM: 83361) está localizada na Latitude (graus): -15.61 Longitude (graus): -56.1 Altitude (metros): 145.00 no município de Várzea Grande. Esta estação está operante desde 1911, porém o banco de dados meteorológicos do INMET tem em seu acervo digital disponibilizado informações diárias coletadas a partir de 1961.

Segundo as informações disponíveis no site do INMET O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foi criado pelo Decreto 7.672 do presidente Nilo Peçanha, em 18 de novembro de 1909, com o nome de Diretoria de Meteorologia e Astronomia, órgão do Observatório Nacional, vinculado ao Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio. Ao longo de sua trajetória, o Instituto passou por várias denominações até chegar a Instituto Nacional de Meteorologia (Lei 8.490, de 19 de novembro de 1992), órgão da administração direta do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Na capital mato-grossense, as observações meteorológicas iniciaram-se no Observatório Dom Bosco, ligado a Missão Salesiana. Idealizado e fundado no início do século passado pelo salesiano coadjutor Prof. Silvio Melanese, consolidou-se como

posto de observação com os trabalhos do Padre Ricardo Remeter. Após a morte deste, em 1965, assumiu o observatório o mestre Jorge Bombled, que já fazia parte da equipe comandada por Remeter. (BOMBLED, 1976).

O comércio dependia do rio Cuiabá. Interessavam os comerciantes pela precipitação a fim de saber o dia da chegada das mercadorias, pois somente a via fluvial era o meio de transporte, dependente da abundância das chuvas, que engrossavam as águas dos rios. Não existia em nossa Capital, funcionando regularmente, observatório meteorológico antes da chegada dos missionários salesianos em fins do século XIX. No Observatório, à maneira da didática dombosquina, viam-se o barômetro, o termômetro, o anemômetro, o evaporímetro, mas também eram vistas bolas de costura, instrumentos de esporte, que proporcionavam a alacridade juvenil do oratório festivo (DORILEO, 2013).

De 1901 até 1940, os instrumentos meteorológicos ficaram expostos no pátio gramado do atual Colégio Salesiano São Gonçalo, no centro da cidade de Cuiabá. De 1941 a 1966, os instrumentos ficaram expostos em um terraço do Colégio como mostra a FIGURA 08. (SILVA, 2015).



FIGURA 08: Terraço do Colégio São Gonçalo Cuiabá/MT. FONTE: Silva (2014)

Desde 1911 o Observatório Dom Bosco integra a Rede Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura. O Observatório Dom Bosco funcionou até 1966, quando a responsabilidade da coleta ficou a cargo do 4º Distrito Meteorológico, hoje o 9º Distrito ligado ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) conforme mostra FIGURA 09. (BOMBLED, 1976).



FIGURA 09: Estação 9º Distrito de Meteorologia de Várzea Grande/MT. Fonte: Silva (2014)

É importante ressaltar que em alguns meses/anos não existem registros dos dados no site, surgindo assim à necessidade de aquisição de dados de outra estação que se localize nas proximidades para o de preenchimento das falhas.

Neste caso utilizou-se a estação do aeroporto Marechal Rondon mostrada na FIGURA 10 e operada pelo ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), que dispunha de dados referentes ao período de 1964 a 2017. Esses dados foram obtidos de forma digital no endereço eletrônico: <http://www.icea.gov.br>. A estação está localizada na Latitude (graus): 15.39 S, Longitude (graus): 56.07 w, Altitude(metros): 185.



FIGURA 10: Localização da Estação Marechal Rondon Várzea Grande/MT. Fonte: Silva (2014).

### 3.2 SELEÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO

As variáveis disponíveis nas bases de dados utilizadas restringiram nossas possibilidades de escolha do índice de conforto. No caso, as bases de dados apresentavam falhas muito longas de variáveis como velocidade e direção do vento, precipitação, radiação solar e outros. Tendo uma série mais completa das variáveis de temperatura e umidade e sendo possível corrigir as falhas, optamos pelo Índice de Calor como referente a ser calculado.

### 3.3 – CORREÇÃO DE FALHAS

Uma estação meteorológica ao ser instalada deve ser representativa da região, podendo abranger um raio de até 100 km, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (BLAINSKI et al., 2012). Porém, muitas localidades apresentam características do relevo distintas, com serras, planaltos e planícies. Esta distinção configura uma variação climática relevante em áreas inferiores a um raio de 100 km, gerando a necessidade de uma maior quantidade de estações meteorológicas instaladas na área, a fim de gerar dados mais representativos.

Além da dificuldade em se obter séries históricas de dados meteorológicos, usualmente são encontradas falhas nestes registros, que se deve basicamente a ausência de observador, falhas nas estações automáticas e na transmissão dos dados (OLIVEIRA et al., 2010).

Neste trabalho para a preenchimento das falhas contidas nos dados do INMET utilizou-se o método de regressão robusta entre os dados do INMET e os dados do ICEA. Uma análise de regressão robusta pode ser realizada de forma a determinar as correlações entre duas ou mais variáveis que mantenham relações de causa-efeito, realizando previsões utilizando a relação (UYANIK; GÜLER, 2013). No caso da regressão linear simples, os valores para se deduzir se baseiam em apenas uma variável. A equação abaixo define a regressão linear simples:

$$\gamma = \alpha + \beta x$$

Onde  $\gamma$  é a variável dependente,  $\alpha$  é o coeficiente linear,  $\beta$  o coeficiente angular e  $x$  a variável independente. Para calcular os coeficientes foram utilizadas as equações:

$$\alpha = \frac{\Sigma x^2 \Sigma \gamma - \Sigma (x \cdot \gamma) \Sigma x}{n \Sigma x - \Sigma (x)^2}$$

$$\beta = \frac{n\Sigma(x\gamma) - \Sigma x\Sigma\gamma}{n\Sigma x - \Sigma(x)^2}$$

No caso, devido a possível presença de valores atípicos (outliers) optou-se por uma regressão robusta para o preenchimento de falhas tendo como variáveis independentes as leituras feitas na estação do aeroporto. Os dados ausentes remanescentes foram estimados pelo filtro de Kalman.

O Filtro de Kalman surgiu em 1960 fruto do trabalho desenvolvido por R. E. Kalman. O autor apresentou uma solução para o problema de filtragem de dados discretos coberta anteriormente pela solução de Wiener que apresentava ainda algumas lacunas como o facto do algoritmo não ser recursivo o que tornava a sua implementação prática complexa. O Filtro de Kalman combina todas as medidas disponíveis e em conjunto com conhecimento à priori de modo a produzir uma estimativa óptima das variáveis de estado (XAVIER, 2011). Como exemplo, temos em Carvalho (2011), em seu trabalho “Uso do filtro de Kalman para correção da temperatura estimada pelo modelo Precip no período de 2000-2010”.

Este procedimento foi desenvolvido com base em trabalhos anteriores. A estimativa parte, recursivamente, de modelos gerais, no nosso caso, o SARIMA, para estimativa das séries fracionadas, compondo ajustes conjuntos que, por princípio, tende a estar mais perto dos valores reais do que as medições iniciais. A Figura 11 mostra a estrutura geral do Filtro de Kalman e suas duas fases: (a) predição e (b) correção. (CRUZ, 2013).

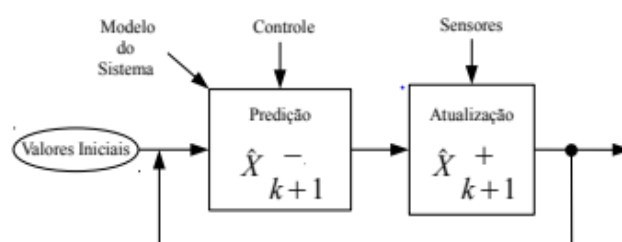


FIGURA 11: Estrutura Geral do Filtro de Kalman. FONTE: Cruz (2013).

Este processo foi realizado para preencher as falhas encontradas nos dados de temperatura e umidade do site do INMET e ICEA.

### 3.4 – CÁLCULO DO IC

Para os processamentos, utilizou-se uma biblioteca, em código aberto, desenvolvida em R, construída especificamente para o cálculo do IC conforme descrito

no trabalho “Métodos para calcular o índice de calor como uma métrica de exposição em pesquisa de saúde ambiental.” (ANDERSON et al.;2013). No qual eles investigaram diferentes algoritmos de calor encontrados na literatura para determinar se algoritmos diferentes geram valores de índice de calor que são consistentes com os conceitos teóricos de temperatura aparente e se algoritmos diferentes geram valores de índice de calor similares.

Embora os estudos ambientais sejam diferentes em como calculam os valores do índice de calor, a maioria dos algoritmos de índice de calor dos estudos gera valores consistentes com a temperatura aparente. Além disso, a maioria dos algoritmos diferentes gera valores de índice de calor intimamente correlacionados. No entanto, alguns algoritmos são potencialmente problemáticos, especialmente em determinadas condições meteorológicas (por exemplo, umidade relativa muito baixa, tempo frio). Para ajudar pesquisadores de saúde ambiental, criou-se um software de código aberto em R para calcular o índice de calor usando os EUA. Algoritmo do Serviço Nacional de Meteorologia.

Anteriormente, os algoritmos eram considerados muito complexos para uso em pesquisas sobre saúde ambiental (Smoyer-Tomic e Rainham, 2001). No entanto, como o software estatístico de código aberto, como o R, é cada vez mais popular na pesquisa, algoritmos complexos agora podem ser implementados com mais facilidade. Com a permissão do NWS, traduziu-se o JavaScript de sua calculadora de índice de calor online (NWS 2011) para uma função R que pode ser aplicada a grandes conjuntos de dados meteorológicos, que incluí no pacote *weathermetrics* R (Anderson e Peng 2013). Disponibilizado através da Comprehensive R Archive Network, com detalhes e exemplos incluídos na vinheta disponível com o pacote *weathermetrics* (<http://cran.rproject.org/web/packages/weathermetrics/index.html>).

### 3.5 CALCULO DO ARIMA

Um dos objetivos principais de uma série temporal é a utilização ou desenvolvimento de um modelo para descrever o fenômeno analisado. Este fenômeno pode ser analisado no domínio do tempo ou da frequência, neste trabalho será analisado no domínio do tempo, e para essa análise os modelos mais usados são os modelos de erro (ou de regressão), os modelos auto-regressivos-médias móveis (ARMA) e os modelos auto-regressivos-integrados-médias móveis (ARIMA) e, para incluir a sazonalidade, utilizam se os modelos ARIMA sazonais (SARIMA).

Neste trabalho, foi utilizada a metodologia de Box-Jenkins (1970) de forma a identificar o melhor modelo de previsão para os dados considerados. Após o preenchimento de falhas e cálculos de índice de calor, para o cálculo do SARIMA seguiu-se o fluxograma abaixo:

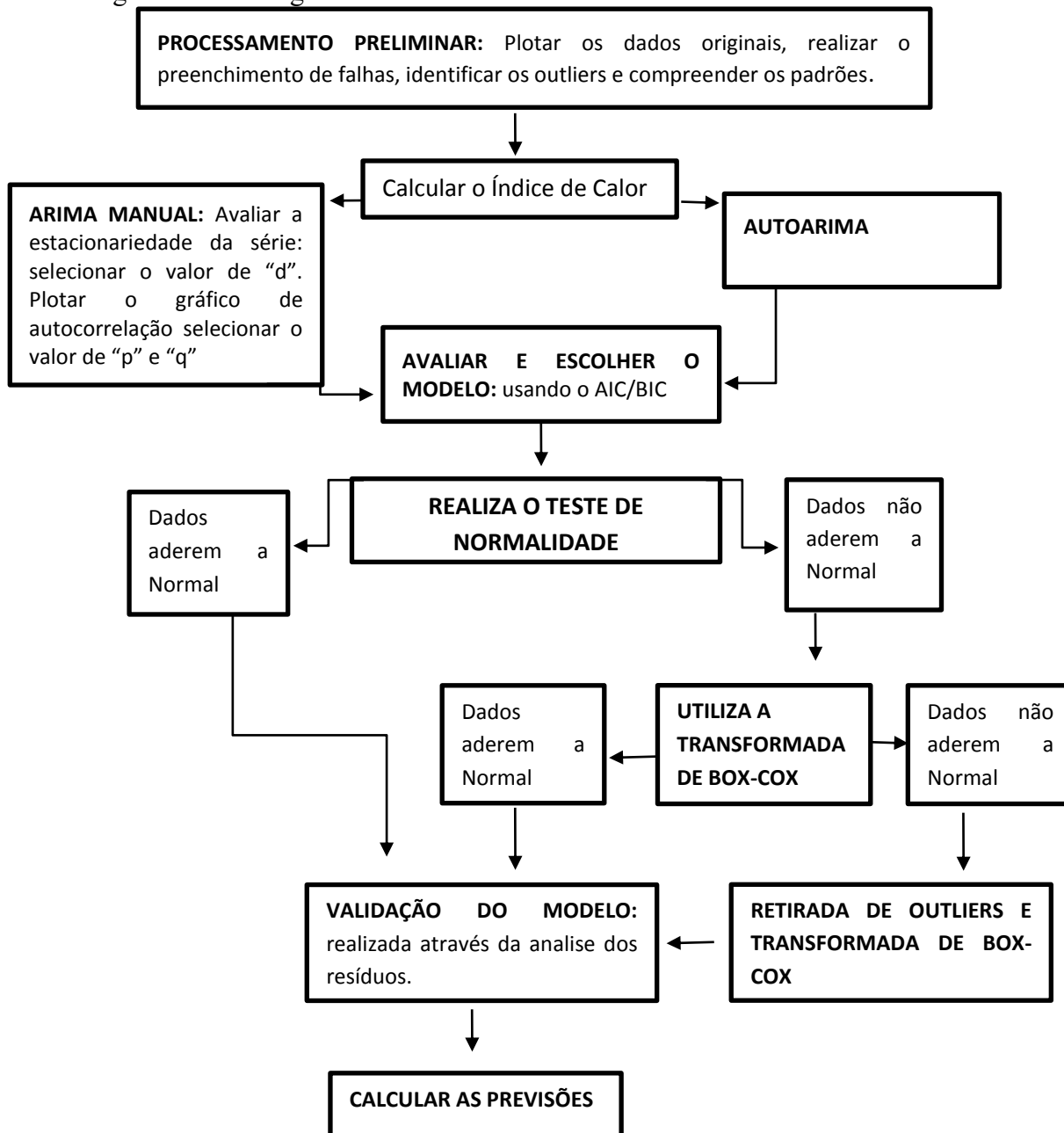


FIGURA 12: Fluxograma utilizado para o calculo do SARIMA.

Este algoritmo orientou a escolha dos procedimentos que, posto as especificidades das bibliotecas utilizadas, e a relação entre esta e os resultados, serão discutidos no próximo capítulo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4,1 - PROCESSAMENTO PRELIMINAR

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva dos dados obtidos tanto pelo INMET como pelo ICEA, para identificar os anos e as médias mensais da temperatura do ar e da umidade relativa do ar na baixada cuiabana nos anos de 1961 a 2018. Para isso, utilizou-se tabelas e gráficos com as médias mensais dessas variáveis. As figuras 13, 14, 15 e 16 dispõem as séries originais, sendo possível observar diversas falhas de coletas, principalmente entre 1990 e 2005.

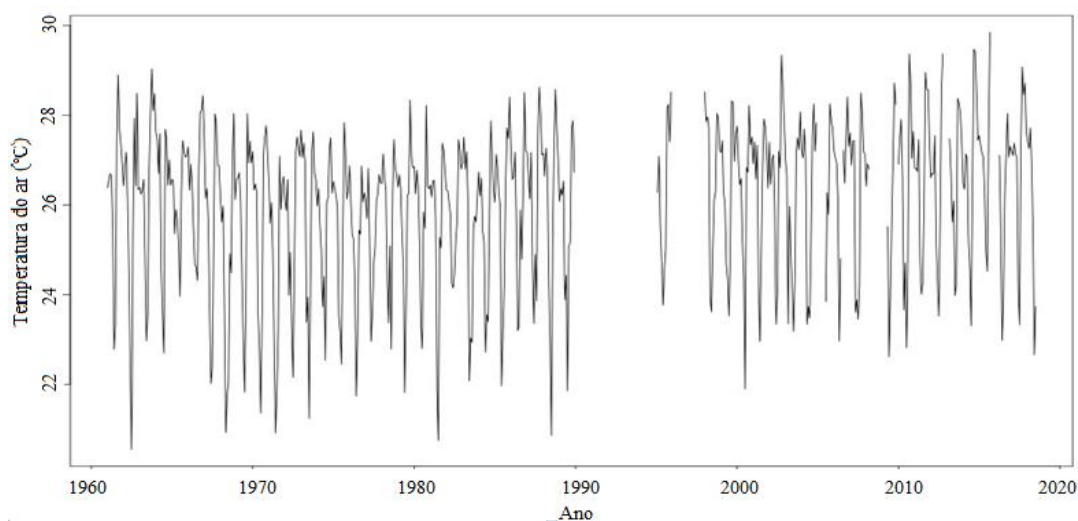


FIGURA 13- Médias mensais da temperatura do ar na estação do INMET em Cuiabá entre 1961 a 2018.

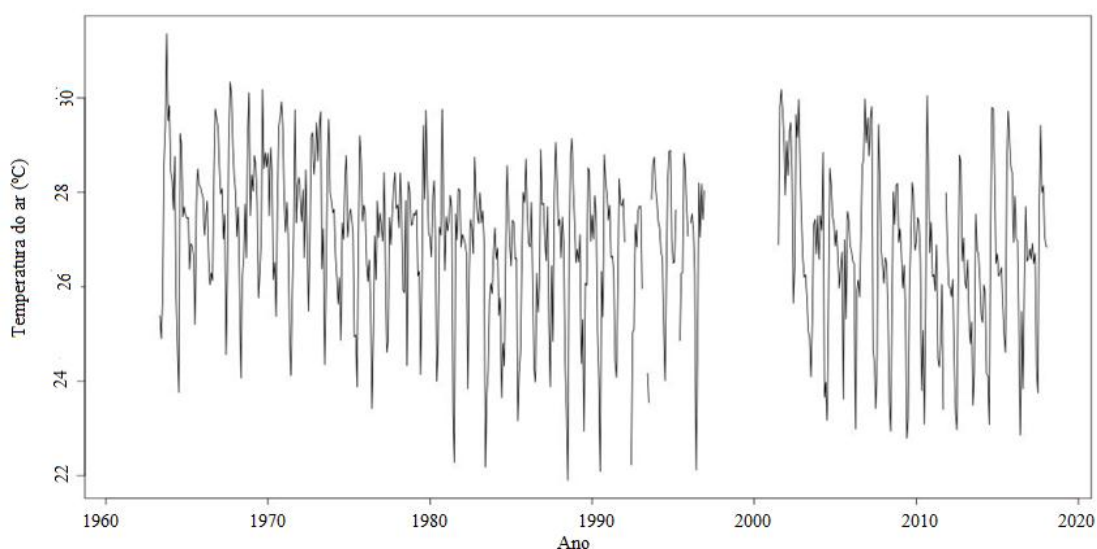


FIGURA 14- Médias mensais da temperatura do ar obtida na estação do ICEA em Várzea Grande entre anos de 1963 a 2018.

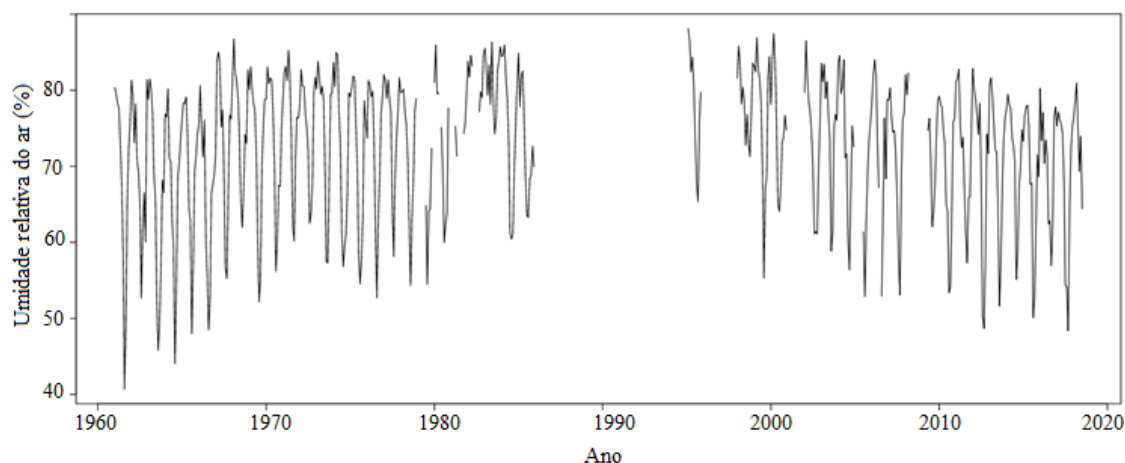


FIGURA 15- Médias mensais da Umidade Relativa do ar na estação do INMET em Cuiabá entre os anos de 1961 a 2018.

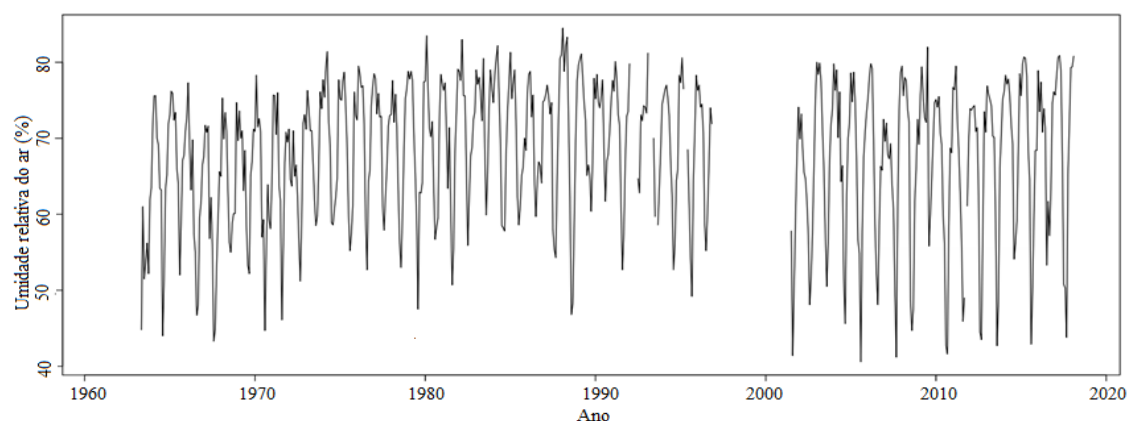


FIGURA 16- Médias mensais da Umidade Relativa do ar obtida na estação do ICEA em Várzea Grande entre anos de 1963 a 2018.

Para o preenchimento das falhas utilizou-se, inicialmente, o método de regressão robusta entre os dados das duas variáveis do INMET (12% de falhas) e do ICEA (13% de falhas). As tabelas 02 e 03 apresentam os resultados dos ajustes, sendo estes altamente significativos.

	<i>Coeficiente S</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>Star t</i>	<i>Valor p</i>
Intersecção	4.39915	0.77383	5.685	2.24e-08 ***
T.- ICEA	0.80588	2.02864	28.142	<2e-16 ***

TABELA 02: Resultado da regressão robusta entre os dados de temperatura do ar obtido na estação do INMET e ICEA entre anos de 1961 a 2018.

	<i>Coeficiente S</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>Star t</i>	<i>Valor p</i>
Intersecção	14.02245	1.56939	8.935	<2e-16 ***
U.R- ICEA	0,86527	0.02302	37.593	<2e-16 ***

TABELA 03: Resultado da regressão robusta entre os dados da Umidade Relativa do ar obtido na estação do INMET e ICEA entre anos de 1961 a 2018.

As falhas remanescentes, cerca 1% do total de registros, foram preenchidas pelo estimador de Kalman (Figura 17 e 18).

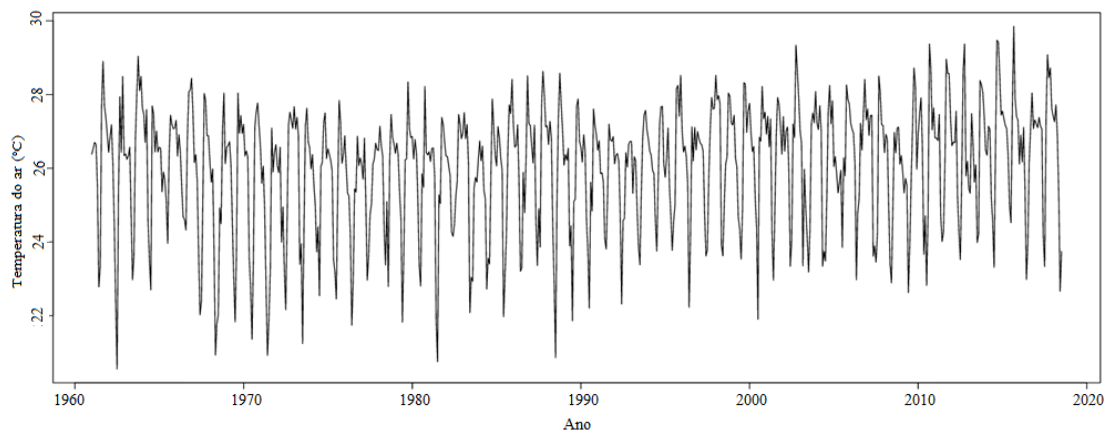


FIGURA 17- Dados de temperatura das estações do INMET e ICEA nos anos de 1961 a 2018 com preenchimento de falhas através da regressão e estimativa de kalman.

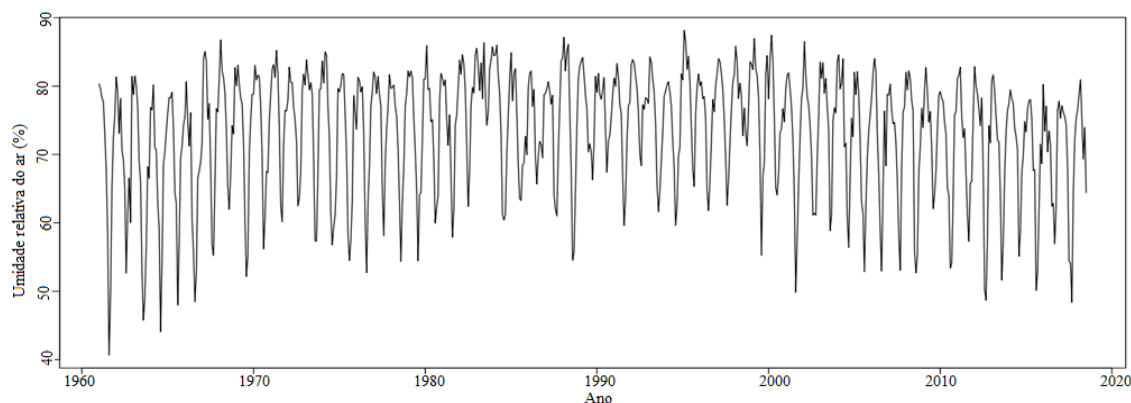


FIGURA 18- Dados de Umidade Relativa do ar das estações do INMET e ICEA nos anos de 1961 a 2018 com preenchimento de falhas através da regressão e estimativa de kalman.

Carvalho et al. (2011), no trabalho, já citado, “Uso do filtro de Kalman para correção de temperatura estimada pelo Precis no período de 2000 – 2010” desenvolveu um filtro de Kalman para corrigir os erros sistemáticos do modelo da estimativa da temperatura média simulada pelo modelo Precis conforme cenários pré-determinados de emissão definido pelo IPCC para o Brasil para os anos de 2000 a 2010. Foi observado que no modelo regional há erros sistemáticos que foram amenizados pela aplicação do filtro implicando em melhoria de previsão da temperatura nacional acima de 9,5% do quadrado médio do erro para todos os anos em média. Para 2004 à 2006 esta melhoria foi acima de 11% para o cenário analisado.

O Índice de calor combina a temperatura e a umidade relativa do ar para representar o quanto quente sentimos realmente.

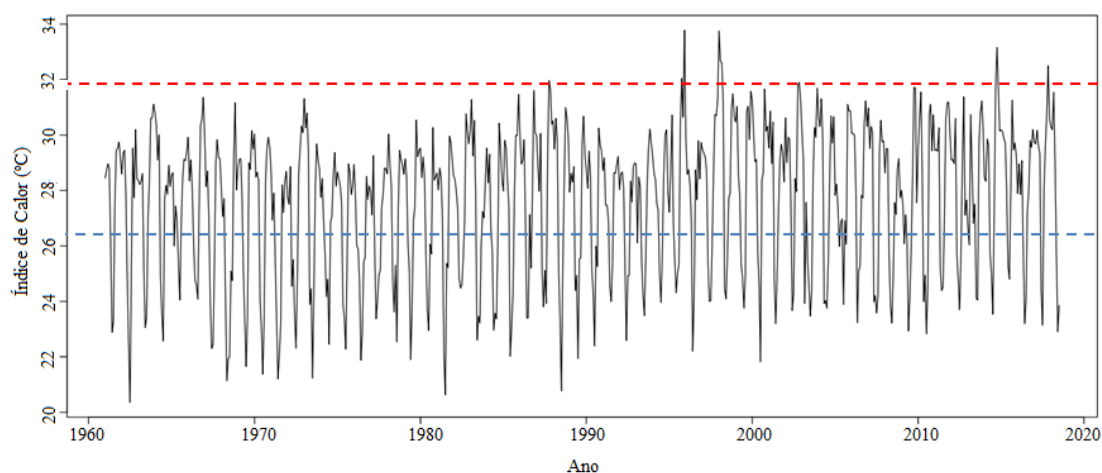


FIGURA19 - Índice de calor obtido com os dados de temperatura do ar e umidade do INMET e ICEA de 1961 a 2018 e linha de referência para limite crítico (vermelho) e média (azul)

Os IC calculados estão presentes na Figura 19, e se encontram, em maioria, entre 22°C a 29°C situações que pedem cautelas, pois é possível que as pessoas expostas sintam fadigas em exposições demoradas e durante atividades físicas. Podemos observar em alguns períodos o índice de calor ficam acima dos 32°C (em 1996, 1998, 2015 e 2018), situações que pedem cautela extrema, pois podem ocasionar câibras, esgotamento e insolação para exposição prolongada e atividade física.

Diniz (2016), analisando o índice de conforto da população de Caicó – RN também escolheu o índice de calor, para a realização do trabalho foram utilizados dados de temperatura máxima mensal do ar e umidade relativa do ar fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referente ao período de 2013 a 2016. Analisando os resultados, observou-se que durante o período estudado o município apresentou altas temperaturas, e uma umidade inversamente proporcional à temperatura, percebendo que os valores de sensação térmica, determinados pelo índice de calor, atingindo uma média de 38,8°C configurando que a população esteve completamente “desconfortável” nesse período avaliado.

Rumel et. al (1993) com o trabalho Infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral associados à alta temperatura e monóxido de carbono em área metropolitana do sudeste do Brasil, foi coletada uma série histórica do número de casos novos de AVC e IM atendidos em Pronto Socorro de um hospital de clínicas e valores de temperatura e monóxido de carbono. Conclui-se que das internações anuais por IM, 2,1% são devidos à poluição atmosférica e 4,9% a altas temperaturas. Das internações anuais por AVC, 2,8% são devidas a altas temperaturas. Não foi identificado associação entre monóxido de carbono e AVC.

Boy (2018) no estudo Influência das variáveis meteorológicas nos óbitos por doenças cardiovasculares no Município do Rio de Janeiro nos anos de 2002 a 2015, utilizou o método de correlação de Pearson para avaliar a associação, entre as variáveis meteorológicas e a taxa de mortalidade por doenças cardiovasculares. Em complemento a Rummel, durante os anos analisados observou-se que os meses com temperaturas mais baixas, correspondem ao período de maior mortalidade. Adicionalmente, observou-se uma forte correlação da taxa de mortalidade por doenças cardiovasculares com a pressão atmosférica e a temperatura e uma fraca correlação com a umidade relativa do ar. Dessa forma, conclui-se que as variáveis meteorológicas podem contribuir com o incremento da mortalidade por doenças cardiovasculares na cidade do Rio de Janeiro.

Após analisar o índice de calor nesta série temporal, realizou-se a sua decomposição por transformada rápida de Fourier, a fim de analisar os efeitos da tendência, sazonalidade e ruídos brancos sobre os dados a serem analisados. A compreensão de qualquer variável a ser estudada é primordialmente importante no entendimento de como será realizado o ajuste do modelo à série temporal, por isso a necessidade de realizar a decomposição (BAYER E CHECHI, 2012).

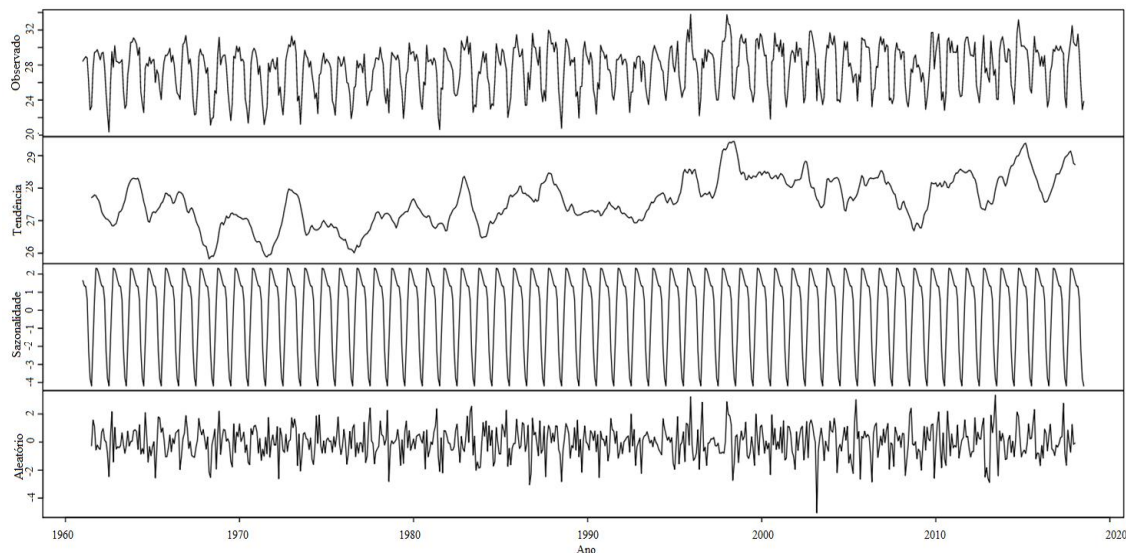


FIGURA 20 - Decomposição por transformada rápida de Fourier da série temporal do índice de calor calculado com os dados obtidos no site do INMET e ICEA para a baixada cuiabana no período de 1961 a 2018.

Ao verificar a decomposição das séries temporais do Índice de calor da baixada cuiabana no período de 1961 a 2018, exposto na Figura 20, é possível observar pela componente tendência, a ausência de tendência significativa na série. E pode se

observar na componente da sazonalidade um comportamento periódico bem definido ao longo do tempo. Como uma das principais fundamentações para que se possa prosseguir com estudos de séries temporais é que a série contenha sazonalidade, então se pode dizer que a série deste estudo se ajusta aos estudos sobre modelos de séries temporais.

## 4.2 - MODELO COM DADOS BRUTOS

Esta, a um primeiro momento, foi avaliada pelo teste de Dickey-Fuller, a identificação que os dados utilizados neste trabalho apresentam o p-valor de 0,01. Com esses resultados rejeitamos a hipótese da estacionariedade e, desta forma, partimos de  $d=1$ .

Dantas (2016) também utilizou os testes da raiz unitária de Dickey-Fuller, na modelagem das séries temporais, encontrando como resultado a estacionariedade da série, comprovando os bons resultados e a importância do uso para se prosseguir com as análises.

Analisando as funções de autocorrelação dos dados buscando quais lags seriam mais explicativos, bem como compreender a ordem das componentes de média móvel, mostrando os resultados dessas análises temos A Figura 21.

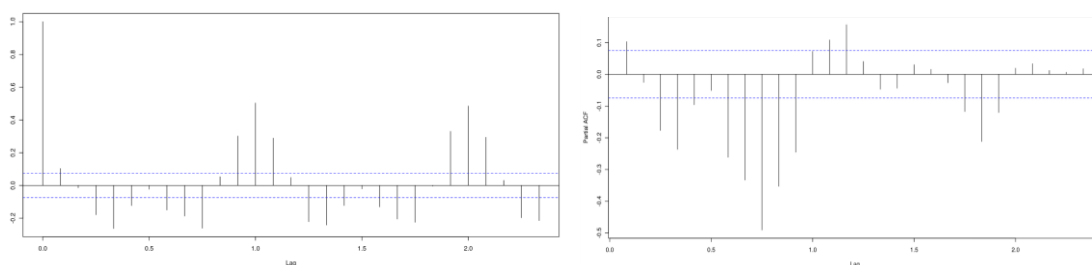


FIGURA 21: Gráficos da FAC (a) e da FACP (b)

Como o ACF cai depois do primeiro lag, podemos partir de  $p = 1-3$ . Para o PACF o  $q$  poderia ser igual a 2, temos, então, um  $ARIMA(p, d, q) = ARIMA(1, 1, 2)$  com os mesmos parâmetros para sazonalidade.

Após a observação das características do modelo da série, ausência de estacionariedade, bem como de tendências significativas, e como consequência a existência de sazonalidade. Começaremos agora outra etapa do método de Box-Jenkins, etapa na qual se analisa a estimação e testes dos melhores modelos, resultando em um modelo final no qual consegue assimilar as características da série, tornando-se ideal na realização de prognósticos.

Abaixo segue o ajuste dos modelos sem e com sazonalidade, sendo esta considerado  $P=p$ ,  $D=d$  e  $Q=q$ . Obtendo um AIC menor para o modelo com sazonalidade.

Série: índice de calor ARIMA (1,1,2)			
	ar1	ma1	ma2
Coef.	-0.2744	0.3753	0.0765
Se Coef.	0.3108	0.3057	0.0477
Sigma ^2 estimado 4.389		Log= 1487.86	
AIC = 2983.72	AICc= 2983.78	BIC = 3001.87	

TABELA 04: Resultados dos ARIMA Manual sem sazonalidade

Série: índice de calor ARIMA (1,1,2) (1,1,2)[12]						
	ar1	ma1	ma2	sar1	sma1	sma2
Coef.	0.5930	-1.3374	0.3538	-0.9781	-0.0084	-0.9405
Se Coef.	0.1312	0.1503	0.1430	0.0489	0.0696	0.0716
Sigma ^2 estimado as 1.513			Log= 1119.62			
AIC = 2253.23		AICc= 2253.4		BIC = 2284.87		

TABELA 05: Resultados dos ARIMA Manual com sazonalidade

Para fins de contraste, utilizou-se de uma rotina chamada auto.arima para seleção automática do modelo de menor. Encontramos o seguinte resultado SARIMA (p, d, q) [s] = SARIMA (1, 0, 0) (0,1,1)[12]..

Série: índice de calor ARIMA (1,0,0) (0,1,1) [12]		
	ar1	ma1
Coef.	0.2988	-0.8859
Se Coef.	0.0375	0.0245
Sigma ^2 estimado 1.592:		Log= 1129.63
AIC = 2265.25	AICc= 2265.29	BIC = 2278.82

TABELA 06: Resultado do auto ARIMA

No caso, obteve um AIC ligeiramente maior, mas com SE menores. Pelo princípio da parcimônia, e sabendo que existe sazonalidade, utilizaremos, de início, o modelo (1,0,0)(0,1,1)[12].

Com o teste de Kolmogorov-Smirnov rejeitou-se a hipótese da normalidade dos dados analisados, apresentando um p-valor de 0,0007%, mas, pela Figura 22, observa-se que também não apresenta comportamento anômalo, o que levou a optarmos para uma segunda rodada de modelagem utilizando a transformação de Box-Cox.

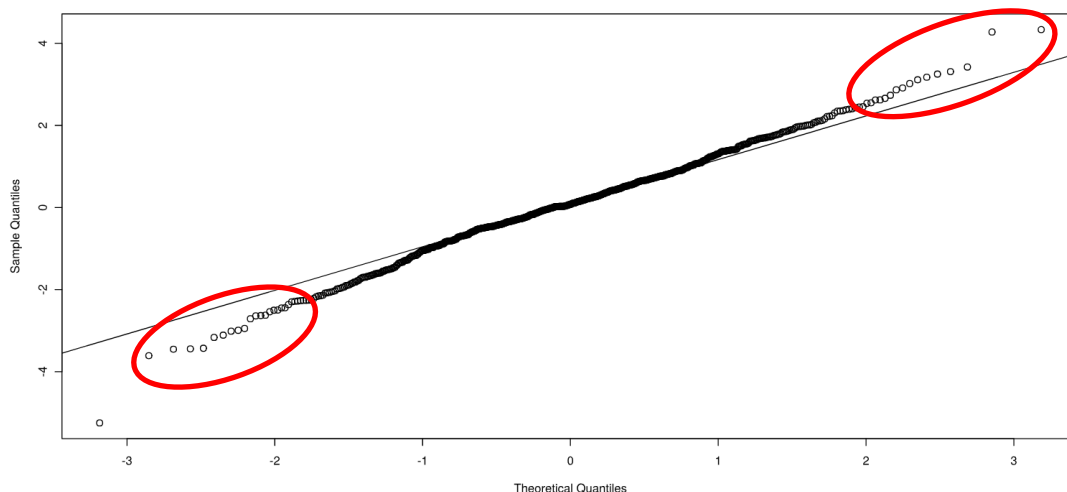


FIGURA 22: Percentis dos resíduos do modelo em relação a distribuição Normal

### 4.3 - MODELO COM TRANSFORMAÇÃO DE BOX-COX

Quando a distribuição normal não se adéqua aos dados, muitas vezes é útil aplicar a transformação de Box-Cox para obtermos a normalidade. É preciso cautela na escolha do método, caso a transformação seja equivocada, pode-se ter mais problemas com a normalidade e homocedasticidade do que utilizando os dados originais. A família de transformações Box-Cox é amplamente utilizada, pois permite identificar a melhor transformação, com base na utilização de um valor  $\lambda$  (*lambda*) que maximize o estimador de máxima verossimilhança e minimize o resíduo. Esse método produz uma transformação da variável resposta (Y) tal que as pressuposições de homocedasticidade e normalidade dos resíduos sejam simultaneamente satisfeitas (COUTO et al., 2009).

Com a transformada de Box Cox, temos um ARIMA(0,0,3)(0,1,1)[12] com um  $\lambda$  -0.7557019, que fez com que melhorasse as estatísticas, mas não a questão da aderência a Normal, sendo observado a presença visual de outliers (Figura 23).

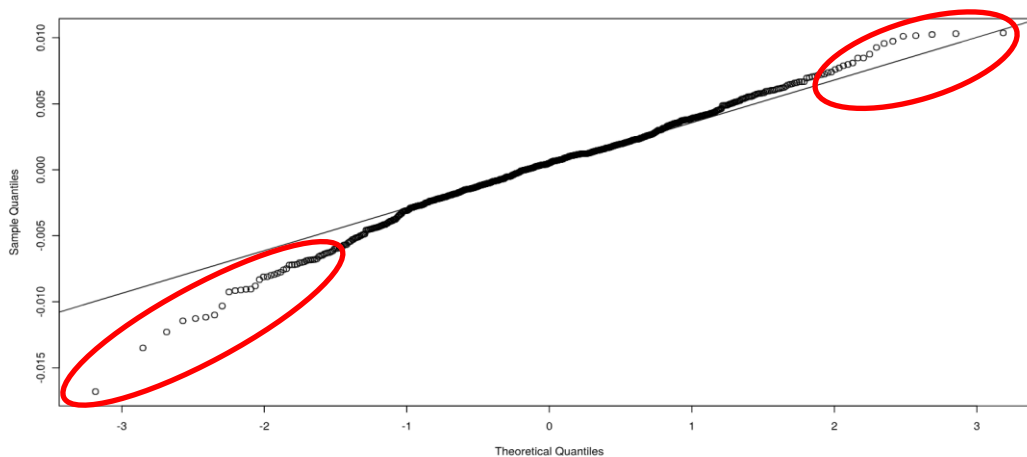


FIGURA 23: Percentis dos resíduos do modelo após transformação de Box-Cox.

Buscou-se estabelecer um modelo mais apropriado avaliando os dados pelo procedimento “tso”, detectando 3 outliers e substituindo pelos dados revelados na estimativa de Kalman. Após a retirada dos outliers mais uma vez buscou estabelecer um modelo que melhor possa ser utilizado para as previsões.

#### 4.4 MODELO COM RETIRADA DE OUTLIERS E TRANSFORMAÇÃO DE BOX-COX

Série: índice de calor ARIMA (0,0,3)(0,1,1)[12]				
Transformação de Box Cox: lambda = -0.9999242				
	ma1	ma2	ma3	sma1
Coef.	0.2002	0.1088	0.1215	-0.8820
Se Coef.	0.0387	0.0384	0.0354	0.0254
Sigma ^2 estimado 2.924e-06: Log= 3357.52				
AIC = -6705.05	AICc= -6704.96	BIC = -6682.44		

TABELA 07: O valor de  $\lambda$  (*lambda*) encontrado após retirada de outliers e transformada de Box Cox para os dados do índice de calor dos anos de 1961 a 2018 calculados para cidade de Cuiabá com os dados retirados do INMET e ICEA.

#### 4.5 - VALIDAÇÃO

O modelo obteve um AIC muito menor que os anteriores, sendo submetido a uma avaliação mais ampla da qualidade do ajuste, apresentaram as estatísticas de validação dispostas na tabela 04.

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Testes	0.1363298	1.224619	0.9656494	0.3129586	3.533359	0.7250706	0.05420163

TABELA 08: Apresentação do intervalo de confiança do AIC por bootstrap com 1000 reamostragens.

BOOTSTRAP CONFIDENCE INTERVAL CALCULATIONS			
Based on 1000 bootstrap replicates			
CALL:			
Boot.ci(boot.out = boot_ajuste_auto_bc_outliers)			
Intervals:			
Level	Normal	Basic	Percentile
95%	(-7480, -7281)	(-7475, -7272)	(-6124, -5921)
Calculations and Intervals on Original Scale			

TABELA 09 – Intervalos de confiança do AIC no modelo final

#### 4.5 - PREVISÃO

Identificado o modelo característico da série temporal, o próximo passo foi calcular as previsões para os três meses seguintes (Tabela 05 e Figura 29). O ajuste para série completa pode ser observado na Figura 30.

	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Ago. 2018	26.32144	24.88637	27.93213	24.18826	28.86725
Set. 2018	28.96827	27.20736	30.97287	26.35915	32.15062
Out. 2018	30.73677	28.75116	33.016698	27.80045	34.36659

TABELA 10 – Previsões e intervalos de confiança do IC (80% e 95%) para 08-10/2018

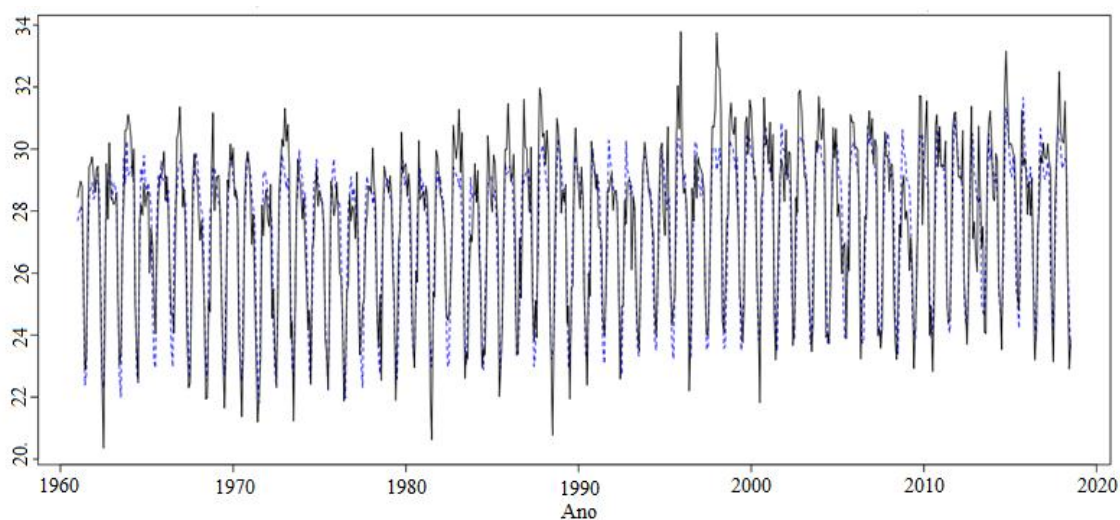


FIGURA 24: Gráfico com os valores reais (linha preta) e ajustados (linha azul) pelo modelo SARIMA(0,0,3)(0,1,1)12

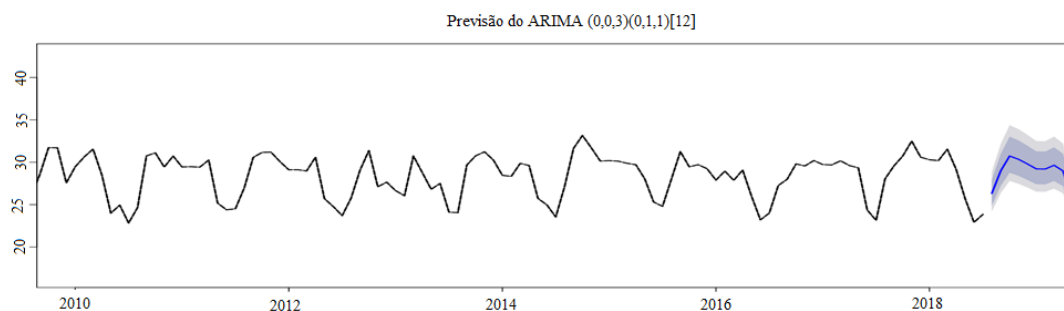


FIGURA 25: Recorte da série temporal (linha preta), 10/2010-07/2018, com previsões para 08-12/2018 (linha azul) e intervalos de confiança de 95% (área azul escura) e 99% (área cinza).

## 5 – CONCLUSÃO

A previsão de séries temporais de variáveis meteorológicas relacionadas a conforto ambiental, em especial para ambientes externo se encontra em evolutivo aprimoramento, por causa da necessidade de desenvolver modelos confiáveis. Por ser uma necessidade para um bom planejamento urbano, diversas metodologias estão sendo desenvolvidas e elaboradas para a melhoria da previsão.

Em relação ao índice de conforto selecionado neste trabalho, conclui-se que é preciso um olhar atento ao índice de calor observado para a baixada cuiabana, pois os mesmo se encontram em situação que pedem cautelas, pois é possível que as pessoas expostas sintam fadigas em exposições demoradas e durante atividades físicas, e em alguns casos cautela extremas, pois podem ocasionar câibras, esgotamento e insolação para exposição prolongada e atividade física comprometendo assim a qualidade de vida e conforto da população. Com essas informações, conclui-se que a população esteve em situações —desconfortáveis” durante vários intervalo do tempo estudado.

No trabalho bem questão, a metodologia foi desenvolvida com o intuito de conseguir fazer previsões adequadas utilizando o modelo matemático SARIMA. Com os resultados descritos observa-se que este trabalho obteve resultados satisfatórios para previsão de índices de calor na baixada cuiabana e que esses dados podem ser melhorados e complementados, sugerindo assim trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, G. B.; BELL, M. L.; PENG, R.D. **Métodos para calcular o índice de calor como uma métrica de exposição em pesquisa de saúde ambiental.** Perspectiva de saúde do ambiente. 2013 Oct; 121 (10): 1111-9. doi: 10.1289 / ehp.1206273. Epub 2013.
- ANDRADE, L. P.; NOVAIS, J. W. Z.; DE MUSIS, C, R.; SANCHES, L.; PEREIRA, S. P. Efeitos de borda sobre o microclima de um Parque Ecológico Urbano em Cuiabá-MT. **Estudo & Debate** (Online), v. 23, p. 180, 2016.
- ANTUNES, J. L. F. Uso da análise de séries temporais em estudos epidemiológicos. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, p. 565-576, 2015.
- AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. **Thermal comfort.** Brisbane: Plea International/ Department of Architecture, The University of Queensland, 1997.
- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os Trópicos.** 3º ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 1991.
- BARBIERO, C. C. M. **Séries temporais: um estudo de previsão para a receita operacional da ECT - Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 2003.
- BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios. Maceió: **EDUFAL**, 154, 2007.
- BAYER, F. M., CHECHI, L., Modelos univariados de séries temporais para previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1321-1329, 2012.
- BARROS, J. R; ZAVATINI, J. A. Bases conceituais em climatologia Geográfica. Mercator - **Revista de Geografia da UFC**, ano 08, número 16, 2009.
- BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L. H. P.; ANTUNES, E. N. Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação. Florianópolis: Epagri, 43p. (**Epagri. Documentos**, 240), 2012.
- BIER, A. A; FERRAZ, S. E. T.; Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil - **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, 215-226, 2017.
- BIUDES, M. S; FRANCO, F. M; NOGUEIRA, M. C. de J. A; PINTO JÚNIOR, O. B; NOGUEIRA, J. S. Traçado urbano e sua influencia no Microclima: Estudo de caso em Centro histórico. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, p. 1916-1931, 2013.

BOMBLED, J. **Meio século de meteorologia**. Gráfica Universitária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 1976. 74p.

BOTARI, J.C. et al. Estudos Ambientais Urbanos: estimativa de conforto térmico no entorno do cemitério de Umuarama – PR. XVII Safety, **Health and Environment World Congress** 125 July 09-12, 2017, Vila Real, Portugal, 2017.

BOX, G. E. P., JENKINS, G. M., & REINSEL, G. C.. Time series analysis: Forecasting and control, **Englewood Cliffs**, NJ: Prentice Hall Inc. ,1994.

BRASIL. Decreto nº 2.652, de 01 de julho de 1998. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. In: SENADO FEDERAL (Ed.). Protocolo de Quioto e legislação correlata. Brasília: Secretaria Especial de Editoração e Publicações, p. 65-88. (**Coleção Ambiental**, 3). 2004.

BROWSE, J. & XIN, Z. 2001. **Temperature sensing and cold acclimation**. Current Opinion in Plant Biology 4: 241-246.

COSTA, J. E. F. M. **Estudo da influência da área verde no clima urbano: O caso do parque Mãe Bonifácia em Cuiabá/MT**. 1999, 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia), Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá/MT, 1999.

COUTO, H. A. Ergonomia aplicada ao trabalho: o manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte: **Editora Ergo**, v.1, 353p. 1995.

CHATFIELD, C. **Time-series forecasting**. Chapman and Hall/CRC . 2002.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. D. **Uso do filtro de Kalman para correção de temperatura estimada pelo Precipitação no período de 2000 – 2010**. Campinas: (Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Embrapa Informática Agropecuária, ISSN 1677-9274; 29) 20 p.: il. 2011.

CAVALCANTE, F. M. S.; ANJOS, M, B. I.; FIGUEIREDO, M. L.; SOUSA, V. A.; NOGUEIRA, V. F. B. **Análise do Índice de calor e desconforto térmico na cidade de Caicó-RN**. II CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO. 08 a 10 de Novembro de 2017. Campina Grande – PB. 2017.

COUTO, M. R. M.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J.; CARPES, H. Transformação de dados em experimentos com abobrinha italiana em ambiente protegido. **Ciência Rural** 39: 1701-1707. 2009.

CRUZ, M.S.; Orientador: Prof. Dr. Carlos H. Llanos Quintero. **Implementação de um filtro de Kalman estendido Arquiteturas reconfiguráveis aplicado ao problema de localização em Robótica móvel**. Dissertação de Mestrado. Publicação: ENM.DM - 058 A/13 Brasília, 5 de Abril de 2013.

DANTAS, L.G. **Modelagem Box-Jenkins para prognósticos de precipitação sob o Estado da Paraíba**. Dissertação (mestrado em meteorologia) Universidade Federal da Campina Grande, Centro de tecnologia e Recursos Naturais, 2016.

DELWORTH, T. L. et al. Changes in heat index associated with CO<sub>2</sub>-induced global warming. **Climatic Change**, v.43, p.369- 386, 1999.

DORILEO, B. P. 50 anos de meteorologia. Diário de Cuiabá. Cuiabá. Edição nº13698 de 12/09/2013. Disponível em:  
<http://www.diariodecuiaba.com.br/detalhe.php?cod=438480> acessado em: 19/07/2018.

EHLERS, R. S. Análise de Séries Temporais. Curso de Séries Temporais. Agosto de 2009 e 2011.

EPAGRI - **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina** (1998). Índice de calor e sensação térmica. Florianópolis. Disponível em:  
[http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1498&Itemid=661](http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1498&Itemid=661). Acessado em 12/12/2018.

FERREIRA, J. S. Climatologia: aportes teóricos, metodológicos e técnicos. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, V.1, N.5, p.766 – 773, 2012

FRANÇA, M. S. et al. Estimativa de índices de conforto térmico na cidade de Cuiabá-MT. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 55, p.141-151, set. 2015.

FROTA, A .B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5º ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7º ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 6º ed São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO. Segurança e Medicina do Trabalho. Santa Catarina. Disponível: [www.fundacentro.sc.gov.br/calor/prev\\_ic.php](http://www.fundacentro.sc.gov.br/calor/prev_ic.php) - 41k. Acesso: 03/09/2008.

GREGORCZUK, M.; CENA, K. Distribution of effective temperature over the surface of the earth. **International Journal of Biometeorology**, v.11, n.2, p.145-149, 1967. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01426841> acesso em: 15 de ago. 2018.

GUJARATI, D. M. **Econometria básica**. 3. ed. São Paulo: Ed. Makron books, 2000.

KRÜGER, E.; ROSSI, F.; DRACH, P. Calibration of the physiological equivalent temperature index for three different climatic regions. **International Journal Of Biometeorology**, v. 61, p. 1323-1336, 2017.

LAMOUNIER, W. M. Tendência, ciclos e sazonalidade nos preços spot do café brasileiro na NYBOT. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 13-23, jan.-abr. 2007.

LATORRE, M. R. D. O.; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Rev. Bras. Epidemiologia**. Vol. 4, Nº 3, 2001.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba** – PR. 172 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: IGEOG/USP, 1971.

MACHADO, N. G.; FRIEDLANDER, V. A.; SANCHES, L.; BIUDES, M. S. Temperatura e Umidade Relativa do Ar na estação seca em diferentes usos do solo no Campus Cuiabá – Bela Vista do IFMT. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v(9), nº 9, p. 2018-2025, FEV, 2013.

MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P.; LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em Cuiabá/MT: uma abordagem de clima urbano. 3º Encontro Nacional de Estudos do Meio Ambiente. **Anais**. Londrina – PR: Universidade Estadual de Londrina, 1991.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá – MT**. 1994. 204 p. Tese (Doutorado em Geografia), Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1994..

MAITELLI, G. T. Crescimento urbano e tendências climáticas em Cuiabá-MT: Período 1920/1992. Ano 02 n. 01 e 02 Dez. 1996/1997. Cuiabá: Editora Universitária. **Revista Matogrossense de Geografia** - Departamento de Geografia. Instituto de Ciências Humanas e Sociais - Universidade Federal de Mato Grosso. 1998.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting: methods and applications**. 3a. Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

MILLS, G.; CHAPTER: Introduction. In Ng, E. e Ren, C. (Editors). *The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning* (1ª ed., p. 3-9). New York: Taylor & Francis Group. 2015.

MONTEIRO, C. A. F. Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1971. 21 p. (**Série Climatologia** nº 1)

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 535 p., 2004

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**, Ed. Blucher, 2006.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 535 p., 2006

NERY, J. M. F. G.; ANDRADE, T. C. Q.; FREIRE, T. M. M. Conforto térmico em Salvador: o índice PET e sua abordagem projetual. **Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 7, p. 70-77, 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p. 2ed.

NÓBREGA, R. S.; LEMOS, T. V. S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia**, Recife, v. 28, n. 1, p.93-109, 2011.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

OLIVEIRA JÚNIOR et al. Índice de desconforto e índice de Temperatura efetiva: Uma Implementação para Smartphones e Tablets. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 30, n.2, p.155-163, abril-junho, 2015.

OLIVEIRA, M. C. A. **Os primeiros estudos sobre conforto termico no Brasil: a contribuição de Paulo Sa**. 2003. 153p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257741>>. Acesso em: 4 ago. 2018.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 440p. 1981.

PEREIRA, B. B. **Séries Temporais Multivariadas**. In: Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 6º, rio de Janeiro,1984. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 219 p. 1984.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1633-1644 p. 2007.

PICONE, N. Y.; CAMPO, A. M. Comparación urbano-rural de parámetros meteorológicos en la ciudad de Tandil, Argentina. **Revista de Climatologia**, Vol. 14 13-23 2014.

REIS, M. M.. **Estatística Aplicada à Administração**. 1. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração - Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. v. 1. 280p .

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N; AMBRIZZI. T.; ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática** 8(1):34-50, 2012

ROSSETI, K. A. C.; BARBIRATO, G. M.; DE MUSIS, C. R. ; NOGUEIRA, M. C. J. **A. Estudo do desempenho de coberturas verdes como estratégia passiva de condicionamento térmico dos edifícios na cidade de Cuiabá/MT.** CUIABÁ MT: EdUNIC, 2010, v. 2, p. 83-104.

SALISBURY, F. B. & ROSS, C. W. 1991. **Plant Physiology.** 4th ed. California; Wadsworth Publishing Company, 1991. 682p.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. Variabilidade e mudanças climáticas: **implicações ambientais socioeconômicas.** Maringá: Eduem, 2000.

SANT'ANNA NETO, J. L. A análise geográfica do clima: produção de conhecimento e considerações sobre o ensino. *Geografia - Volume 11 - Número 2 - Jul/Dez. 2002*

SANTOS, F. M. M. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá/MT: estudo de caso.** 2008. 117f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

SANTOS, F. M. M. Clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil: ocupação do solo e suas influências. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria. v. 12 n. 12 ago. 2013

SANTOS, F. M. M.; OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; DE MUSIS, C. R.; NOGUEIRA, J. S. Análise do clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil por meio de transectos móveis. **Paranoá**, Brasília, nº 11, p. 45-54, 2014.

SILVA, P. C. P. **Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em visualdoe.** Dissertação (Mestrado em engenharia civil), Universidade do Porto, Portugal. 2002.

SILVA, M. P. **Ritmos e Ciclos no clima local nas cidades de Cuiabá/Várzea Grande/MT: Uma Análise Secular.** (1912 a 2012), 2015 210f. TARIFA, José Roberto Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Mato Grosso Campus de Rondonópolis Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2015

SILVA, M. P.; TARIFA, J. R. Ritmos e Ciclos no clima local nas cidades de Cuiabá/Várzea Grande/MT: Uma Análise Secular (1912 a 2012). **Biodiversidade - V.16, N2**, 2017.

SILVA & STRECK. Tendências das séries históricas do índice de calor no município de Santa Maria. **Ciência Rural**, v.44, n.8, ago, 2014.

STEINKE, E. T. **Climatologia Fácil.** – São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SOUZA, R. C. Modelos estruturais para previsão de séries temporais: abordagens clássica e bayesiana. 1. ed. Rio de Janeiro: **Editora do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA)**, 1989.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal design of buildings**. Australia, Raia Education Division 2a Mugga Way Red Hill ACT 2603, 1987.

TAESLER, R. Urban climatological methods and data. In Proceedings of the Technical Conference on Urban Climatology and Its Applications with Special Regard to Tropical Areas (p. 166-197). Mexico City: WMO N. 652. 1986.

TULIO NETO, P. D. Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres [online]. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010.

UGEDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia**, Volume Especial, 160-173, 2016.

UYANIK, G. K.; GÜLER, N. A study on multiple linear regression analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2013. v. 106, n. 0, p. 234 – 240, 2013.

VASCONCELOS, L. C. S. **Os efeitos da urbanização no microclima do bairro Morada da Serra, Cuiabá/MT**. Cuiabá. Dissertação apresentada ao Programa de Pósgraduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal de Mato Grosso. 2009.

VERNON, H. M.; WARNER, C. G. The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. *J. Hyg. Camb.*,v. 32, p. 431-462, 1932. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/epidemiology-and-infection/article/influence-of-the-humidity-of-the-air-on-capacity-for-work-at-high-temperatures/4B67BF7082467428B4BEB9E23F676750> [accessed agosto 15 2018].

VILARINHO NETO, C. S. Cuiabá, Metrópole Regional no portal da Amazônia Meridional. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, v. 14, p. 97-112, 2009.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos boxjenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. **Gestão e produção**: v.10, n.1, p.47-67, abr. 2003.

WOLLMANN, C. A. O clima do Rio Grande do Sul no Verão: Análise sobre a circulação atmosférica regional e os principais tipos de sucessão do tempo em três casos típicos. **Geografia, Ensino e Pesquisa**, v 13, p. 33 – 43. 2009.

XAVIER, J. E. S. C. **Aplicação do Filtro de Kalman na correção de dados provenientes de um sistema de Localização baseado em RFID**. Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO. February 2011

XAVIER, A. A. de P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º Grau na região de Florianópolis**. Florianópolis, 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. 1999.

## APÊNDICE – CÓDIGO DO PROGRAMA R UTILIZADO NAS MODELAGENS

```

https://cran.r-project.org/web/views/TimeSeries.html
# https://www.datacamp.com/tracks/time-series-with-r
# https://www.datascience.com/blog/introduction-to-forecasting-with-arma-in-r-learn-data-
science-tutorials
# https://www.otexts.org/fpp/8/7

```

```

install.packages('robust')
# install.packages('TSPred')

```

```

library(TSPred)
library(hexbin)
library(robust)
library(imputeTS)
library(tseries)
library(forecast)
library(fUnitRoots)
library(portes)
library(nortest)
library(tsoutliers)
library(boot)

```

```

# T <- read.xls("Dados das estacoes com 2018.xlsx", sheet = 1, header = TRUE, stringsAsFactors
= FALSE)
T <- read.csv("Dados das estacoes com 2018.csv")

```

```

sapply(T, class)
Ano 'integer'
Mês 'integer'
AnoF 'factor'
T_INMET 'numeric'
T_ICEA 'numeric'
UR_INMET 'numeric'
UR_ICEA 'numeric'

```

## ANÁLISE DA TEMPERATURA

### 1- INMET

```

options(repr.plot.width=16, repr.plot.height=8)

T_INMET <- ts(T$T_INMET,start=c(1961,1),f=12)

jpeg("g1.jpg", width = 1000, height = 700)
plot(T_INMET)
dev.off()

```

```
plot(T_INMET)
```

## 2- ICEA

```
T_ICEA <- ts(T$T_ICEA,start=c(1961,1),f=12)
```

```
jpeg("g2.jpg", width = 1000, height = 700)
plot(T_ICEA)
dev.off()
```

```
plot(T_ICEA)
```

## PREENCHIMENTO DE FALHAS DOS DADOS DE TEMPERATURA COM A REGRESSÃO

```
options(repr.plot.width=10, repr.plot.height=10)
```

```
mod1 = lmRob(T_INMET ~ T_ICEA, data = T)
summary(mod1)
```

```
bin <- hexbin(T_ICEA, T_INMET, xbins=30)
```

```
jpeg("g3.jpg", width = 1000, height = 700)
plot(bin)
dev.off()
```

```
plot(bin)
```

```
aux <- T[is.na(T$T_INMET)&!is.na(T$T_ICEA),]
head(aux)
```

```
aux <- predict(mod1, newdata=T[is.na(T$T_INMET)&!is.na(T$T_ICEA),])
```

```
T[is.na(T$T_INMET)&!is.na(T$T_ICEA),'T_INMET'] <- aux
```

```
T_INMET <- ts(T$T_INMET,start=c(1961,1),f=12)
plot(T_INMET)
```

## USO DA ESTIMATIVA DE KALMAN PARA PREENCHER AS FALHAS QUE PERMANECERAM

```
T_INMET <- na.kalman(T_INMET, model = "auto.arima")
```

```
options(repr.plot.width=16, repr.plot.height=8)
```

```
jpeg("g4.jpg", width = 1000, height = 700)
plot(T_INMET)
dev.off()
```

```
Plot(T_INMET)
```

## ANÁLISE DA UMIDADE RELATIVA

### 1- INMET

```
UR_INMET <- ts(T$UR_INMET,start=c(1961,1),f=12)
plot(UR_INMET)
```

### 2- ICEA

```
UR_ICEA <- ts(T$UR_ICEA,start=c(1961,1),f=12)
plot(UR_ICEA)
```

### PREENCHIMENTO DE FALHAS DOS DADOS DA UMIDADE RELATIVA COM A REGRESSÃO

```
mod2 = lmRob(UR_INMET ~ UR_ICEA, data = T)
summary(mod2)
```

```
bin <- hexbin(UR_INMET, UR_ICEA, xbins=30)
plot(bin)
```

```
aux <- T[is.na(T$UR_INMET)&!is.na(T$UR_ICEA),]
head(aux)
```

```
aux <- predict(mod2, newdata=T[is.na(T$UR_INMET)&!is.na(T$UR_ICEA),])
```

```
T[is.na(T$UR_INMET)&!is.na(T$UR_ICEA),'UR_INMET'] <- aux
```

```
UR_INMET <- ts(T$UR_INMET,start=c(1961,1),f=12)
plot(UR_INMET)
```

### USO DA ESTIMATIVA DE KALMAN PARA PREENCHER AS FALHAS QUE PERMANECERAM

```
UR_INMET <- na.kalman(UR_INMET, model = "auto.arima")
plot(UR_INMET)
```

## CÁLCULO DO ÍNDICE DE CALOR

```
install.packages('weathermetrics')
```

```
Installing package into '/home/user/R/x86_64-pc-linux-gnu-library/3.4' (as 'lib' is unspecified)
```

```
library(weathermetrics)
```

```
it <- heat.index(t=T_INMET, rh=UR_INMET, temperature.metric="celsius",
output.metric="celsius", round=2)
```

```
it <- ts(it,start=c(1961,1),f=12)
```

```
jpeg("g9.jpg", width = 1000, height = 700)
plot(it)
dev.off()
plot(it)
```

## ARIMA

### DECOMPOSIÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL

```
jpeg("g10.jpg", width = 1000, height = 700)
plot(decompose(it))
dev.off()
```

```
plot(decompose(it))
```

### TESTES DA ESTACIONARIEDADE DA SÉRIE (Dickey-Fuller Test)

```
urkpsstest(it, type = c("tau"), lags = c("short"), use.lag = NULL, doplot = TRUE)
```

```
adf.test(it, alternative="stationary")
```

Warning message in `adf.test(it, alternative = "stationary")`: "p-value smaller than printed p-value"

```
jpeg("g11.jpg", width = 1000, height = 700)
acf(it)
dev.off()
acf(it)
```

```
jpeg("g12.jpg", width = 1000, height = 700)
pacf(it)
dev.off()
pacf(it)
```

```
ndiffs(it)
```

### CALCULO DAS CORRELAÇÕES PARA UMA DIFERENÇA DE ORDEM 1

```
jpeg("g12.jpg", width = 1000, height = 700)
acf(diff(it, differences=1))
dev.off()
acf(diff(it, differences=1))
```

```
jpeg("g13.jpg", width = 1000, height = 700)
pacf(diff(it, differences=1))
dev.off()
pacf(diff(it, differences=1))
```

**ESTIMAÇÃO DO MODELO / SEM SAZONALIDADE**

```
ajuste_0 <- Arima(it, c(1, 1, 2)) # Sem sazonalidade
ajuste_0
```

**ESTIMAÇÃO DO MODELO / COM SAZONALIDADE**

```
ajuste_1 <- Arima(it, c(1, 1, 2), seasonal=list(order = c(1, 1, 2), period = 12)) # Com
sazonalidade
ajuste_1
```

**UTILIZANDO VIA AUTO.ARIMA**

```
ajuste_auto <- auto.arima(it, stepwise=FALSE, approximation=FALSE, trace=TRUE)
ajuste_auto
```

**AUTO CORRELAÇÃO DOS RESIDUOS**

```
acf(ajuste_auto$residuals)
pacf(ajuste_auto$residuals)
```

**TESTE DE NORMALIDADE (Kolmogorov-Smirnov)**

```
jpeg("g14.jpg", width = 1000, height = 700)
qqnorm(ajuste_auto$residuals)
qqline(ajuste_auto$residuals)
dev.off()
```

```
qqnorm(ajuste_auto$residuals)
qqline(ajuste_auto$residuals)
```

```
lillie.test(ajuste_auto$residuals)
```

**TRANSFORMAÇÃO DE BOX-COX**

```
l <- BoxCox.lambda(it)
l
```

```
ajuste_auto_bc <- auto.arima(it, stepwise=FALSE, approximation=FALSE, trace=TRUE,
lambda=l)
ajuste_auto_bc
```

**TESTE DE NORMALIDADE APÓS A TRANSFORMAÇÃO DE BOX-COX (Kolmogorov-Smirnov)**

```
qqnorm(ajuste_auto_bc$residuals)
qqline(ajuste_auto_bc$residuals)
lillie.test(ajuste_auto_bc$residuals)
hist(ajuste_auto_bc$residuals)
```

**RETIRADA DE OUTLIERS**

```
# outliers <- tso(BoxCox(it,l),tsmethod = "auto.arima", args.tsmethod = list(lambda=l), types =
c("AO","LS","TC"))
```

```
outliers <- tso(BoxCox(it,l),tsmethod = "arima", args.tsmethod = list(order=c(0, 0, 3),
seasonal=list(order=c(0, 1, 1), period=12)), types = c("AO","LS","TC"), maxit.iloop=50)
```

```
it[outliers$outliers$ind] <- NA
```

### **SUBSTITUINDO OS OUTLIERS PELOS VALORES ENCONTRADOS PELA ESTIMATIVAS DE KALMAN E TRANSFORMAÇÃO DE BOX-COX**

```
it <- na.kalman(it, model = "auto.arima")
```

```
l <- BoxCox.lambda(it)
l
```

```
outliers2 <- tso(BoxCox(it,l),tsmethod = "arima", args.tsmethod = list(order=c(1, 0, 2),
seasonal=list(order=c(0, 1, 1), period=12)), types = c("AO","LS","TC"), maxit.iloop=50)
outliers2
```

```
it[outliers2$outliers$ind] <- NA it <- na.kalman(it, model = "auto.arima") l <- BoxCox.lambda(it)
l
```

```
outliers3 <- tso(BoxCox(it,l),tsmethod = "arima", args.tsmethod = list(order=c(1, 0, 2),
seasonal=list(order=c(0, 1, 1), period=12)), types = c("AO","LS","TC"), maxit.iloop=50)
outliers3
```

### **REAJUSTANDO MODELO**

```
ajuste_auto_bc_outliers <- auto.arima(it, stepwise=FALSE, approximation=FALSE, trace=TRUE,
lambda=l)
ajuste_auto_bc_outliers
```

### **TESTE DE NORMALIDADE (Kolmogorov-Smirnov)**

```
qqnorm(ajuste_auto_bc_outliers$residuals)
qqline(ajuste_auto_bc_outliers$residuals)
lillie.test(ajuste_auto_bc_outliers$residuals)
hist(ajuste_auto_bc_outliers$residuals)
```

### **TESTANDO O MODELO**

```
LjungBox(ajuste_auto_bc_outliers, lag=c(5, 10, 20, 25, 39, 35, 40,
45, 50), season=12)
```

### **PREVISÕES PARA OS PRÓXIMOS 3 MESES**

```
previsoes_auto_bc_outliers <- forecast(ajuste_auto_bc_outliers, h=3)
previsoes_auto_bc_outliers
accuracy(previsoes_auto_bc_outliers)
```

```
mod2 = lmRob(ajuste_auto_bc_outliers$x ~ ajuste_auto_bc_outliers$fitted, data = T)
```

```
summary(mod2)
```

```
options(repr.plot.width=8, repr.plot.height=8)
bin <- hexbin(ajuste_auto_bc_outliers$fitted, ajuste_auto_bc_outliers$x, xbins=30)
```

```
jpeg("g15.jpg", width = 1000, height = 700)
plot(bin)
dev.off()
plot(bin)
```

```
options(repr.plot.width=16, repr.plot.height=8)
jpeg("g16.jpg", width = 1000, height = 700)
ts.plot(ajuste_auto_bc_outliers$fitted,ajuste_auto_bc_outliers$x, lty=c(2,1), gpars = list(col
= c("blue", "black")))
dev.off()
ts.plot(ajuste_auto_bc_outliers$fitted,ajuste_auto_bc_outliers$x, lty=c(2,1), gpars = list(col
= c("blue", "black")))

```

```
jpeg("g17.jpg", width = 1000, height = 700) plotarimapred(it, ajuste_auto_bc_outliers,
xlim=c(2010, 2019)) dev.off() plotarimapred(it, ajuste_auto_bc_outliers, xlim=c(2010, 2019))
```

## BOOTSTRAP

```
AIC_Boot <- function(ts) {
aux <- Arima(ts, lambda=l, order=c(1, 0, 0), seasonal=list(order=c(0, 1, 1), period=12))
return(aux$aic)
}
```

```
aux <- Arima(it, lambda=l, order=c(1, 0, 0), seasonal=list(order=c(0, 1, 1), period=12))
AIC_Boot(it)
boot_ajuste_auto_bc_outliers <- tsboot(it, AIC_Boot, R = 1000, l = 20, sim = "geom")
```

```
boot_ajuste_auto_bc_outliers
```

```
boot.ci(boot_ajuste_auto_bc_outliers)
```

```
Warning message in boot.ci(boot_ajuste_auto_bc_outliers):
"bootstrap variances needed for studentized intervals"Warning message in
boot.ci(boot_ajuste_auto_bc_outliers):
"BCa intervals not defined for time series bootstraps"
```