



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I- CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE EDUCAÇÃO (CEDUC)  
DEPARTAMENTO GEOGRAFIA (DG)  
LICENCIATURA PLENA EM GEOGRAFIA**

**THAYNARA MARIA PEREIRA DA SILVA CORDEIRO**

**PRINCIPAIS INDICADORES HIGROTÉRMICOS DO AR ATMOSFÉRICO DA  
CIDADE DE PATOS, PB**

**CAMPINA GRANDE  
2022**

THAYNARA MARIA PEREIRA DA SILVA CORDEIRO

**PRINCIPAIS INDICADORES HIGROTÉRMICOS DO AR ATMOSFÉRICO E  
DESCONFORTO TÉRMICO DA CIDADE DE PATOS, PB**

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura Plena em Geografia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Geografia.

**Área de concentração:** climatologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida

**CAMPINA GRANDE  
2022**

S586p Silva, Thaynara Maria Pereira da.  
Principais indicadores higrotérmicos do ar atmosférico e desconforto térmico da cidade de Patos, PB [manuscrito] / Thaynara Maria Pereira da Silva. - 2022.  
53 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Educação, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, Coordenação do Curso de Geografia - CEDUC."

1. Clima. 2. Sensação térmica. 3. Temperatura efetiva. 4. Desconforto térmico. I. Título

21. ed. CDD 551.5

THAYNARA MARIA PEREIRA DA SILVA CORDEIRO

**PRINCIPAIS INDICADORES HIGROTÉRMICOS DO AR ATMOSFÉRICO DA  
CIDADE DE PATOS, PB**

Trabalho de Conclusão de Curso em  
Licenciatura Plena em Geografia da  
Universidade Estadual da Paraíba, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Licenciado em Geografia.

Área de concentração: Climatologia

Aprovada em: 01/08/2022

**BANCA EXAMINADORA**

*Hermes Alves de Almeida*

Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Maysa Porto F. Marques*

Profa. Msc. Maysa Porto Farias Marques  
Secretaria Municipal de Educação, Pocinhos, PB

*Telma Lúcia Bezerra Alves Alves*

Profa. Dra. Telma Lúcia Bezerra Alves  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB)

Ao meu Deus, por tudo, toda glória a Ele, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, Criador de todas as coisas e de minha existência, sem Ele, nada teria se realizado.

À minha mãe, Tâmara e minha irmã Thayane Maria, por todo apoio e força dada ao longo da graduação. À Maria e Leni, vó e madrinha do meu esposo por toda ajuda moral e financeira durante o curso.

Ao meu esposo Emanuel Cordeiro, por todo apoio e força durante a graduação.

Aos professores do Curso de graduação de Geografia da UEPB, em especial, Antônio, Alexandre Ramos, Faustino, Marta, Suellen, que contribuíram durante a minha formação, sendo exemplos de profissionais ao qual admiro.

Ao Professor Dr. Hermes Alves de Almeida por todos os ensinamentos durante o curso, amizade e profissionalismo desempenhado, registro toda admiração sincera que tenho pela sua excelência como pessoa, docente e pesquisador. Grata pelas oportunidades que me proporcionou durante o curso, como também pelas orientações para realização desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de desenvolvimento (CNPq) por ter subsidiado minha pesquisa durante o ano de 2020\2021.

## RESUMO

A cidade é o local onde ocorre a maior interação entre o homem e a natureza e as ações antrópicas alteram as condições ambientais. Diante disso, procurou-se determinar os principais indicadores higrótérmicos do ar atmosférico da cidade de Patos (7°01'32"S, 37°16'40"W), PB, sendo essas determinações os objetivos principais. Dados horários de temperatura do ar (tar) e umidade relativa (Ur) foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia, da estação meteorológica automática instalada na referida cidade. As principais características higrótérmica do ar úmido, na escala horária, foram estabelecidas utilizando-se os dados de tar, Ur e derivados (pressões de saturação e atual de vapor, déficit de pressão de saturação e temperatura do ponto de orvalho), além da temperatura efetiva (TE) e o índice de desconforto térmico (ID). Os principais resultados indicaram que, o crescimento da expansão urbana da cidade de Patos foi maior que o populacional. As médias horárias da temperatura máxima maior que 31,0 °C e menores ou iguais a 20,0 °C perduram por treze e nove horas diárias, respectivamente. As relações entre as tar e Ur foram inversas e bem definidas. No período noturno, as médias horárias da umidade relativa maiores que 60,0 % ocorreram em mais de 80,0 % dos dias, mas no diurno foi cerca de 15,0 %. A frequência de ocorrência de criticidade ideal da umidade relativa ocorreu em cerca de 40,0 % dos dias. As médias horárias da temperatura do ar são maiores na primavera e no verão, enquanto, os teores de umidade relativa são maiores no outono. O desconforto térmico extremo ocorre nos horários de picos da TE, com calor de moderado à agradável, mas levemente quente. O índice de desconforto térmico é crescente entre 06:00 e 14:00 h, decrescente de 15:00 às 05:00 h e confortável entre 02:00 e 05:00 h. Há necessidade de incluir outros métodos de TE e ID, para fins de planejamento urbano da cidade.

**Palavras-Chave:** Clima Urbano. Sensação Térmica. Temperatura Efetiva. Desconforto Térmico.

## ABSTRACT

The city is the place where the greatest interaction between man and nature occurs and human actions alter environmental conditions. Therefore, we sought to determine the main hygrothermal indicators of the atmospheric air in the city of Patos (7°01'32"S, 37°16'40"W), PB, with these determinations being the main objectives. Hourly data on air temperature ( $t_a$ ) and relative humidity ( $U_r$ ) were made available by the National Institute of Meteorology, from the automatic meteorological station installed in that city. The main hygrothermal characteristics of humid air, in the hourly scale, were established using  $t_a$ ,  $U_r$  and derivatives data (saturation and current vapor pressures, saturation pressure deficit and dew point temperature), in addition to the temperature effective (TE) and the thermal discomfort index (ID). The main results indicated that the growth of urban expansion in the city of Patos was greater than the population. The hourly averages of the maximum temperature greater than 31.0 °C and less than or equal to 20.0 °C last for thirteen and nine hours a day, respectively. The relationships between  $t_a$  and  $U_r$  were inverse and well defined. In the night period, the hourly averages of relative humidity greater than 60.0% occurred in more than 80.0% of the days, but in the daytime it was around 15.0%. The frequency of occurrence of ideal criticality of relative humidity occurred in about 40.0% of the days. The hourly averages of air temperature are higher in spring and summer, while relative humidity levels are higher in autumn. Extreme thermal discomfort occurs during peak hours of ET, with moderate to pleasant heat, but slightly hot. The thermal discomfort index is increasing between 06:00-14:00 h, disbelieving from 15:00 to 05:00 h and comfortable between 02:00 and 05:00 h. There is a need to include other TE and ID methods for urban city planning purposes

**Keywords:** Urban Climate. Thermal Sensation. Effective Temperature. Thermal Discomfort.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Vistas aéreas da cidade: Patos, PB, no início do século XX (A) e da Avenida Sólon de Lucena (B). .....	14
<b>Figura 2.</b> Croqui demonstrativo do comportamento da temperatura do ar no ambiente urbano. ....	19
<b>Figura 3.</b> Mapa geográfico do estado da Paraíba, com destaque para Patos, PB. ....	22
<b>Figura 4.</b> Localização da estação meteorológica de Patos-PB. ....	23
<b>Figura 5.</b> Evolução populacional de Patos, PB de 1970 a 2020. ....	28
<b>Figura 6.</b> Expansão urbana da cidade de Patos, PB , entre 1985 a 2015. ....	29
<b>Figura 7.</b> Relação entre as médias horárias da temperatura do ar instantânea e as temperaturas máximas e mínimas. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020 .....	31
<b>Figura 8.</b> Médias horárias da temperatura do ar e da umidade relativa. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	32
<b>Figura 9.</b> Relações horárias entre a temperatura máxima média e a umidade relativa do ar. Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	33
<b>Figura 10.</b> Relações horárias entre a temperatura mínima média e a umidade relativa do ar. Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	33
<b>Figura 11.</b> Médias horárias da temperatura do ar e da pressão máxima de saturação de vapor. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020 .....	35
<b>Figura 12.</b> Relação entre as médias horárias da umidade relativa do ar versus pressão parcial e de saturação de vapor. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	36
<b>Figura 13.</b> Médias horárias da temperatura do ar nas estações do ano, em Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	37
<b>Figura 14.</b> Médias horárias da umidade relativa do ar nas estações do ano, em Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	38
<b>Figura 15.</b> Médias mensais das médias, medianas e desvios padrão da chuva. Patos, PB, médias do período: 01/01/1911 a 31/12/2020. ....	39
<b>Figura 16.</b> Relações horárias entre a temperatura do ar e umidade relativa no verão e no inverno. Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	39
<b>Figura 17.</b> Frequência relativa de ocorrência da temperatura do ar, por intervalo de classe. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	40

<b>Figura 18.</b> Frequências relativas horárias de ocorrências da temperatura do ar > 30,0 °C e umidade relativa < 50,0 % entre 11:00 e 18:00 h. Patos, PB. Médias de 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	41
<b>Figura 19.</b> Frequências relativas horárias de ocorrências da temperatura do ar < 22,0 °C e umidade relativa > 80,0% entre 00:00 e 06 h. Patos, PB. Médias de 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	42
<b>Figura 20.</b> Frequências relativas dos níveis de criticidade da umidade relativa. Patos, PB. Médias de 01.01.2008 a 31.12.2020, nos horários entre 06:00 e 18:00 horas.....	43
<b>Figura 21.</b> Médias horárias da Temperatura Efetiva, para a cidade de Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	44
<b>Figura 22.</b> Índice de desconforto térmico para cidade de Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020. ....	45

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

EMA	Estação Meteorológica Automática
ID	Índice de Desconforto Térmico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMS	Organização Mundial da Saúde
UR	Umidade Relativa do ar
TE	Temperatura efetiva

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Origens da cidade de Patos.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 – Importância do estudo da climatologia no planejamento urbano .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 O clima e a cidade.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Índice de desconforto térmico .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.1 Áreas verdes .....</b>	<b>18</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Área de Estudo.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Procedimentos metodológicos.....</b>	<b>23</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Evolução populacional e urbana de Patos, PB.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Características higrotérmicas do ar úmido da cidade de Patos, PB. ....</b>	<b>30</b>
<b>4.3. Índice de desconforto térmico e temperatura efetiva.....</b>	<b>43</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O homem vive em constante relação com a natureza, transformando-a de acordo com a sua necessidade e melhoria de conforto. No entanto, somente a partir do século XIX o estudo do clima das cidades desperta interesse científico.

O crescimento das cidades, em conjunto com a população, insere novos parâmetros artificiais (físico, químico, edificação, dentre outros), que ao interagir com a atmosfera altera as condições naturais e origina o clima urbano.

A transformação da paisagem natural, além do impacto na morfologia do terreno, pode causar modificações ambientais e climáticas, ocasionando em cada lugar um tipo de microclima específico.

As modificações substanciais no ambiente, em relação às áreas circunvizinhas, refletem no balanço de irradiância solar, na paisagem, na ventilação, nas temperaturas do ar e do solo, na umidade atmosférica, dentre outros, cujos efeitos diretos interagem nos aspectos geoambientais local e são percebidos pela população (MONTEIRO, 1976; LOMBARDO, 1985; OLIVEIRA, 1988).

A partir da segunda metade do século XX, com as intensas modificações introduzidas no meio natural, ocasionadas pelo processo de urbanização, o clima passou a ter outro agente modificador, o próprio homem (VIANA, 2006). Portanto, os elementos do Tempo e do Clima, mesmo que indiretamente acabam sendo influenciados pelas alterações no ambiente natural, na escala local, e algumas dessas transformações podem contribuir para gerar condições de conforto térmico maléficas para o ser humano.

Os modelos de construção e urbanização das cidades têm contribuído para aumentar a temperatura do ar e, conseqüentemente, diminuir o teor de umidade relativa do ar. Na visão de Sousa et al (2009) essas condições na região semiárida do Nordeste, na sua maioria, são mais acentuadas na primavera e verão, por coincidir com a época mais seca, proporcionando maior temperatura do ar do que em outras cidades de outras regiões do país.

Destarte, entretanto, que o aumento populacional e a urbanização evidenciam problemas de natureza socioambiental e impactos diretos na qualidade de vida urbana (Lima, Pinheiro e Mendonça (2012), haja vista que o crescimento e o adensamento da malha urbana acentuam as transformações e comportamento dos elementos do Tempo e do Clima da camada limite atmosférico, por se localizar na baixa troposfera, próxima à superfície do solo (NETO, 2022)

É importante destacar que, o crescimento urbano (da cidade) resulta de processos antrópicos de ocupação do solo, contribuindo, portanto, na “formação” do microclima urbano (FREITAS, 2018). Algumas práticas antrópicas intensificam efeitos diretos na qualidade de vida da população; tais como o conforto térmico, a qualidade do ar, os impactos pluviais dentre outros. No entanto, há necessidade de compreender e estabelecer esses indicadores para melhoria no planejamento urbano, visando mitigar esses efeitos.

Analisando-se resultados de pesquisa mundial sobre o clima urbano, percebe-se que a diferença primária entre os processos térmicos da área urbana e de seu entorno natural ou rural está na repartição entre os fluxos turbulentos de calor sensível e latente. Portanto, o clima urbano e a influência do ambiente construído poderiam ser compreendidos sob a ótica do balanço de energia (OKE, 1987).

Com base nesse entendimento torna-se relevante estudar os elementos do Tempo e suas relações com o meio natural e o construído, para compreender a importância que eles exercem na cidade e na qualidade de vida da população, para fins de (re) planejamento urbano da cidade.

Diante disto, houve necessidade de se investigar as principais características higrótérmicas do ar atmosférico, na escala horária e sazonal da cidade de Patos, PB, sendo essas determinações o objetivo principal, tendo ainda, os seguintes objetivos específicos

- Fazer uma síntese dos aspectos socioeconômico da cidade de Patos, PB;
- Estabelecer as relações horárias entre a temperatura do ar e a umidade relativa, por estações do ano;
- Determinar as frequências relativas horárias da temperatura do ar e umidade relativa, por intervalo de classes, e para os turnos diurnos e noturnos;
- Estabelecer a escala psicrométrica, por intervalo de classe, e os respectivos níveis de criticidade da umidade relativa do ar;
- Estimar a temperatura efetiva e o índice de desconforto térmico humano para os cidadãos de Patos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Origens da cidade de Patos

As origens da povoação que deu início a cidade de Patos, datam do século XVII, quando os portugueses, utilizando os bandeirantes e entradistas que chegaram ao Sertão da Paraíba, com o objetivo de conquistar propriedade de terras. Os indígenas cariris, que já habitavam o lugar, entraram em luta com os portugueses, consolidando a soberania dos portugueses (SANTOS, 2005).

Cavalcante afirma que:

Com a expansão da Vila, favorecida pela posição geográfica, a povoação “dos Patos”, vai se firmando como um epicentro dos caminhos de viajantes que cruzava, o território paraibano em todos os sentidos, chegando, desta forma, a despertar nas autoridades, a necessidade de criação de um novo município tendo por sede a localidade (2008, p.38).

O povoado inicialmente pertenceu a Pombal, desmembrado, em 1833, quando se tornou Vila com denominação de Patos, passando a condição de cidade em 1903.

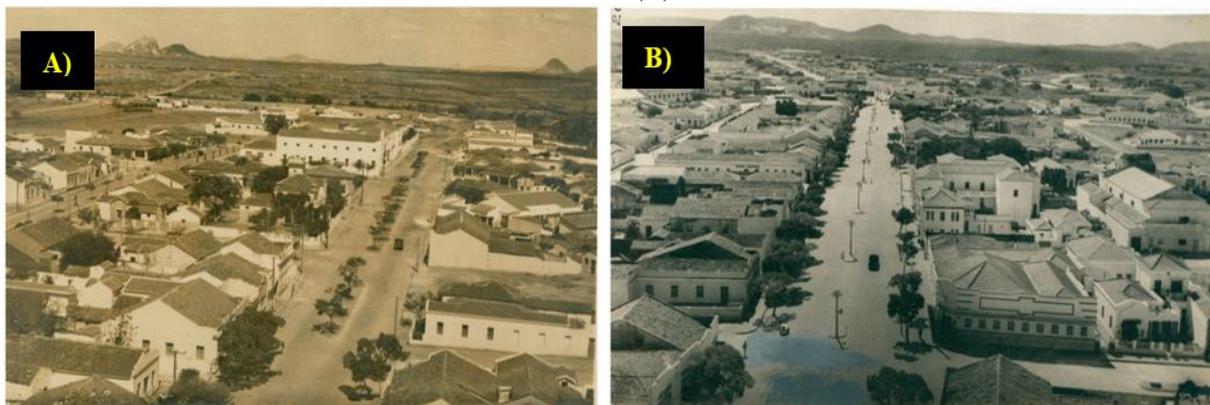
Na sessão de 05 de março de 1830, o Conselho do Governo da Província da Paraíba decidiu pelo encaminhamento ao Ministro e Secretário de Estado dos Negócios do Império, o Marquês de Caravelas, do pedido de criação de três novas Vilas e Câmaras: Bananeiras, Amélia do Piancó e Imperial dos Patos, a primeira desmembrada de Areia e as duas outras de Pombal. O documento que foi enviado em 26 de março do mesmo ano era finalizado com o seguinte trecho: A oficialização das três Vilas redundará em benefício tanto dos "fiéis súditos habitantes dos respectivos lugares", como "em aumento da população e esplendor do Império". Em 09 de maio de 1833, durante sessão extraordinária do Conselho da Província, foi aprovado o projeto de elevação da Vila dos Patos, cuja instalação se deu em 22 de agosto, após 66 anos de subordinação a Pombal. A partir de então o município passou a existir, assinalando a emancipação política, com sua Câmara de Vereadores, composta de 07 membros, consoante determinava a Lei de primeiro de outubro de 1828, cabendo a ela a administração econômica e municipal. (PATOS, 2022)

De acordo com a Enciclopédia dos Municípios Brasileiros, a denominação da cidade, é atribuída tradicionalmente à uma lagoa que existia próxima ao Rio Espinharas que contorna a cidade, pela existência de muitos marrecos e patos (1960).

A cidade de Patos localiza-se no vale do Rio Espinharas, circundado pelo Planalto da Borborema a leste e sul, e pelo Pediplano sertanejo a oeste.

Os primeiros elementos civilizadores que chegaram à cidade foram os membros da família Oliveira Ledo, onde fundaram algumas fazendas de gado. A Figura 1 apresenta fotos aéreas da cidade de Patos, no século XX, com destaque para a Avenida Sólon de Lucena.

**Figura 1.** Vistas aéreas da cidade: Patos, PB, no início do século XX (A) e da Avenida Sólon de Lucena (B).



Fonte: Adaptado IBGE, 2022.

## 2.2 – Importância do estudo da climatologia no planejamento urbano

As cidades brasileiras, principalmente, têm crescido quase sem nenhum controle ou planejamento urbano e, portanto, sem condições adequadas de infra-estrutura, habitação e qualidade de vida.

O estudo do clima urbano é importante não somente quando se detecta oscilação ou variabilidade significativa na troposfera e não se restringe apenas aos grandes centros e regiões metropolitanas, mas as pequenas e médias cidades.

De uma maneira geral, os estudos do clima nas cidades brasileiras têm se pautado em adaptações da proposta teórico-metodológica de Monteiro (1976), que considera a inter-relação dos elementos da natureza e da sociedade na perspectiva do Sistema Clima Urbano. Por essa concepção, a estrutura interna do Sistema Clima Urbana não pode ser definida pela superposição ou adição de suas partes, mas sob a perspectiva sistêmica, constituído de três subsistemas: o termodinâmico (conforto térmico); o físico-químico (qualidade do ar) e o pluvial.

Diante disto, o estudo da climatologia urbana torna-se fundamental para o planejamento e gerenciamento do espaço urbano, principalmente, se tratando de uma cidade de porte média (SOUZA e NERY, 2010).

É importante destacar a importância da Climatologia Geográfica, nos estudos interativos da atmosfera (troposfera) com os sistemas naturais e sociais, que começa pelas relações de fenômenos meteorológicos com os antrópicos, porque a população residente em centros urbanos é atingida com frequência cada vez maior por eventos extremos, dada a composição e a estrutura das cidades (ANDRADE, 2005; NUNES, 2005).

Andrade, Araújo e Barbosa (2020) ressaltam que o planejamento urbano, além de permitir a visão macro progressiva da cidade, também colabora para a participação conjunta do Estado e da população civil, sendo primordial para a cidade e população.

A importância fundamental no planejamento urbano é o de estabelecer as principais características micro meteorológica e/ou climatológica predominante nas cidades, visando projetar os espaços geográficos em benefício do homem. Por isso, a climatologia geográfica é uma ferramenta importante no planejamento urbano tanto para o meio ambiente quanto para o homem (HIGUERAS, 2006).

### **2.3 O clima e a cidade**

A cidade é cada vez mais a morada do homem e o lugar da mais efetiva interação entre o homem e a natureza (MONTEIRO, 2003).

Como afirma Freitas (2018) a cidade é o local onde o homem vive e estabelece suas relações e ligações, transformando-o a seu critério e influenciando-o diretamente pela sua ação.

O crescimento das cidades e das populações urbanas acrescenta novos elementos físicos e químicos na atmosfera, modificando as condições atuais naturais, gerando o clima urbano (LIMA, PINHEIRO e MENDONÇA, 2012).

Para Freitas (2018, p.264), o crescimento das cidades “resulta de processos antrópicos de ocupação do solo de modo exponencial e, portanto, esses são subsídios contundentes para a formação do clima urbano”.

Embora, as intensas atividades humanas na cidade derivadas da alteração da paisagem, natural e da sua substituição por ambiente construído, resultam em condições climáticas específicas (COSTA, 2009).

No entanto, o processo de alteração dos elementos do clima promove uma configuração específica na interação da superfície-atmosfera em escala local (JÚNIOR, 2019).

As cidades, independente do seu tamanho e das ações antrópicas, contribuem diferenciando as condições ambientais, em virtude das diferenças nos padrões radioativos, da intensidade da chuva, da temperatura do ar e de outros elementos do clima, o que diferem em função da posição geográfica da cidade e da distribuição de parâmetros urbanísticos. Por isso, elas acabam sendo geradoras do seu próprio clima, por resultar da interferência de fatores que se processam na camada limite urbano e agem condicionando o clima local (AMORIM, 2005).

De acordo com Andrade (2016, p.6) “A cidade como produto e palco das atividades humanas se consubstancia como natureza transformada e o clima urbano como uma das importantes expressões da transformação da natureza, dada pelo homem”.

O autor do clima urbano, Monteiro (2003), descreve que um dos subsistemas para estudo do clima é o termodinâmico, que através do canal de percepção de conforto térmico, analisa-se o impacto do clima urbano na saúde humana.

Os fatores naturais são importantes para o conforto ambiental, tais como vegetação, corpos d'água naturais, rios, lagos e a topografia, que influenciam nos elementos umidade e temperatura produzindo microclima na cidade (ANDRADE, 2016).

Os materiais usados no sistema do meio urbano são determinantes para variabilidade nas condições do microclima local e do comportamento humano, conseqüentemente a sensação térmica, que pode levar ao conforto ou desconforto térmico. Essa condição pode ser prejudicial à população, o que mostra ser relevante o estudo do conforto térmico, porque o desconforto térmico tem conseqüência no desempenho na saúde do trabalhador e da população, em geral (ASSIS, 2016).

Para Monteiro (1976), o estudo do clima da cidade, deve-se adotar uma conduta de investigação não como um antagonismo entre o homem e a natureza, mas uma co-participação. Nesse contexto e nos grandes centros urbanos, Amorim (2019) evidenciou que as cidades de pequeno e médio porte, também, passam por transformações na paisagem natural, na morfologia e estrutura do ambiente urbano. Rios e córregos são canalizados ou têm seus cursos alterados; a morfologia é modificada através de aterro e construções e a vegetação é retirada, dentre outros impactos.

A principal conseqüência do processo de urbanização é o aumento da temperatura do ar, geralmente, denominado de ilhas de calor. Essa condição deve-se a maior capacidade que tem os materiais construtivos urbanos em armazenar mais calor, quando comparado com o solo coberto com vegetação nativa (LORIDAN E GRIMMOND, 2012). Por isso, as condições do clima nas cidades se individualizam em função do grau e/ou do tipo de urbanização.

Os elementos climáticos são alterados tanto por características naturais quanto pela urbanização e os resultados decorrentes são a formação de ilhas de calor, o desconforto térmico, as inversões térmicas, entre outras. Destaca-se que, os principais fatores não naturais que contribui para a formação de ilhas de calor são os materiais utilizados na construção civil, na cobertura do solo e nas características construtivas das edificações e das atividades humanas (AMORIM, 2019), embora a ausência da vegetação contribua para aumentar esse efeito.

A atmosfera e os elementos da paisagem são alterados quanto maior for a urbanização, gerando um clima próprio desse local; porém o clima urbano será tão mais definido quanto maior for a dinâmica da cidade (LIMA; PINHEIRO; MENDONÇA, 2012).

A escala regional quando modificada por fatores como o ambiente urbano, pode estabelecer o clima urbano do entorno próximo, que também é definido pelas modificações de todas as variáveis meteorológicas, como consequências das construções individuais, ou seja, dos elementos meteorológicos que influenciam diretamente as áreas construídas (SANTOS, 2008).

Para analisar tais fenômenos, são desenvolvidas metodologias para quantificar a interferência e os resultados da urbanização no clima e conseqüentemente na vida dos seres vivos, sobretudo o homem, como será exposto sobre o Índice de desconforto térmico e a Temperatura Efetiva.

A realização de estudos nas cidades de pequeno e médio porte encontra-se algumas facilidades quanto à execução de intervenções, pois estão em desenvolvimento, portanto podem a partir dos estudos e análise climática científica elaborar planejamento urbano eficaz, levando em consideração os resultados (BRASILEIRO; ZANELLA, 2021).

Concorda-se com Neto (2022) que o Tempo (Meteorológico), além de ser um fenômeno físico, também é uma construção social, que resulta de como, planejar, construir e gerenciar o território, as residências, os espaços públicos e as áreas verdes.

#### **2.4 Índice de desconforto térmico**

Os elementos variam no tempo e no espaço; na cidade o tempo é influenciado não apenas pela condição natural dos elementos meteorológicos, mas pela interação destes com as ações antrópicas que contribuem para alterá-los e, conseqüentemente, ocasionar efeitos na maioria maléfica.

A cidade é o principal responsável pelas alterações dos elementos do clima. Nas áreas urbanas a superfície do solo é mais aquecida do que nas áreas rurais; em virtude das atividades humanas, do trânsito de veículos, das indústrias, os edifícios, o asfalto e a diminuição das áreas verdes, condições essas que criam um ambiente com mudanças no padrão higrotérmico.

Os fatores locais e ambientais, como a vegetação nativa e/ou plantada, podem contribuir para diminuir a temperatura do ar e aumentar a umidade relativa, elementos esses fundamentais na melhoria do conforto ambiental. Contrariamente, as ações antrópicas locais, tais como as edificações, a impermeabilidades dos solos, com asfaltos, são atributos que condicionam o clima urbano (ANDRADE, 2016).

As cidades apresentam um alto índice de impermeabilização do solo, ou seja, a água das chuvas não penetra no solo devido ao asfalto das ruas, as calçadas e quintais pavimentados, isso faz com que a água evapore rapidamente, reduzindo o resfriamento.

O índice de desconforto térmico (IDT) é um indicador bioclimático que foi proposto por Thom (1959) e é adotado adequado nos estudos de clima urbano, para regiões tropicais, para descrever a sensação térmica que uma pessoa experimenta devido às condições meteorológicas do ambiente.

As variáveis humanas e ambientais exercem influências no conforto térmico. Dentre as primeiras destacam-se as características das vestimentas e do metabolismo (sexo, idade, raça, atividade exercida e hábitos alimentares), o que pode mudar substancialmente as preferências térmicas de pessoa para pessoa (SILVA E RIBEIRO, 2006). Dentre as variáveis ambientais, as temperaturas do ar e do solo, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento têm grande importância para a determinação das diferentes faixas de conforto.

Entre os animais, apenas as aves e os mamíferos conseguem manter suas temperaturas em um nível constante, favorecendo o metabolismo mesmo diante de oscilações térmicas, recebendo, portanto, a denominação de homeotérmicos ou endotérmicos (animais de sangue quente).

Os seres humanos, por exemplo, são homeotérmicos, ou seja, possuem uma temperatura interna estável, em torno de 37°C, e com limites um tanto rígidos, entre 36,1 e 37,2°C, sendo 32°C o limite mínimo e 42°C o limite máximo para vida, em caso de enfermidade (FROTA E SCHIFFER, 2001).

A termorregulação é entendida como um conjunto de mecanismos que permitem regular a temperatura corporal interna de forma a mantê-la dentro de valores compatíveis, ou seja, quando o calor produzido pelo metabolismo esteja compatível com a atividade desenvolvida. Frota e Schiffer (2003) esclarecem que o organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando não necessita recorrer a nenhum desses mecanismos.

Em pesquisa na cidade de Forquilha, CE, a partir da percepção térmica dos cidadãos, Gomes e Caracristi (2020) constataram que os bairros com maior fluxo de automóveis, pessoas e asfaltamento foram indicados com maior desconforto térmico, por 34% dos entrevistados. No entanto, 32 % responderam que todos os bairros apresentaram desconforto térmico, mas 36% destacaram que a chuva atenuava o desconforto na cidade e 38% indicaram a arborização para melhorar o conforto térmico.

#### **2.4.1 Áreas verdes**

O crescimento das cidades é acompanhado, na sua maioria, pela deterioração progressiva do ambiente, ao substituir áreas verdes por edificação que requer materiais da construção civil com menor albedo da superfície (MOREIRA, 2014).

As áreas centrais do perímetro urbano, geralmente, concentram as maiores edificações, mobilidade de veículos e pessoas e as ações antrópicas que favorecem maior elevação da temperatura do ar, fenômeno esse denominado de ilhas de calor.

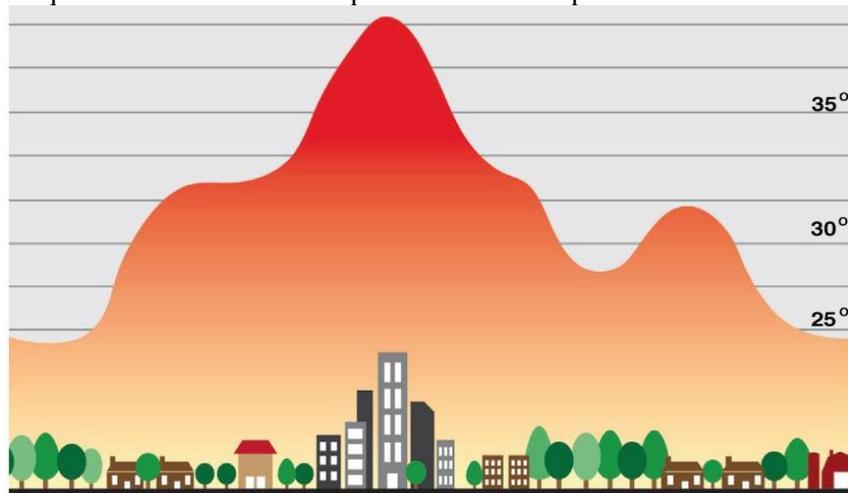
De acordo com Lombardo (1985), a ilha de calor urbana equivale a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, o que condiciona ao surgimento de circulação local.

As ilhas de calor foram estudadas, inicialmente, nas cidades de latitudes médias (LANDSBERG, 1970; OKE, 1987; MONTEIRO, 1997); e mais recentemente no ambiente tropical, o Brasil (TARIFA, 1977; LOMBARDO, 1985; CARDOSO, 2015; PORANGABA, 2017; dentre outros).

O efeito da ilha de calor nas cidades ocorre devido à redução da evaporação, ao aumento da rugosidade e às propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais pavimentados. Pimentel (2019) afirma que a vegetação tem capacidade para atenuar as características do clima urbano, criando microclima diferenciado e propiciando a formação de ilhas de calor.

A Figura 2 ilustra a influência causada em ambiente urbano no aumento de temperatura do ar. A vegetação exerce influência na temperatura do ar através do controle da radiação solar do vento e da umidade do ar (COSTA, 2009).

**Figura 2.** Croqui demonstrativo do comportamento da temperatura do ar no ambiente urbano.



**Fonte:** Adaptado por Jornal imagem da ilha de Word Meteorological Organization, (2022).

Souza et al., (2009), ao analisarem três áreas do município de Mossoró-RN, constataram valores menores de temperatura e maiores de umidade ao se aproximarem da zona rural, sendo contrário ao se aproximar da zona urbana. No dia mais quente do período estudado, a diferença na temperatura do ar do centro, área mais urbanizada, com a zona rural foi de 2,2° C e 5% de

UR. Isso demonstra a importância de se preservar os ambientes chamados de “áreas verdes” como parques e áreas de proteção ambiental dentro das cidades.

Lombardo, Fruehauf e Pellegrino (2021) também constataram no município de São Paulo, através de mapas temais, de uso de solo e índice de vegetação, que as áreas construídas e com menor índice de vegetação foram as que apresentam maiores temperaturas.

Da mesma forma, Santos e Pinto (2020) ao analisarem as temperaturas no bairro Atalaia, Aracajú, SE, através de mapas temais, perceberam que nas áreas que existiam corpo hídrico, áreas verdes e a presença do vento direta, a temperatura era mais amena. No entanto, nas áreas do bairro que não tinha presença de corpos hídricos e vegetação rarefeita, tendo um percentual de áreas urbana muito grande e as edificações verticais, limitavam a entrada do vento, a temperatura é maior.

A Arborização dos ambientes é uma proposta para manter a umidade na atmosfera favorável e amenização da temperatura do ar (SANTOS; PEREIRA; RODRIGUES, 2018).

Lombard (1997, p.3), afirma:

A maior quantidade de vegetação implica em mudança de balanço de energia, já que as plantas, através do processo de fotossíntese e transpiração, absorvem a radiação solar. Do mesmo modo as massas d'água interferem no balanço de energia, em função de sua alta capacidade calorífica, bem como do consumo de calor latente pela evaporação.

Analisando quatro cidades no estado de São Paulo e a zona rural do oeste paulista referente às diferenças de temperatura entre o urbano e o rural sob condições atmosféricas estáveis, Amorim (2010) obteve diferenças de temperaturas quando comparando o rural e o urbano, de até 8,0°C. No entanto, quando se compara as temperaturas entre as cidades, as diferenças foram pequenas, porém, as que passavam rios próximos, foram as de menores temperaturas, sendo, possivelmente, responsáveis pelos menores valores de temperaturas.

Quando no mesmo estudo, analisada a temperatura de cada cidade no espaço intraurbano, percebeu-se que em todas as cidades, tanto as três cidades pequenas, como a cidade média em estudo houve nas áreas densamente construídas maiores valores de temperaturas e formação de bolsões de ar quente, ou seja, ilhas de calor.

Conforme explica Silva (2017), as ilhas de calor são um dos principais problemas da prática da alteração do ambiente natural pelo ambiente artificializado que ocorre nos espaços urbanos. Nessa perspectiva, Brasileiro e Zanella (2021) ao investigar sobre a formação de ilhas de Calor da cidade de Sobral-CE, encontraram que em áreas mais ocupadas e com maiores alteração do solo e menor cobertura vegetal, são os locais de maior probabilidade para ocorrência de ilhas de calor superficiais.

Para Costa (2009), “a presença de vegetação nas cidades, além de ser um indicador de qualidade ambiental e de vida, se constitui num regulador do clima urbano, tanto a nível de escala mesoclimática quanto microclimática”.

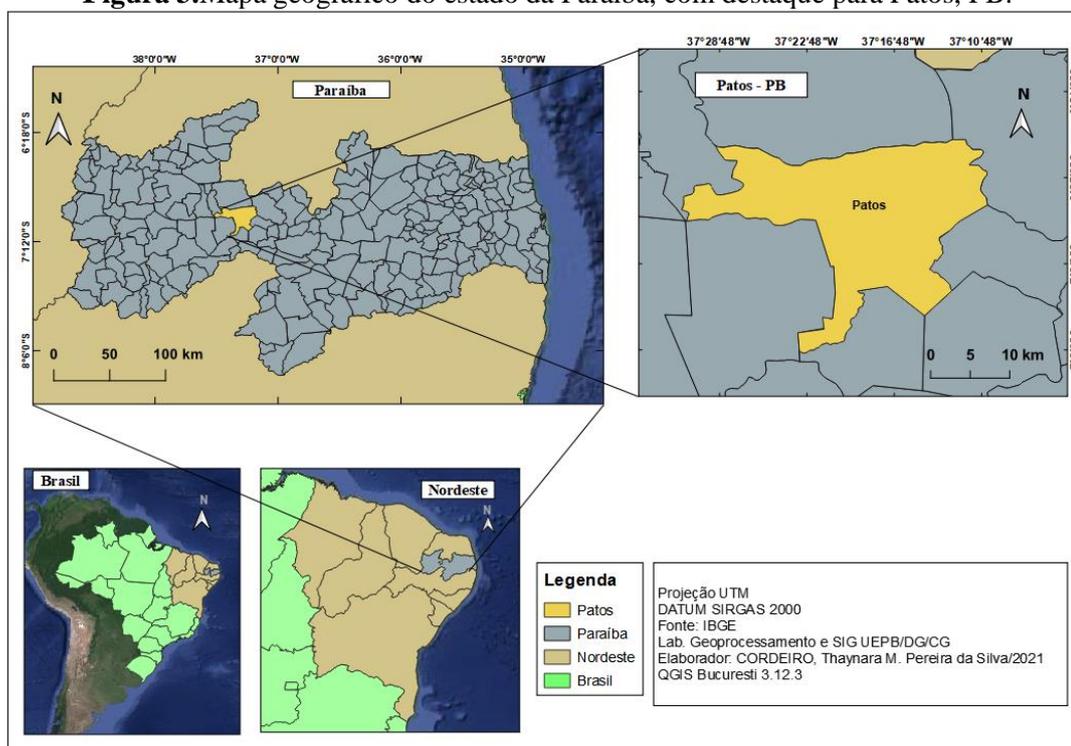
As análises de ilhas de calor podem ser feitas por vários métodos, tais como pelo uso de sensoriamento remoto ou transectos móveis, como também em pontos fixos por meio de uma rede de sensores de temperatura inseridos na malha urbana e no ambiente rural. Os principais fatores que contribuem à formação das ilhas de calor urbana, é resultado do balanço de energia, mediante os aspectos naturais e urbanos (AMORIM,2017;2019).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Área de Estudo

O trabalho foi realizado na cidade de Patos, localizada na Paraíba, Latitude: 07° 01' 32"04 S, Longitude: 37° 16' 40" W e altitude de +242 m, situada na região intermediária de Patos, no Sertão paraibano e inserido na depressão sertaneja (Figura 3).

**Figura 3.** Mapa geográfico do estado da Paraíba, com destaque para Patos, PB.



Elaborado pelo autor, (2021).

A População estimada pelo IBGE, 108.192 habitantes, densidade demográfica de 212,82 hab\km<sup>2</sup>, com área territorial de 472,892 km<sup>2</sup>. O clima de acordo com a classificação climática de Köppen (1948), o clima predominante é do tipo semiárido e quente (BSh), com vegetação ou paisagem dominada por plantas de pequeno porte, temperatura média anual superior a 18°C e precipitação pluvial máxima ocorrendo entre o final do verão e o outono.

A topografia dos terrenos da área territorial de Patos possui cotas situadas entre 240 metros à 580 metros. O seu relevo é predominantemente ondulado à suavemente ondulado, com declividade média à baixa, com exceção de áreas ao norte onde se localiza a serra de Carnaúba, ao sul nos serrotes de Espinho Branco e Forquilha, centro-oeste no serrote Serra Negra, noroeste nos serrotes Campo Alegre, Trapiá, e serra do Boqueirão, e, à oeste nos serrotes Pitombeiras, do Caboclo e do Tamanduá. Nestas áreas a declividade é média à elevada (CPRM, 2005).

O município de Patos encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, sub-bacia do Rio Espinharas. É abastecido pelos açudes do Jatobá e da Farinha com precipitação média de 749,67 mm/ano (MONTEIRO et al., 2017). A vegetação é predominantemente caatinga. Os solos predominantes são do tipo luvisolos, anteriormente determinados Bruno não-cálcicos (SANTOS et al., 2013), com afloramentos rochosos (CPRM, 2005).

### 3.2 Procedimentos metodológicos

Os dados meteorológicos foram coletados, utilizando-se uma estação meteorológica automática (EMA), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada em Patos, cujos dados foram disponibilizados na página da <http://www.inmet.gov.br>.

A estação EMA de Patos-PB (Figura 4), foi instalada em uma base física, numa área livre de obstruções naturais e prediais, situada em área gramada mínima de 14 m por 18 m, cercada por tela metálica. Os sensores e demais instrumentos são fixados em um mastro metálico de 10 metros de altura, aterrado eletricamente (malha de cobre) e protegido por pára-raios.

**Figura 4.**Localização da estação meteorológica em Patos-PB.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

A EMA ou PCD é composta por uma unidade de memória central ("data logger"), contendo vários sensores meteorológicos para medidas da pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, dentre outros. As medidas são feitas a cada minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora. A série de dados utilizados corresponde ao período de 01.10.2008 a 31.12.2020.

A cada hora, os dados foram integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite para a sede do INMET, em Brasília. O conjunto dos dados recebidos é validado, através de um controle de qualidade armazenado em um banco de dados.

Como os registros contínuos horários de temperatura do ar ( $t_{ar}$ ) e umidade relativa (UR), foram calculados os dados derivados de  $t_{ar}$  e UR, na escala horária, da pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ), pressão parcial de vapor ( $e_a$ ), déficit de pressão de saturação (DPS) e a temperatura do ponto de orvalho ( $t_o$ ), mediante as respectivas equações 1, 2 e 3.

$$e_s (kPa) = 0,61 \times 10^{\left[ \frac{7,5 \times t_{ar}}{237,3 + t_{ar}} \right]} \quad (1)$$

$$e_a (kPa) = (e_s \times UR) \times 0,01 \quad (2)$$

$$DPS(kPa) = (e_s - e_a) \quad (3)$$

$$t_o (^{\circ}C) = \frac{237,3 \times \log(e_a / 0,61)}{7,5 - \log(e_a / 0,61)} \quad (4)$$

A caracterização higrotérmica da cidade de Patos, nas escalas horária, diária, mensal e sazonal foi feita na escala horária, utilizando-se os horários da temperatura do ar ( $t_{ar}$ ), umidade relativa (UR) e dos derivados pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ), a pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) e o déficit de pressão de saturação (DPV).

Nos cálculos e análises dos valores diários referentes aos solstícios e equinócios, computaram-se: verão (do dia 22 de dezembro a 20 de março) e inverno (de 22 de junho a 20 de setembro). Já, os equinócio de primavera (de 22 de setembro a 21 de dezembro) e de outono (de 21 março a 21 de junho).

Foram calculadas as frequências médias horárias, para o período diurno, entre 06:00 e 18:00 h, com temperatura do ar e da umidade relativa, por intervalos de classe ( $< 22,0^{\circ}C$ ;  $22,0^{\circ}C \leq t_{ar} < 26,0^{\circ}C$ ;  $26,0^{\circ}C \leq t_{ar} < 30,0^{\circ}C$ ;  $30,0^{\circ}C \leq t_{ar} < 34,0^{\circ}C$  e  $t_{ar} > 34,0^{\circ}C$ ) e (Ur  $> 80,0\%$ ;  $60,0\% \leq Ur < 80,0\%$ ;  $30,0\% \leq Ur < 60,0\%$ ;  $20,0\% \leq Ur < 30,0\%$ ;  $12,0\% \leq Ur < 20,0\%$  e  $Ur < 12,0\%$ ).

Para estabelecer as relações entre a temperatura do ar e umidade relativa, escolheram-se as frequências de ocorrências dos valores de  $t_{ar} \geq 30,0 \text{ }^\circ\text{C}$  versus  $U_r < 50\%$ , nos horários entre 11:00 e 18:00 e  $t_{ar} \leq 22,0 \text{ }^\circ\text{C}$  versus  $U_r \geq 80,0 \%$ , nos horários entre 00:00 e 06:00 h.

De posse dos teores de  $U_r$ , por intervalos de classe, foi discriminado os respectivos níveis de criticidade, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1.** Escala psicrométrica e classificação dos níveis de criticidade

Intervalo de umidade relativa ( $U_r$ )	Nível de criticidade
$U_r \geq 80 \%$	Alta
$60\% \leq U_r < 80\%$	Ideal
$30\% \leq U_r < 60\%$	Baixa
$20\% \leq U_r < 30\%$	Atenção
$12\% \leq U_r < 20\%$	Alerta
$U_r < 12\%$	Emergência

Fonte: Almeida (2017) adaptado

Para calcular o índice de sensações térmica, denominado de Índice de Desconforto térmico (ID), calculado em função das temperaturas do bulbo seco ( $t_s$ ) e úmido ( $t_u$ ), utilizando-se a equação proposta por Thom (1959), mediante a expressão e a classificação do ID, por intervalo térmico, como mostra a Tabela 2:

$$ID = 0,4 * (t_s + t_u) + 4,8$$

A temperatura do bulbo úmido foi estimada utilizando-se um algoritmo, mediante a expressão:

$$t_u(oc) = t_{ar} + (U_r \times t_o) - (U_r \times t_{ar})$$

**Tabela 2.** Classificação do índice de Desconforto, segundo Thom (1959).

Intervalo do ID ( $^\circ\text{C}$ )	Classificação
$ID < 21$	Confortável
$21 < ID < 24$	10% da população sentem desconforto
$24 < ID < 26$	50% da população sentem desconforto
$ID > 26$	100% da população sentem desconforto
$ID > 26,7$	Desconforto muito forte e perigoso

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Com base na TE foi determinado o índice de conforto térmico, com base nos procedimentos preconizados por THOM (1959), mediante a avaliação do processo cognitivo proposto por (ASHRAE, 2001), descrito por Thevenard e Humphries (2005), como: a) zona de

conforto entre  $18,9^{\circ}\text{C} < \text{TE} < 25,6^{\circ}\text{C}$ ; b) estresse térmico para frio ( $\text{TE} < 18,9^{\circ}\text{C}$ ) e c) estresse térmico para o calor ( $\text{TE} > 25,6^{\circ}\text{C}$ ).

Para complementar a versão de Thom (1959), foi utilizada, os procedimentos propostos por Nieuwolt (1977), que combinam os dois elementos temperatura do ar e umidade relativa, mediante as expressões:

$$\text{TE} = T - 0,55 \times (1 - 0,01 \times \text{UR}) \times (T - 14,5)$$

Sendo: TE= temperatura efetiva ( $^{\circ}\text{C}$ ), T é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e UR é a umidade relativa (%). A sensação térmica humana foi estabelecida, utilizando-se intervalos da temperatura efetiva, de acordo com classificação proposta Hentschel (1986), descrita na Tabela 3.

**Tabela 3.** Sensação térmica humana, mediante a classificação da temperatura efetiva.

Intervalo do TE	Sensação térmica
$\text{TE} > 30^{\circ}\text{C}$	Calor extremo
$24^{\circ}\text{C} < \text{TE} < 30^{\circ}\text{C}$	Calor moderado
$18^{\circ}\text{C} < \text{TE} < 24^{\circ}\text{C}$	Agradável (levemente quente)
$12^{\circ}\text{C} < \text{TE} < 18^{\circ}\text{C}$	Agradável (levemente fresco)
$0^{\circ}\text{C} < \text{TE} < 12^{\circ}\text{C}$	Fresco
$-12^{\circ}\text{C} < \text{TE} < 0^{\circ}\text{C}$	Frio
$\text{TE} < -12^{\circ}\text{C}$	Frio extremo

**Fonte:** elaborado pelo autor, 2022.

Para o diagnóstico socioeconômico, utilizou-se os dados disponibilizados pelo IBGE, da expansão urbana do período 1985 a 2015 e da evolução populacional de 1970 a 2020.

Os dados vetoriais históricos da expansão urbana de Patos, foram obtidos através da plataforma mapbiomas, extraindo a camada referente as áreas urbanas.

Os cálculos, análises e confecção dos gráficos e tabelas foram realizadas a partir das planilhas eletrônicas da Microsoft Excel.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Evolução populacional e urbana de Patos, PB

A maioria dos artigos científicos publicados nos séculos passados relata inúmeras referências sobre a população e as modificações de seus componentes: fecundidade, mortalidade e migração.

As profundas transformações demográficas no Brasil têm provocados alterações na estrutura etária e necessidade de reorientação das políticas públicas. A anunciada crise, causada pelo envelhecimento da população, podem ser evitados com a qualificação da futura força de trabalho que é imprescindível para o equilíbrio social e econômica.

Do ponto de vista demográfico, o envelhecimento da população ocorre como consequência da queda da fecundidade, associada ao aumento da expectativa de vida e, conseqüentemente, à redução da mortalidade.

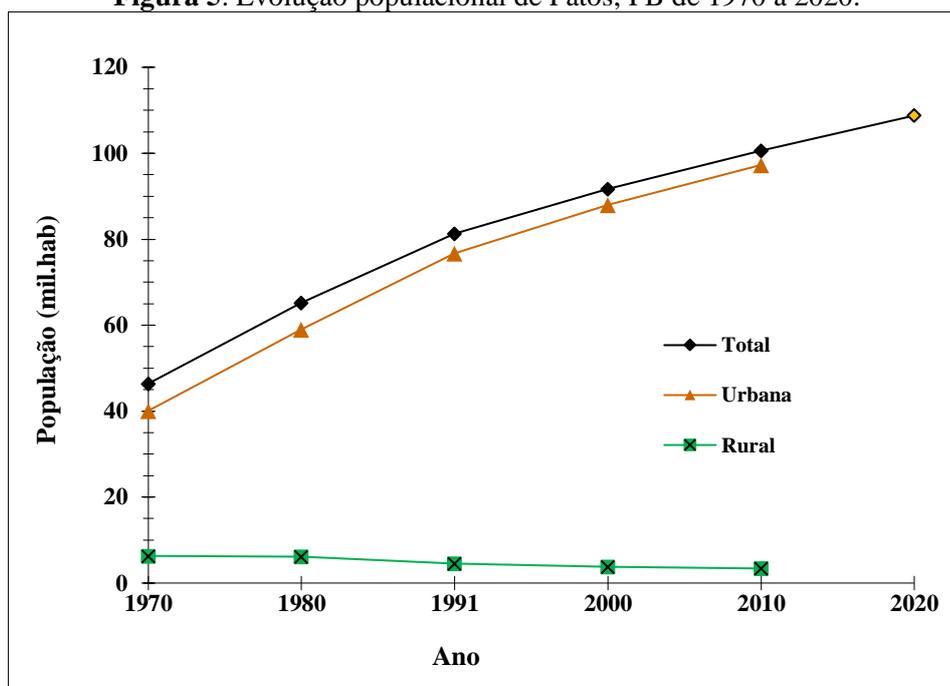
A cidade de Patos é o município mais populoso da sua região geográfica intermediária, cuja densidade demográfica de 212,82 habitantes por km<sup>2</sup> e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH – M) passou de 0,678, em 2000, para 0,701 em 2010, como resultado do aumento da renda, da longevidade e das condições de educação da população.

Na categorização hierarquia dos centros urbanos do Brasil, a referida cidade é classificada como centro sub-regional A, sendo definido como nível três, numa escala de cinco 5 níveis, ou seja, indica que Patos exerce influência marcante nas cidades próximas e grande importância na sub-região, ocupando a quinta posição do produto interno bruto (PIB) da Paraíba.

O crescimento acelerado da população é associado às atividades econômicas, cujo peso maior é o do setor de serviços, especialmente, a educação, saúde, seguridade social, comércio e as atividades imobiliárias.

No seguimento industrial se destaca a construção civil, com maior peso, a indústria de transformação e a produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana. O aumento populacional pressupõe a necessidade de construção, por exemplo, de moradias e serviços para atender as demandas da população, que por consequência, requer planejamento urbano.

A Figura 5 apresenta a taxa de crescimento populacional do município de Patos, nos últimos 51 anos.

**Figura 5.** Evolução populacional de Patos, PB de 1970 a 2020.

Fonte: Adaptado IBGE- Censo demográfico

A população total de Patos, em 1970, era de 46.414 mil habitantes (Figura 5), com predominância para urbana, com 86,4%. No censo de 2010, a população totalizava mais de 100 mil habitantes, do qual 96,6 % residem na zona urbana (97.278 mil habitantes).

Entre 1970 e 2010, houve um crescimento de 45.347 mil habitantes, o equivalente a um aumento de 116,9%, de pessoas residindo na zona urbana. Em 2010 essa população beirava os cem mil habitantes.

A urbanização é um processo em progresso em todo o mundo e, por isso, tem várias definições: concentração espacial de uma população, a partir de certos limites de dimensão e intensidade; difusão do sistema de valores, atitudes e comportamentos denominado “cultura urbana”. Por isso, concorda-se com Costa (2009), que a urbanização contribui nas condições do clima local e a responsável pela geração de um clima especificamente urbano.

Embora os resultados da Figura 4 corroboram-se com os de Nascimento e Lira (2013, p.11), o crescimento populacional de Patos, a partir de 1990, foi influenciado pela industrialização. Esse crescimento da população urbana e a adição de novos elementos físicos e estruturais da cidade alteram as condições ambientais naturais, originando o clima urbano.

A expansão urbana, durante o período de 1970 a 2013, resultou num aumento considerável de área, passando de 3,06 km<sup>2</sup>, em 1970, para 24,03 km<sup>2</sup>, em 2013, o equivalente a um crescimento de 685,3%. Resultados esses que concordam com os de Carvalho (2018 p. 46) nos quais o crescimento da expansão urbana foi maior do que o populacional.

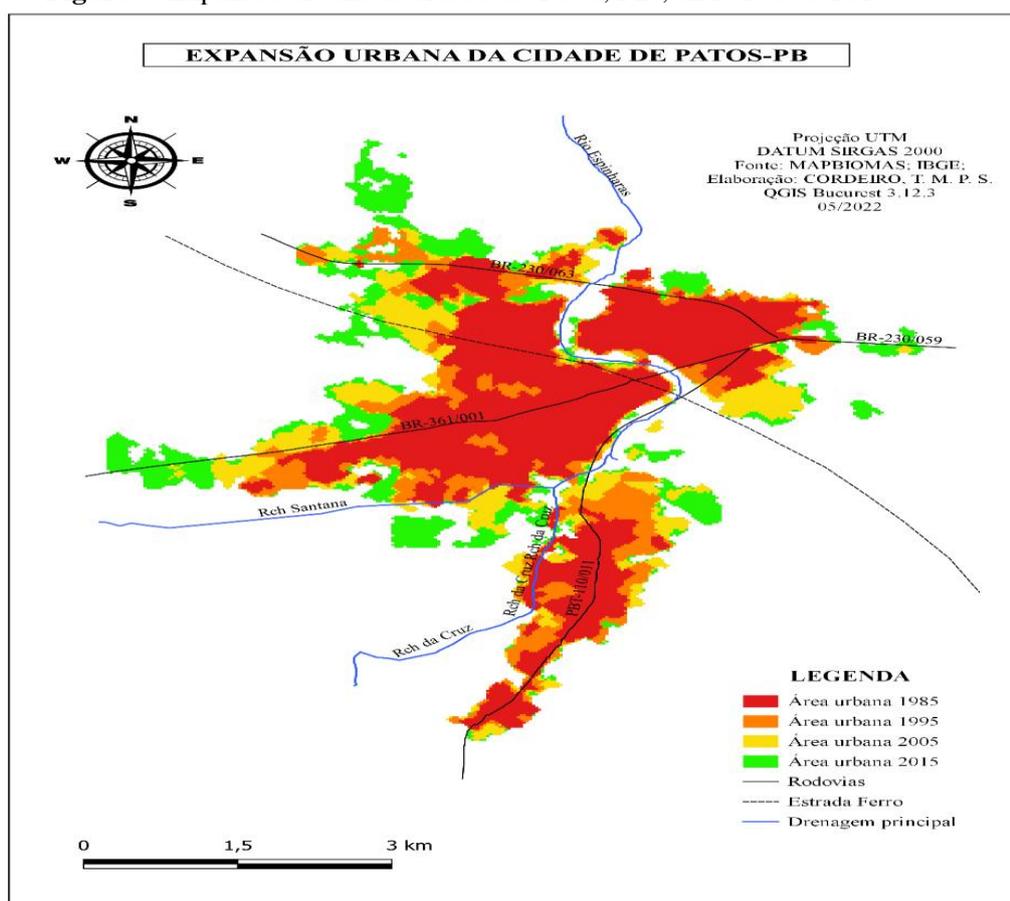
A intensificação do processo de urbanização é um dos grandes indutores dos atuais problemas ambientais, haja vista à diversificação de usos da terra, à degradação dos solos, à retirada da vegetação, dentre outros.

A questão urbana brasileira indica que a expansão das áreas periféricas está relacionada à procura por habitação em áreas de menor custo, provocando um aumento das ocupações precárias, como favelas e loteamentos irregulares, e em áreas sem infra-estrutura e com elevado risco.

A forma como é feita a ocupação do espaço tem provocado sucessivos e inúmeros problemas ambientais, como degradação da cobertura vegetal, perda de biodiversidade, obstrução e alteração da rede de drenagem, desencadeamento de processos erosivos, dentre outros.

Neste contexto, concorda-se com Bezerra et al., (2022), que o crescimento da malha urbana de Patos ocorreu de forma dispersa e fragmentada, que possivelmente pode ter decorrido dos obstáculos, como o Rio Espinharas e das rodovias que cortam a cidade, cuja expansão urbana nos últimos 30 anos e apresentada na Figura 6.

**Figura 6.** Expansão urbana da cidade de Patos, PB , entre 1985 a 2015.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2022).

O rápido processo de urbanização vem criando desafios em termos ambientais e socioeconômicos, para o planejamento urbano. O aumento da população associado à urbanização tem como consequência principal, a formação de um micro clima urbano, devido às construções e superfícies impermeabilizantes, que acabam formando as “ilhas de calor”, que afetam diretamente na qualidade de vida da população.

Diante disto, há necessidade de estabelecer as principais características do higrótérmicas do ar troposférico, numa escala micro, como será mostrado a seguir:

#### **4.2 Características higrótérmicas do ar úmido da cidade de Patos, PB.**

As ciências exatas, naturais e sociais enfrentam, na atualidade, um grande desafio que é o de compreender os ecossistemas, especialmente, os urbanos. A estrutura complexa das cidades vem resultando padrões heterogêneos e complexos sobre a gestão desses espaços.

O ambiente urbano é diferenciado pela ação antrópica sobre o meio natural, o que gera o chamado “clima urbano”. Essas diferenças são atribuídas, em grande parte, a alterações do terreno natural, através da construção de estruturas e superfícies artificiais.

As principais modificações se resumem na substituição da cobertura natural por diversos tipos de pavimentações, bem como a inserção de um sistema de drenagem artificial que permite escoamento rápido das águas pluviais e provoca redução da evaporação e, conseqüentemente, da umidade do ar.

Os materiais de construção utilizados no meio urbano possuem propriedades físicas distintas do solo natural, apresentando menor valor de albedo, maior capacidade calorífica e valor mais elevado de condutividade térmica. Essas características resultam na modificação do balanço de energia influenciando, sobretudo, a temperatura do ar.

No entanto, nos planejamentos das cidades, não se tem dado a devida atenção as condições de tempo (climática). A maioria dos centros urbanos privilegia construir sem a preocupação de como essas construções modificam a atmosfera urbana.

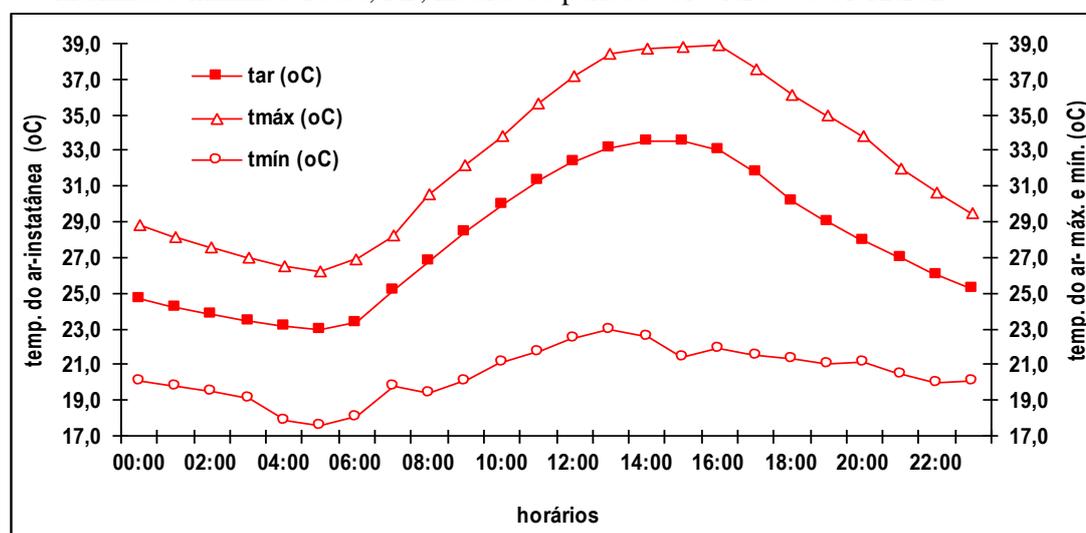
O clima das cidades começou a despertar interesse científico a partir de meados do século XIX. O crescimento das cidades e/ou das regiões metropolitanas, em conjunto com a população, introduz novos parâmetros artificiais (físico, químico, edificação, dentre outros) que ao interagir com a atmosfera e influenciam as condições urbanas.

Os dados de temperatura do ar ( $t_{ar}$ ), umidade relativa ( $U_r$ ) e os derivados da  $t_{ar}$  e  $U_r$ , apresentados foram coletados em condições padronizadas, ou seja, na estação meteorológica automática (EMA) da cidade de Patos.

As médias horárias das temperaturas do ar e da umidade relativa são mostradas nas Figuras 7 e 8.

A representação gráfica 7 mostra uma variação mais uniforme das médias da temperatura média, quando se compara com a máxima e mínima. Esse reflexo ou mesmo essa variação ao longo do dia se deve ao balanço de energia.

**Figura 7.** Relação entre as médias horárias da temperatura do ar instantânea e as temperaturas máximas e mínimas. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Percebe-se que as curvas têm pequenas oscilações, isso é devido cada hora resultar de uma média com quase cinco mil repetições, logo as oscilações são suavizadas.

Observa-se (Figura 7) nas médias de temperatura máxima que entre 09:00 às 21:00h os valores são acima de 31° C, com pico máximo de 38,9 °C às 16:00 e das médias mínimas menores ou igual que 20,0 °C ocorreram entre 22:00 e de 01:00 às 08:00 h, com ponto mínimo 17,4°C às 06:00 horas manhã. Já, a média aritmética horária, equivale a  $27,9 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ .

Comparando-se as amplitudes da temperatura máxima e da temperatura média, calculadas pelas diferenças entre a maior e a menor máxima e a média, verifica-se que a amplitude da temperatura máxima é maior do que a da temperatura média, cujos valores foram, respectivamente, de 12,7 °C e 10,6 °C.

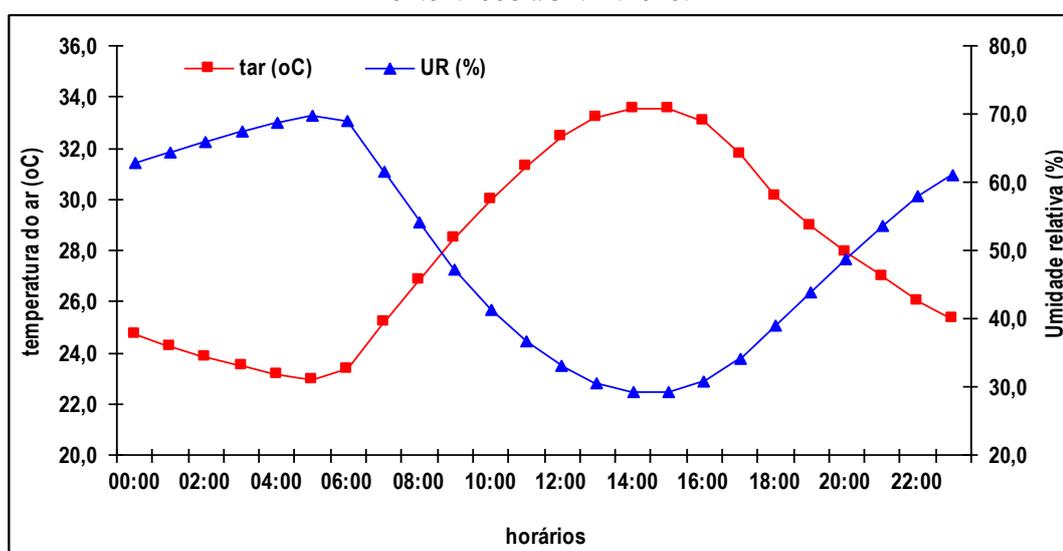
A ocorrência de uma amplitude maior, para a temperatura máxima, pode ser explicada, porque essa temperatura é medida e ocorre num intervalo de tempo relativamente pequeno. Já, a temperatura média, não é medida, mas calculada, utilizando-se, nesse cálculo, os valores instantâneos da temperatura do ar medidos nos horários das 12 e 24 UTC, e as temperaturas extremas (máxima e mínima do dia).

A compreensão da variabilidade de elementos do Tempo é necessária para entender a sua complexa dinâmica, em qualquer escala de tempo comum- hora, dia, mês e ano- em especial, as principais características da psicrométrica do ar úmido horária.

Concorda-se com Almeida (2016) que os fatores geográficos (latitude, longitude e altitude) influenciam os elementos meteorológicos. No caso específico da temperatura do ar, o fator altitude contribui de forma inversa. Como a umidade relativa do ar decresce com o aumento da temperatura do ar, assim quanto maior for a temperatura menor será a umidade relativas (TORRES e MACHADO, 2008; ALMEIDA, 2016).

As Figuras 8, 9 e 10 mostram, respectivamente, a relação horária entre as temperaturas instantâneas do ar- médias horárias- da temperatura do ar, máxima e mínima- com a umidade relativa do ar, para a cidade de Patos.

**Figura 8.** Médias horárias da temperatura do ar e da umidade relativa. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



**Fonte:** Elaborado pelo autor, (2022).

Constata-se que a relação horária entre a umidade relativa do ar e a temperatura do ar demonstra a razão inversa existente entre si. Verifica-se, também, que as curvas são inversamente proporcionais e, por isso, as concavidades são opostas e bem definidas, sobretudo, nos períodos diurno/noturno (entre 07:00 e 17:00h) e noturno/começo da manhã (das 21:00 às 05:00:00 h). Além dessa característica, em qualquer horário a inversão se mantém, ou seja, quanto maior for a temperatura menor será a umidade relativa e vice versa.

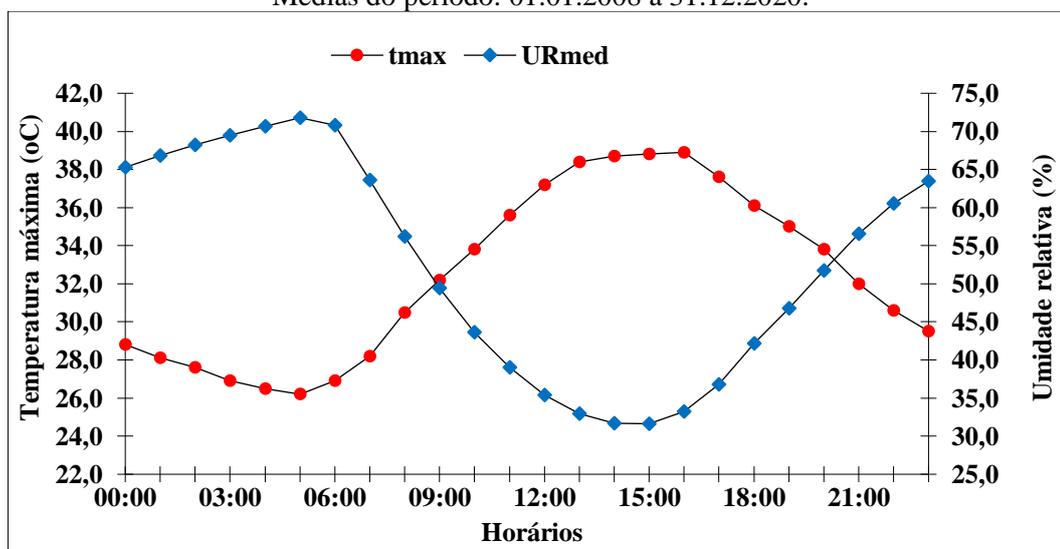
Contabilizando-se os percentuais de frequências da umidade relativa do ar, no período diurno (de 07:00 e 17:00 h), verifica-se que, em 15,4% dos horários a Ur foi maior que 60,0 % e em apenas 2,1% desses a UR supera os 80,0 %. Já, no período noturno (de 18:00 a 06:00 h da

manhã), a Ur foi maior que 60% e 80,0 %, respectivamente, em 84,8 e 17,5% desse intervalo horário.

Relacionando-se os números de repetições com ocorrências horárias de com maiores valores de temperatura e menores umidade atmosférica (Figura 8), verifica-se que os teores médios diários de Ur menores que 60,0 % (sendo o índice de 60% ideal para saúde), são da ordem de 15% das horas do dia e de  $\pm 47,0$  % entre 30 e 60%.

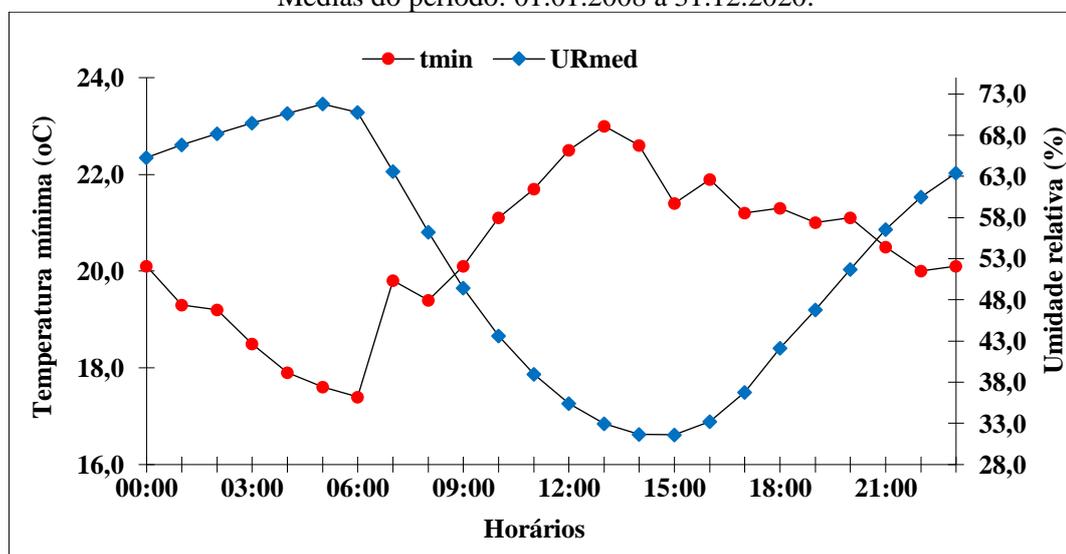
Observa-se (Figuras 9 e 10) que os formatos das curvas (tmax versus Ur e tmin x Ur) se mantêm de forma inversa, embora não tão bem definidos, quando se comparam com as concavidades formadas com as da temperatura do ar.

**Figura 9.** Relações horárias entre a temperatura máxima média e a umidade relativa do ar. Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Figura 10.** Relações horárias entre a temperatura mínima média e a umidade relativa do ar. Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Elaborado pelo autor, (2022)

É importante destacar que, a umidade relativa do ar é diretamente proporcional a pressão parcial de vapor. Essa condição faz com que a Ur seja maior quando ocorre chuva. Por isso, concorda-se com as correlações feitas por Chegury (2022), na relação da temperatura com a umidade relativa do ar, em Cuiába-MT, ao encontrar a relação inversa da temperatura com a umidade relativa, mas constatou que no mês com maior teor de umidade relativa não coincidiu com o de menor temperatura, mas com o de maior precipitação pluvial.

Em análise, constata-se que no período diurno entre 07:00 e 17:00 h em 15,4% dos horários a umidade relativa foi maior que 60,0 % e em apenas 2,1% desses a UR supera os 80,0 %, enquanto no período noturno entre 06:00 e 18:00 h a UR maior que 60% em 84,8% dos horários e maiores que 80% de UR em apenas 17,5% dos horários.

Já, nos horários com maiores valores de temperatura e menores umidade atmosférica médias, verifica-se que a UR foi menor que 60,0 % (sendo o índice de 60% ideal para saúde), entre 08:00 às 21:00 horas, como mostra a Figura 9.

No computo geral, em mais da metade dos horários do dia, o teor de Ur foi menor que 60%; dos quais em 42,7% desses foram menores que 50,0 %. No entanto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece que a umidade relativa entre 60% e 80% é o ideal, cuja frequência relativa foi em torno de 15,0 %, de 30% a 60% é considerado não recomendado, de 20% a 30%, atenção, 12% a 20%, alerta, sendo considerada emergência quando a umidade é menor que 12%.

As consequências do baixo teor de umidade relativa na saúde humana são complicações alérgicas e respiratórias, especialmente, com o aparecimento de sintomas mais comuns, tais como: ressecamento das mucosas e da pele, sangramento no nariz e irritação dos olhos. Essas sintomatologias corroboram com os resultados de Oliveira (2014), que elevadas variações de temperaturas e umidade relativa são as principais responsáveis por acarretarem esses problemas de saúde, além da desidratação, pressão alta e convulsões, cardiovasculares e respiratórios, principalmente, na população infantil e idosa.

Destaca-se, entretanto, que a variação temporal da temperatura, possivelmente, seja a mais significativa alteração gerada pela urbanização. Esse elemento do clima interfere no desempenho das pessoas nas cidades, como também, contribui a qualidade ambiental.

A umidade relativa do ar, por ser intimamente relacionada à temperatura, tem grande importância nas condições de tempo nas cidades, uma vez que a Ur amplia a sensação térmica percebida pelas pessoas e influencia diretamente o nosso organismo

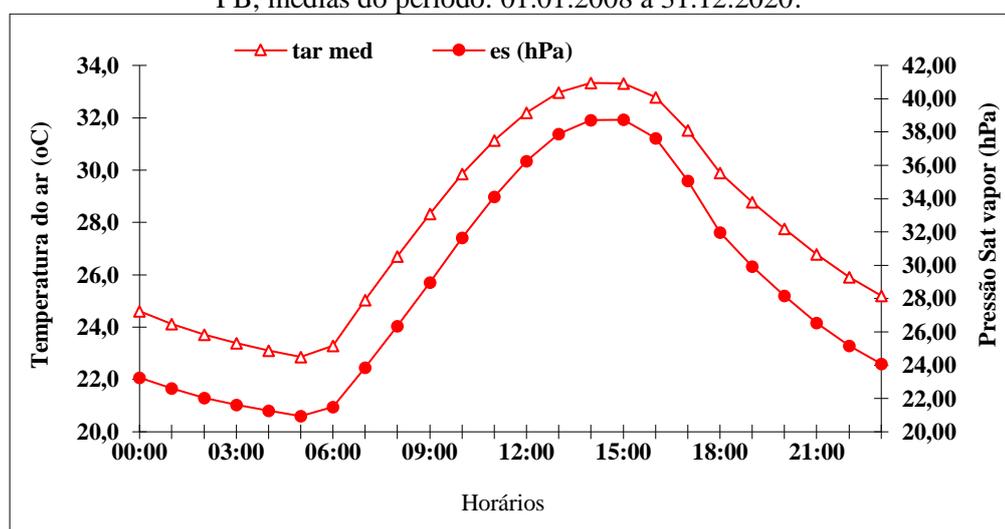
Concorda-se com Almeida (2016) que o teor de umidade do ar pode variar tanto no espaço quanto no tempo. Em um determinado local, a variação temporal depende da circulação da atmosfera, da localização relativa das fontes e sumidouros de vapor d'água, do suprimento de energia solar, dentre outros.

Em virtude da relação existente entre a temperatura do ar e umidade relativa, a arborização nas cidades os influencia e, portanto, as árvores alteraram a sensação do conforto térmico no ambiente urbano.

As variações térmicas, associadas com a umidade relativa e os dados derivados, são os elementos mais importantes do meio ambiente, seja ele rural ou urbano. As funções fisiológicas do ser humano respondem às oscilações do tempo meteorológico. Um grande grupo de patologias humanas e animais são influenciadas/induzidas pelas condições de tempo.

As variáveis psicrométricas estimáveis a partir da temperatura (pressão de máxima de saturação de vapor ( $e_s$ )) e dos dados derivados da tar e Ur (pressão parcial de vapor( $e_a$ )), são apresentados nas Figuras 11 e 12.

**Figura 11.** Médias horárias da temperatura do ar e da pressão máxima de saturação de vapor. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Como pode ser observada na Figura 11, a pressão máxima de saturação de vapor, por ser uma função direta e potencial da temperatura, as curvas se comportam de forma simétrica. Isso indica que, quanto maior for a temperatura, maior foi a capacidade do ar para reter o vapor d'água e vice versa. Verifica-se (Figura 11) que nos horários 14:00 e 15:00 h, ocorreram maiores valores de  $e_s$ , coincide com maiores valores de temperaturas.

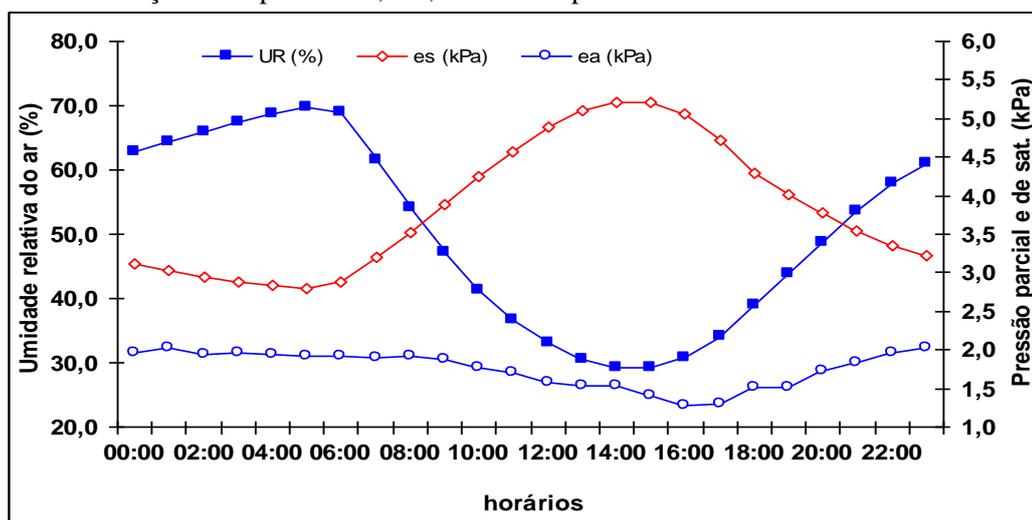
Contabilizando-se os valores horários da pressão de saturação de vapor entre 01:00 às 06:00, apresenta em 24,4% dos horários menores que 25,00 hPa, já valores maiores que 40 hPa, em 5,1% dos horários entre 14:00 e 16:00 h.

A quantidade de vapor que pode existir é limitada para cada valor de temperatura. Como vista na Figura 11, temperaturas mais elevadas permitem reter mais vapor d'água do que em um ambiente com temperaturas mais baixas.

A pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) ocorre, quando o ar atingiu a máxima quantidade de vapor d'água para um determinado valor de temperatura, chegando a saturação do ar. Enquanto que, a pressão parcial de vapor ( $e_a$ ), ocorre quando justamente o ar não chega a quantidade máxima de vapor que determinada temperatura, podia conter. A quantificação da umidade relativa do ar é feita mediante a razão entre  $e_a$  e  $e_s$ .

A Figura 12 apresenta, de forma resumida, as médias horárias da umidade relativa e das pressões parcial e de saturação de vapor, expressa pelas relações entre si e nas respectivas unidades de medidas em % e em quilo pascal (kPa).

**Figura 12.** Relação entre as médias horárias da umidade relativa do ar versus pressão parcial e de saturação de vapor. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



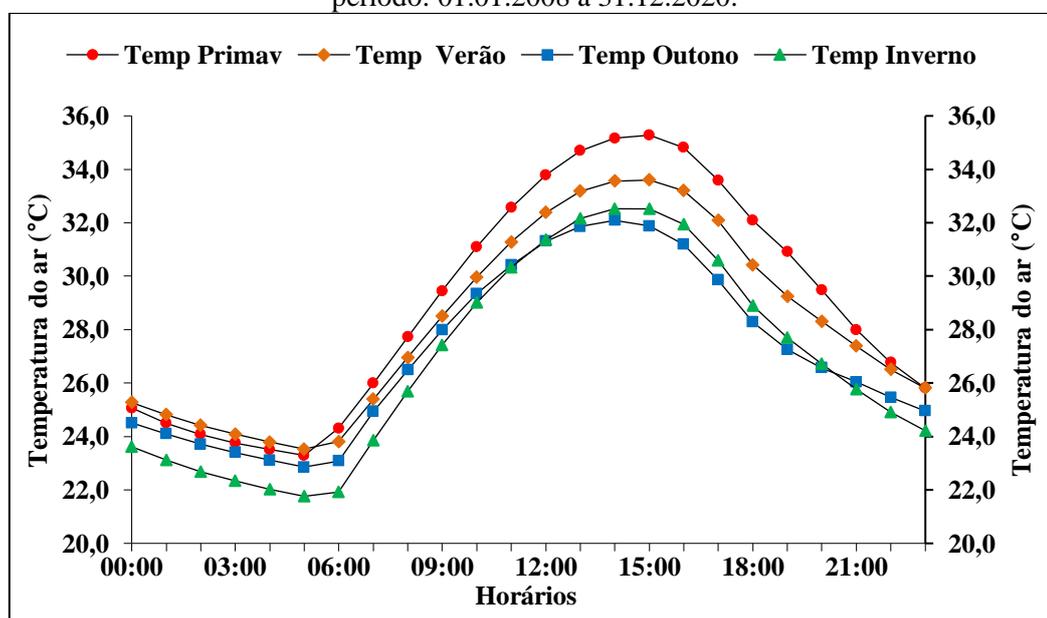
Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Observa-se (Figura 12) que a pressão parcial de vapor quando comparada a pressão de saturação apresenta pouca variação durante todo o dia, com média diária de 1,77 kPa e amplitude de apenas 0,53 kPa. Já, a pressão máxima de saturação, teve uma média diária de 3,85 kPa, com médias dos valores máximo e mínimo de 5,02 e 2,27 kPa, respectivamente.

Como a variação diária do  $e_a$  é muito pequena, quase constante, a oscilação da umidade relativa passa ter influência indireta da temperatura do ar, numa razão inversa.

Devido à importância de estudar o Tempo em diferentes escalas temporais do tempo comum, com destaque para as oscilações em cada estação do ano: primavera, verão, outono e inverno, as Figuras 13 e 14, mostram, de forma simplificada, as médias horárias da temperatura do ar, da umidade relativa e das relações entre si, nas quatro estações do ano.

**Figura 13.** Médias horárias da temperatura do ar nas estações do ano, em Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As médias horárias de cada um desses elementos referem-se às médias aritméticas dos dias do solstício de verão (de 22 dezembro a 20 de março) e nos de inverno (de 22 de junho a 20 de setembro) e nos equinócios de outono (21 de março a 21 de junho) e de primavera (21 de setembro a 21 de dezembro).

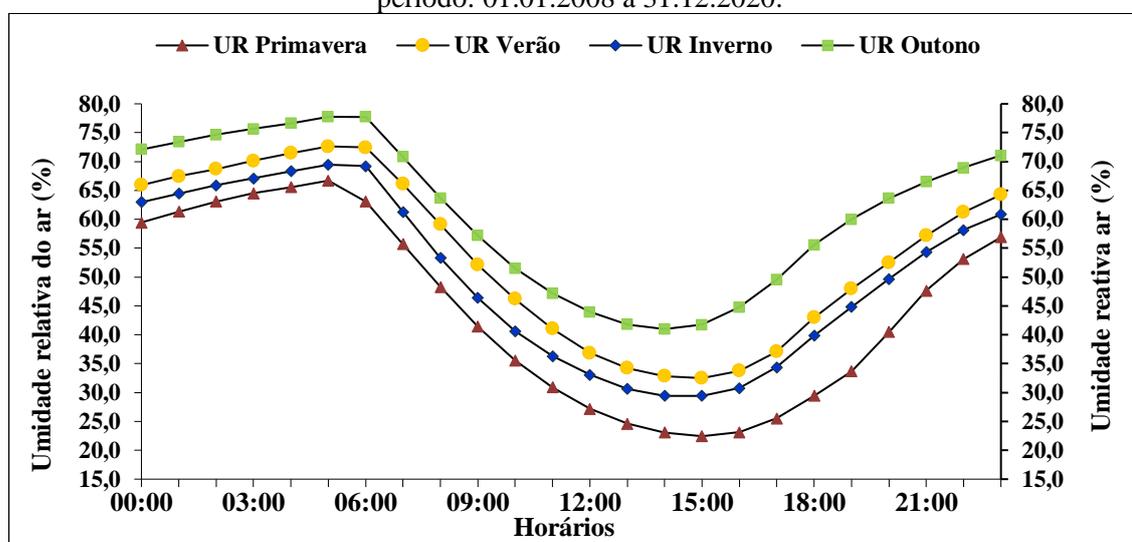
Ao comparar, as médias horárias da temperatura do ar nos dias e horários do solstício de verão e de inverno, observa-se que, os valores foram  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  maiores no verão ( $+1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) do que no inverno, com diferenças mais acentuadas no período noturno, entre 21:00 e 06:00 h da manhã.

Da mesma forma ao comparar as médias horárias dos equinócios, verifica-se que na primavera os valores foram  $+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  maiores e no outono, sendo o período diurno, entre 09:00 e 21:00 h que mais acentua-se a diferença de temperatura entre os equinócios.

Essas variações térmicas relativamente pequenas entre as temperaturas do ar por ocasião do solstício de verão e equinócio da primavera são consequência da menor latitude, locais localizados em latitudes próximas ao equador geográfico têm menor a amplitude do que em locais mais afastados.

Análises semelhantes para os teores médios horários da umidade relativa, nas quatro estações do ano, são apresentadas na Figura 14.

**Figura 14.** Médias horárias da umidade relativa do ar nas estações do ano, em Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Observa-se (Figura 14), que as médias horárias de umidade relativa, comparadas por estações, os maiores valores ocorrem no outono, que coincide com o período chuvoso, com pico máximo de 100 %, e média dos máximos de 77,8 %, com maior frequência de ocorrer ao amanhecer do dia e os menores, nas primeiras horas da tarde.

Com relação ao equinócio da primavera, por ser a época menos chuvosa, ocorre os menores valores de umidade relativa do ar, quando essa diferença ao amanhecer foi de cerca de 10,0 % e 20,0 % menores, quando comparado com o outono.

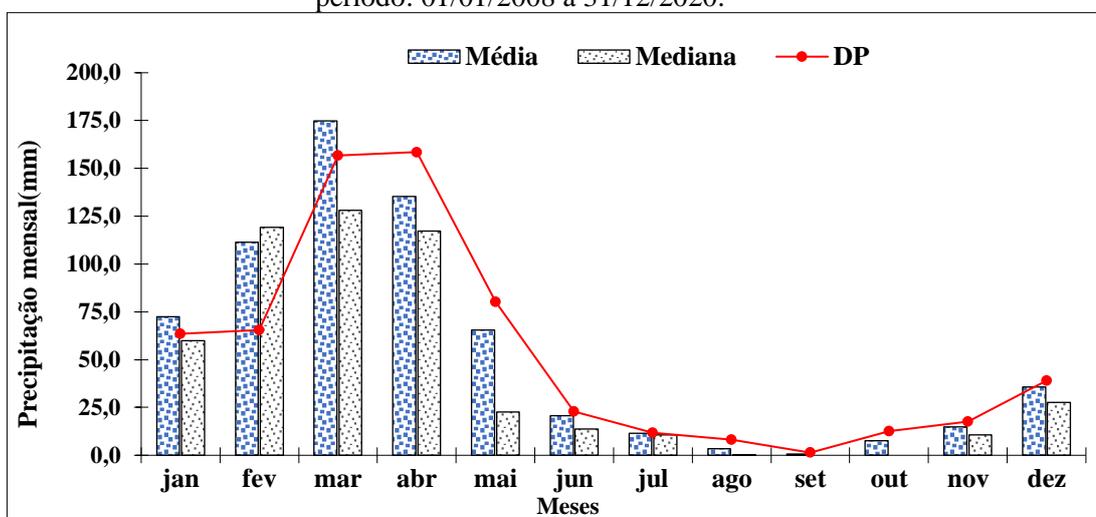
Os baixos teores de umidade no ar troposférico ao nível do solo da cidade de Patos não são recomendados para saúde humana, na maioria dos dias, dessa estação, haja vista que mais de 70,0 % dos dias a umidade relativa foi menor que 60%. Condições essas que se recomendam o uso de líquidos e roupas leves.

A amplitude das médias de umidade relativa nos solstícios é de +3,6% no verão e de -3,6 % no inverno. Essa diferença negativa (menor) pode ser atribuída à ocorrência de chuva, entre o outono e o inverno, cujo aumento da umidade relativa vem diretamente do aumento da pressão parcial de vapor e indiretamente, pela diminuição da temperatura do ar.

Observa-se (Figura 15) que o período chuvoso, em que há maior concentração de chuva, ocorre nos meses de janeiro-fevereiro e março-abril. Enquanto os meses considerados de maio-junho caracterizam o período pós estação chuvosa, ocorrem menor precipitação. A estação seca

do ano compreende os meses de julho à dezembro, com baixos valores de precipitação em comparação aos outros meses do ano.

**Figura 15.** Médias mensais das médias, medianas e desvios padrão da chuva. Patos, PB, médias do período: 01/01/2008 a 31/12/2020.

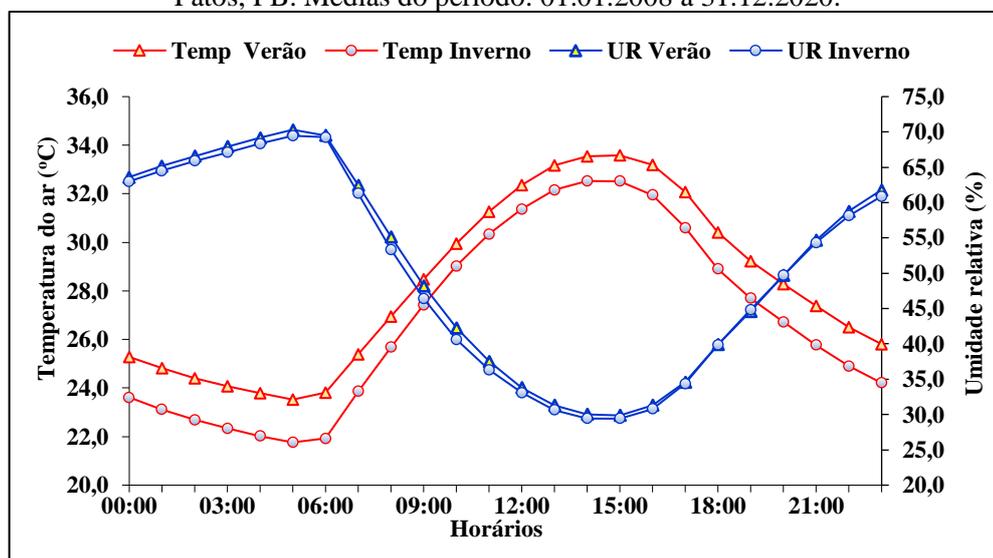


Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Destaca-se, ainda, que o teor de Ur igual a 60,0 %, por exemplo, perdura quatro horas a mais no outono, de 19:00 às 08:00h da manhã em relação ao verão e maior que 60%, entre 22:00 e 07:00h.

Essa explicação pode ser mais bem visualizada na Figura 16, ao comparar as relações das duas curvas de temperatura e umidade nas duas estações do ano. As concavidades das curvas e os pontos de intercessão definem, de forma clara, os horários, nos quais coincidem, com o crescimento e/ou decréscimo desses dois elementos.

**Figura 16.** Relações horárias entre a temperatura do ar e umidade relativa no verão e no inverno. Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



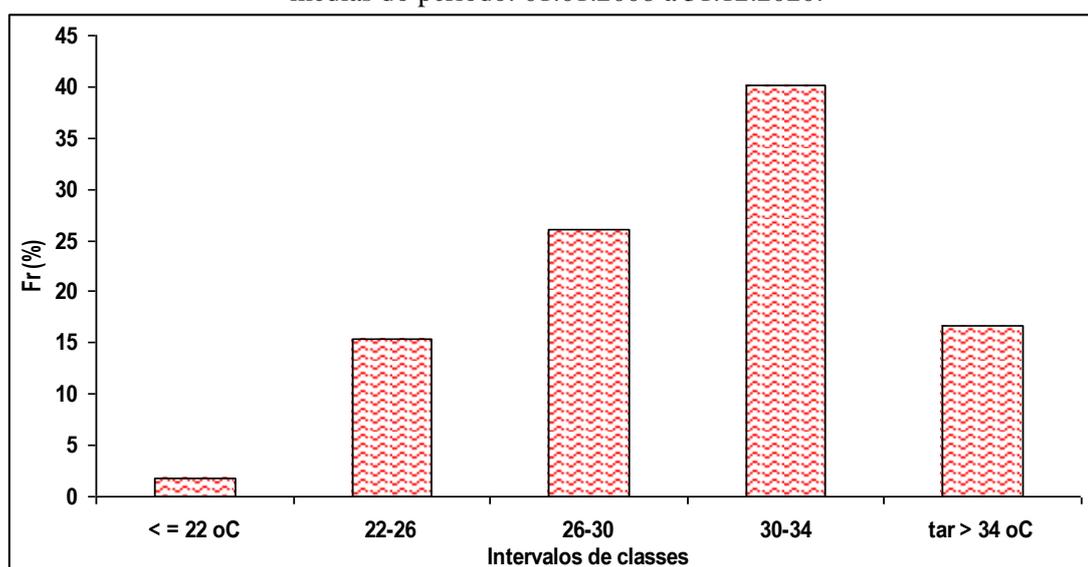
Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

É importante destacar, algumas características no teor de umidade quando se compara uma estação com outra. Como exemplo, as estações de inverno e verão, observar-se (Figura 16), que embora tar entre inverno e verão tenham amplitude considerável de  $1,4^{\circ}\text{C}$ , a amplitude da Ur foi bem menor, algo em torno de 2%, ou seja, em média, houvera pouca diferença entre as Ur nas duas estações.

Acredita-se, que essa pequena diferença se deva a coincidência de parte do verão, ser chuvoso. Mesmo com temperatura mais elevadas há uma compensação maior da chuva, aumento a pressão parcial de vapor. Condição essa que explica, em parte, a diferença insignificante dos valores da umidade relativa.

Destaca-se, entretanto, o agrupamento, por intervalo de classe, com as respectivas frequências de ocorrência horárias da temperatura do ar, como mostra a Figura 17, cujo estudo detalhado, quantificando os percentuais de repetições de ocorrências dos valores de temperatura do ar, por intervalos, permite caracterizar o “padrão” térmico, contribuindo para o planejamento ambiental e urbano da cidade de Patos.

**Figura 17.** Frequência relativa de ocorrência da temperatura do ar, por intervalo de classe. Patos, PB, médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Observa que na Figura 17, a predominância de ocorrência (maior frequência) de temperatura do ar maior do que  $22,0^{\circ}\text{C}$ , porque apenas em menos de 4% dos dias ocorreram valores menores. Já, nos intervalos entre 22-26 e de 26-30  $^{\circ}\text{C}$ , a frequência média horária foi da ordem de 40,0 % dos dias.

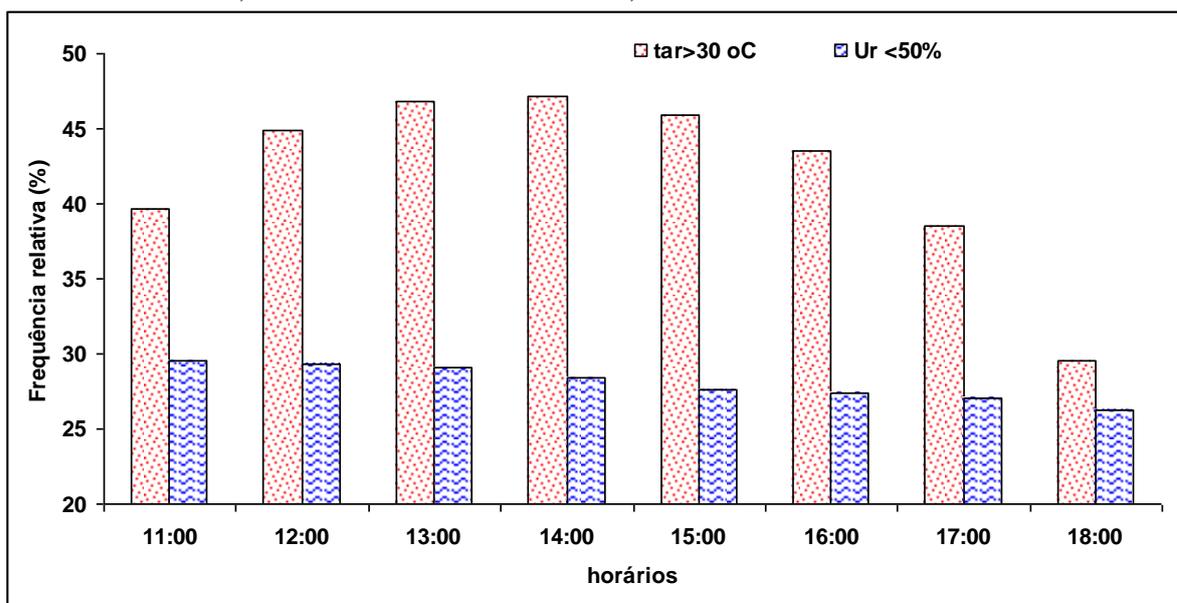
A frequência relativa da temperatura do ar, entre 30,0 e 34,0 °C, foi o intervalo que mais se repetiu, em cerca de 40 % dos dias estudados. Acima desse limite, a frequência de ocorrência situa-se na faixa de 15,0 %, predominantemente, nos dias da primavera e verão.

Entender o comportamento da temperatura e da umidade do ar é importante, pois se percebe que há uma relação entre a temperatura e umidade relativa, ambas funcionam como termorregulador. No entanto, ambos são influenciados tanto por elementos naturais quanto por fatores antrópicos, plenamente sentido pelos humanos, amplamente descrito como conforto térmico.

Para complementar este estudo, fez-se um recorte de dois extremos; sendo um de temperatura do ar (maior que 22,0 °C) e o outro de umidade relativa menor que 50,0 %, contabilizando-se a frequência de ocorrência de ambos, no período diurno entre 11:00 e 18:00 h, como mostra a Figura 18.

De um modo geral, em cerca de 40 % desses horários, a temperatura do ar é maior que 30,0 °C, coincidindo com cerca de 30% desses com umidade relativa menor que 50,0 %. O histograma com frequência, mostra valores crescentes da tar entre 12:00 e 14:00 h e decresce em seguida, coincidindo, com a mesma tendência dos teores de umidade relativa do ar.

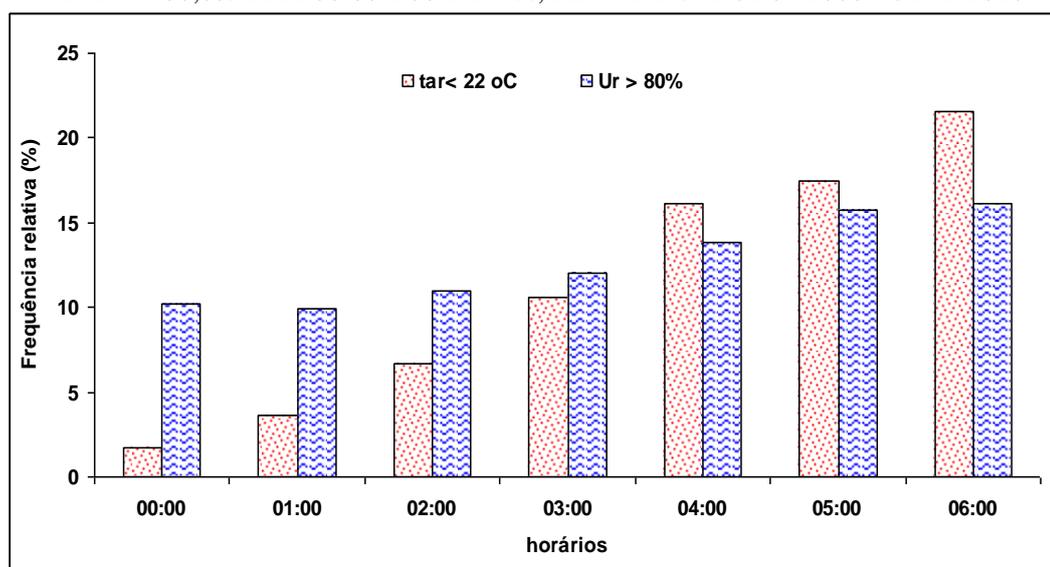
**Figura 18.** Frequências relativas horárias de ocorrências da temperatura do ar > 30,0 oC e umidade relativa < 50,0 % entre 11:00 e 18:00 h. Patos, PB. Médias de 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Fazendo-se análises contrárias, mas semelhantes ao anterior, utilizando-se para isso, valores de temperatura do ar menores que 22,0 °C e umidade relativa maior que 80,0 %, para o período diurno, cujas frequências relativas são mostradas na Figura 19.

**Figura 19.** Frequências relativas horárias de ocorrências da temperatura do ar  $< 22,0$  °C e umidade relativa  $> 80,0\%$  entre 00:00 e 06 h. Patos, PB. Médias de 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

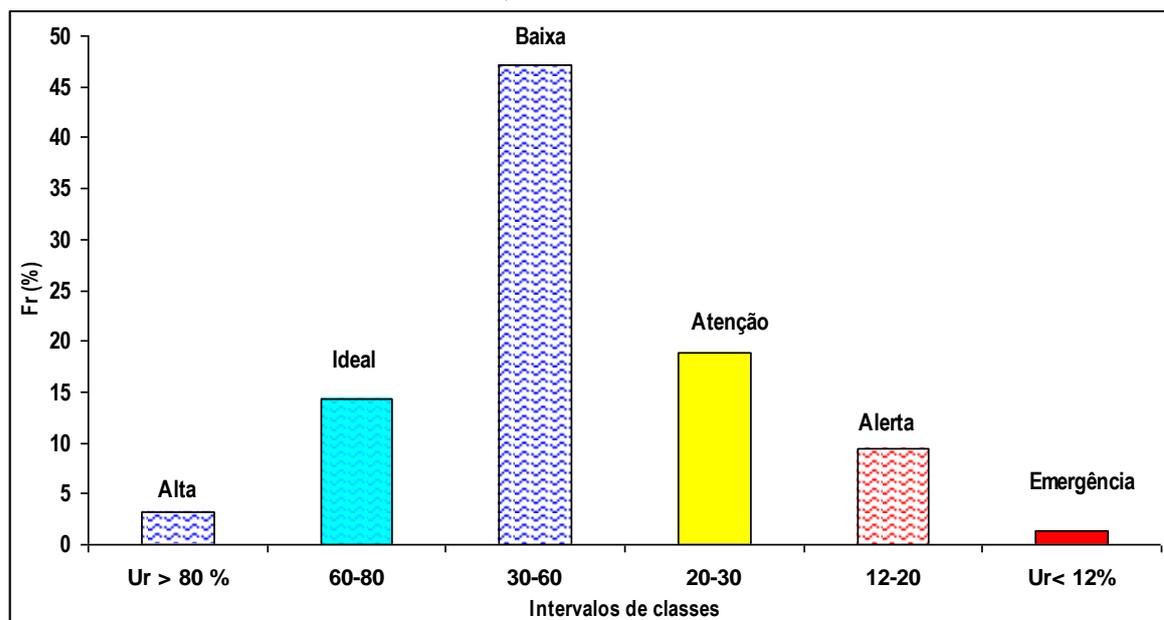
Observa-se (Figura 19), o crescimento da frequência relativa de valores de temperatura do ar menor que  $22,0$  °C, entre meia noite e 06:00 h da manhã, acompanhado do aumento do percentual de repetição da umidade relativa, com valores superiores a  $80,0\%$ .

A escala psicrométrica é sempre utilizada como critério de criticidade. O Centro de Gerenciamento de Emergências observa diariamente os níveis de umidade relativa do ar, seguindo recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS).

A OMS estabelece que índices inferiores a  $60\%$  não são adequados para a saúde humana. Esses valores subsidiaram as análises, mediante o agrupamento, por intervalos de classes de valores da umidade relativa, contabilizando-se as frequências de ocorrências e as descrições dos indicadores de criticidades humana, que se fundamenta na habilidade ou capacidade para julgar, quão crítica é uma faixa de umidade relativa do ar.

Em virtude da grande quantidade de dados, escolherem-se o período diurno, entre 06:00 e 18:00 h, para análises da criticidade, tomando-se como referência os teores de umidade relativa, como mostra as frequências de ocorrência da Figura 20.

**Figura 20.** Frequências relativas dos níveis de criticidade da umidade relativa. Patos, PB. Médias de 01.01.2008 a 31.12.2020, nos horários entre 06:00 e 18:00 horas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

A quantidade ideal de umidade do ar favorece o conforto humano, quando em níveis baixos ou acima deste, pode contribuir ou favorecer a ocorrência de patologias humanas, além do desconforto térmico.

O indicativo médio de frequência do nível crítica ideal, que oscila em valores próximos a 60%, ocorreu com uma frequência relativa aproximada de 40,0 % dos dias analisados. As frequências das médias horárias dos dias com alerta a emergência de criticidade dos níveis de umidade foram, respectivamente, de 9,0 e 1,0 %.

Outros indicativos importantes da termodinâmica do ar úmido, aplicados as análises de conforto, são os índices de desconforto e da temperatura efetiva temas esses apresentados a seguir.

#### 4.3. Índice de desconforto térmico e temperatura efetiva

O conforto térmico é uma condição na qual um indivíduo expressa satisfação de conforto ambiental por existir equilíbrio térmico. No entanto, os estudos de conforto térmico visam atribuir condições para avaliação e criar um ambiente apropriado às atividades humanas, visto ser de extrema importância na qualidade de vida e na produtividade.

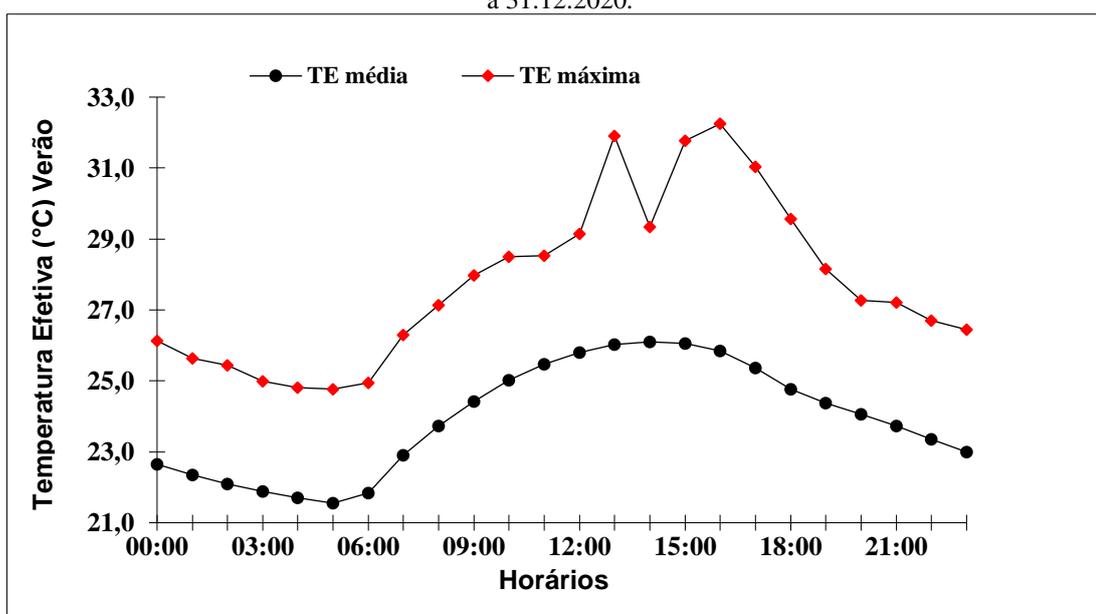
Concorda-se com Monteiro e Alucci (2007) que a maioria dos artigos sobre conforto térmico seja desenvolvida para espaços fechados, embora exista relevante produção adaptada ou desenvolvida especificamente para espaços abertos.

O índice de desconforto é um método que utiliza a temperatura do ar e a umidade relativa do ar e pode ser aplicado em avaliações de conforto térmico, tais como em ambientes de trabalho humano, sendo mais comum em instalações de produção animal.

O índice de temperatura efetiva correlaciona os valores de temperatura do ar do psicrômetro, sendo utilizado como base para evolução de métodos de análise de conforto térmico.

As médias horárias das temperaturas efetivas (TE)- média e máxima- são mostradas na Figura 21.

**Figura 21.** Médias horárias da Temperatura Efetiva, para a cidade de Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As duas curvas das temperaturas efetivas apresentam formatos semelhantes aos das temperaturas do ar ao longo do dia, com a curva da TE média decrescente entre 18:00 e 05:00 h da manhã, crescente a partir deste horário e pico entre 13:00 e 14:00 horas.

Quando se compara a Te média com a máxima, observa-se (Figura 21) que, a curva de Te máxima tem picos crescente e decrescente, especificamente, entre 12:00 e 15:00 h, que refletem as leis básicas da radiação: Stephan-Boltzman e Wien.

O comportamento da temperatura efetiva média ao longo do dia, resume-se numa média menor entre 01:00 e 05:00 h, com amplitude de 0,8°C e pico mínimo de 21,6°C às 05:00 h. A curva é crescente entre 06:00 e 14:00 h, a amplitude foi de 4,3°C e o pico máximo de 26,1°C ocorreu entre 14:00 e 15:00h. Essas condições de TE resultam numa sensação de calor agradável (levemente quente) entre 21:00 e 08:00 h e das 09:00 às 20:00 h, com calor moderado.

As frequências relativas das temperaturas efetivas resultaram em calor moderado, em cerca de 49,0 % dos horários diários, enquanto em  $\pm 51,0$  % deles foram de calor agradável, mas levemente quente. No entanto, houvera apenas seis (6) dias, que equivale a 0,01 % do período analisado, com indicativo de calor extremo.

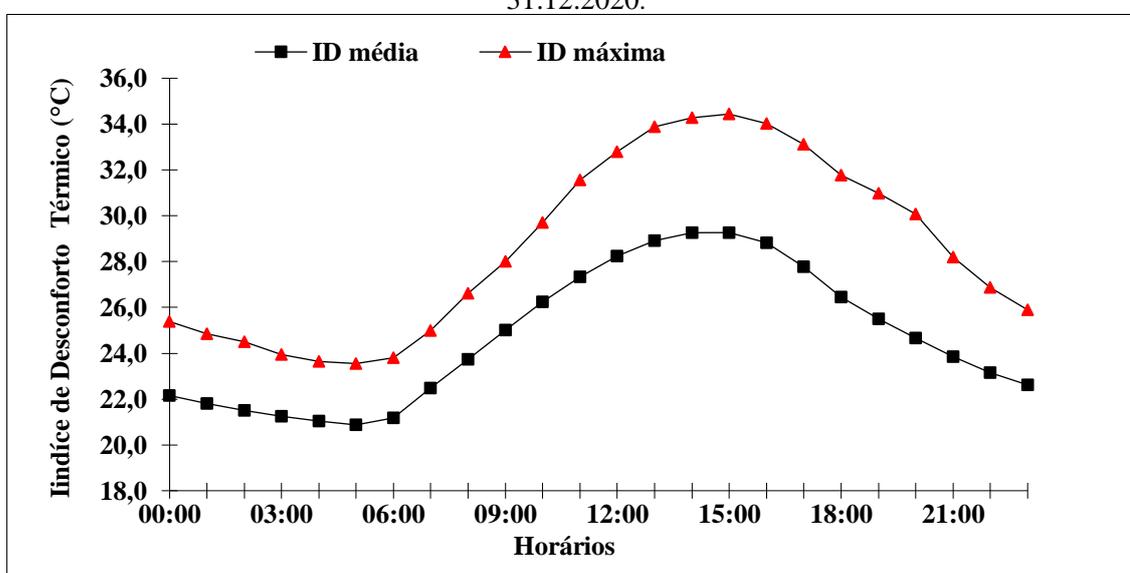
A configuração do espaço urbano tem influência no microclima local e, conseqüentemente, no conforto térmico da população. As alterações na superfície natural, em um ambiente urbano, modificam o albedo e o balanço de energia, gerando grandes impactos no ambiente urbano.

É importante destacar e concordar com Oke (1987) que, o clima da baixa atmosfera (troposfera) sob influência das cidades, modifica o balanço de energia à superfície. A própria transformação do meio natural altera as principais características dos elementos do clima local, como consequência modifica o balanço de energia, em virtude da mudança na estrutura e dinâmicas das áreas urbanas, corroborando com Landsberg (1981) e com Monteiro (2015), ao relatar que o ambiente urbanizado, gerar um clima urbano, que abrange a urbanização.

O índice de desconforto térmico é um indicador da sensação térmica, cujas variáveis humanas e ambientais exercem influências sobre esse conforto, calculado em função das temperaturas do ar, medidas em psicrômetro.

A Figura 22 sumariza as médias horárias dos índices de conforto, para as condições médias (aritmética) e do extremo (máximo), estimadas com base na temperatura do ar.

**Figura 22.** Índice de desconforto térmico para cidade de Patos, PB. Médias do período: 01.01.2008 a 31.12.2020.



Elaborado pelo autor (2022).

Os valores quantitativos dos índices de conforto (Figura 22) mostram curvas crescentes (ID da média e da máxima) entre 06:00 e 14:00 h e decrescente de 15:00 às 05:00 h da manhã.

O agrupamento desses indicadores de desconforto, em intervalos de classes, resulta na classificação proposta por Tham (1959), descrita na Tabela 2, por faixas horárias em: de 02:00 às 05:00 horas da manhã confortável e entre 19:00 às 20:00 h e das 21:00 às 08:00 horas, parte da população sentem-se desconforto.

Destaca-se, entretanto, conforme mostra a Figura 20, no período diurno, entre 10:00 horas e 18:00 horas, a totalidade da população tem a sensação de desconforto, até um desconforto muito forte e perigoso, com pico máximo entre 14 e 15:00 h, quando a temperatura efetiva ultrapassa 29,3 °C.

Conforme os valores térmicos de desconforto máximo (Figura 22) e na classificação estabelecido por Thom (1959), o ID entre 08:00 e 18:00 h é maior, em média, do que 26, ou seja, é um indicativo de desconforto térmico para a totalidade da população da cidade de Patos.

Destarte, entretanto, a importância de ampliar estudos na temática de conforto térmico urbano, por ser uma técnica que auxilia o planejamento e a gestão do espaço urbano, na procura de ambientes termicamente mais agradáveis, principalmente, na cidade de Patos, com clima do tipo tropical quente e úmido.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se:

A população do município de Patos é predominantemente urbana e o crescimento da expansão urbana foi maior que o populacional.

Os materiais de construção têm propriedades físicas distintas do solo natural, cujas características resultam na modificação do balanço de energia à superfície influenciando, sobretudo, no aumento da temperatura do ar.

As médias horárias da temperatura máxima superior a 31,0 °C e menores ou iguais a 20,0 °C perduram, respectivamente, por treze e nove horas diárias.

Durante o período noturno, as médias horárias da umidade relativa maiores do que 60,0 % ocorreram em mais de 80,0 % dos dias, mas no diurno, a frequência foi de 15,0 %.

A frequência de ocorrência de criticidade ideal da umidade relativa, para fins da saúde pública, ocorreu em cerca de 40,0 % dos dias analisados.

A pressão de saturação de vapor é diretamente proporcional a temperatura do ar, enquanto que a pressão parcial é praticamente constante ao longo do dia.

As médias horárias da temperatura do ar são maiores na primavera e no verão do que no outono e inverno. Já, os teores de umidade relativa são maiores no outono, por coincidir, em grande parte, com a época chuvosa.

O desconforto térmico extremo ocorre nos horários de picos da temperatura efetiva, com calor de moderado à agradável, mas levemente quente.

As curvas das temperaturas efetivas (TE)- médias e máximas horárias têm formatos semelhantes aos das temperaturas do ar, sendo decrescente no período noturno e pico entre 13:00 e 14:00 h.

As alterações na superfície natural modificam o albedo, o balanço de energia e influencia o microclima urbano, gerando desconforto térmico.

O índice de desconforto térmico (ID) é um indicador da sensação térmica, com ID crescente entre 06:00 e 14:00 h e decrescente de 15:00 às 05:00 h, sendo confortável entre 02:00 e 05:00 h, embora haja necessidade de incluir outros métodos de TE e ID.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A. **Climatologia aplicada à geografia** [Livro eletrônico]. Campina Grande: EDUEPB, 317 p, 2016.
- ALMEIDA, H. A. de, HERMENEGIDIO, G. M. S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.12, p. 32-47, 2013.
- AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. **Geosul**. Florianópolis, v.20, n. 39, p. 65-82, 2005.
- AMORIM, M. C. C. T. ILHAS DE CALOR URBANAS: MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE. **Revista Brasileira De Climatologia** (eletrônica). v.25, p. 22-46, 2019.
- AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 71- 90, jan. 2010.
- AMORIM, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. Finisterra - **Revista Portuguesa de Geografia**, v. 105, p. 111-133, 2017.
- ANDRADE, C. S. P. Teresina e Clima: Indissociabilidade no estudo da cidade. **Revista Equador**. vol. 5, n° 3 (Edição especial 02), p.398-420, 2016.
- ANDRADE, H. **O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade**. Finisterra, XL, 80, p. 67-91, 2005.
- ANDRADE, O. Reflexões sobre o conceito de cidades saudáveis a partir de três cidades do Nordeste brasileiro In: Congresso Araguaense de ciências exata, tecnológica e social aplicada, p.1-12, 2020, Santana do Araguaia. **Anais...** Santana do Araguaia: II CONARA, 2020.
- ASSIS, B. C. **O conforto térmico associado as variáveis de cobertura da terra na região central de Juiz de Fora -MG**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Juiz de fora, p. 1-196, Juiz de Fora, 2016.
- BRASILEIRO, F. M.G; ZANELLA, M. E. Ocorrências de ilhas de calor no espaço urbano: reflexões de Sobral, Ceará. **Geopauta**. Vitória da Conquista. vol.5, n°1, p. 1-23, dez. 2021.
- BEZERRA, A. L. R; FELIPE, A. J. V; SILVA, T. B; GUEDES, L. R; ANDRADE, S. S. F. BATISTA, L. S. Expansão Urbana e mobilidade: estudo de caso em Patos. **Research, Society and Development**. v.11, n°2, p.1-14, jan. 2022.
- CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP**. 2015. 137f. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente.

CARVALHO, R. S. **Evolução urbana, acesso ao uso urbano e segregação socioespacial: estudo de caso da cidade de Patos, Paraíba, Brasil.** 2018. TCC (graduação)- Curso de Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade Integrada de Patos, Patos, 2018.

CAVALCANTE, V, L. U. **A centralidade de Patos-PB: Um estudo a partir dos arranjos espaciais.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba, p.117. João Pessoa-PB, 2008.

CHEGURY, J. Q. B. M. Avaliação microclimática, termo higrométrica e das ilhas de calor na cidade de Cuiába-MT/ Brasil. **Revista brasileira de climatologia**, v. 30, p 69-91. jun. 2022.

COSTA, E. R. **O campo termo-higrométrico intra-urbano e a formação de ilhas de calor e de frescor urbanas em Santa Maria\RS.** Dissertação(Mestrado). Universidade federal de Santa Maria. p. 1-118. Santa Maria-RS, 2009.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Patos, estado da Paraíba/ Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005

FREITAS, T. P. F. O clima urbano das cidades e suas interações com a arquitetura e a geografia. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 9, n. 3, p. 262-272. set./dez. 2018.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do Conforto Térmico.** 4ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003, 244p.

FROTA, A. B. SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 5ªed. São Paulo: Studio Nobel, 2001, 243p.

GOMES, Y. B.; CARACRISTI, I. Clima urbano e percepção térmica dos moradores das pequenas cidades do semiárido: uma análise da cidade de forquilha (CE). **Revista Homem, Espaço e Tempo**,v.13, n°2, p.67-81, 2020.

HENTSCHEL, G. A. Human biometeorology classification of climate for large and localscales. **World Climate Programme Applications**.n°.1, World Meteorological Organization, p. 120- 138, 1986.

HIGUERAS, E. **Urbanismo Bioclimático.** Barcelona: Gustavo Gili, 241p, 2006.

In: IBGE. **Enciclopédia dos municípios brasileiros.** Rio de Janeiro, 1960, Vol. 17

In: IBGE. SIDRA: Sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2011b. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br>>

JÚNIOR, L. N. O clima urbano com risco climático. **GEO UERJ**, v. n°34, p.1-34, abr, 2019.  
LANDSBERG, H. E. Meteorological observations in urban areas. **Meteorological Monographs**, v. 11, n. 33, p. 91-99, 1970.

LANDSBERG, H. E. The urban climate. **New York: Academic Press**, 275 p, 1981

LIMA, N. R.; PINHEIRO, G. M.; MENDONÇA, F. Clima urbano no Brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Figueiredo Monteiro. **Revista GeoNorte**, v.2, n°5, p.626-638, nov,2012.

LOMBARDO, M. A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 244p, 1985. LORIDAN, T.; GRIMMOND, C. S. B. Characterization of energy flux partitioning in urban environments: links with surface seasonal properties. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 51 (2). 219-241, 2012.

LOMBARDO, M. A. Estudos interdisciplinares e metodologias e técnicas de análise do clima urbano. 1997, **Anais**. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, p. 1-5, 1997.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**. São Paulo: Ed. Hucitec, 244p, 1985. LOMBARDO, M. A; FRUEHAUF, A. L; PELLEGRINO, P. R. M. O clima urbano nas metrópoles e seus impactos ambientais. **Brazilian Journal of development**. Curitiba, v.8, n°1, p.434-448, 2022.

MONTEIRO, A. **O clima urbano do Porto**: contribuição para a definição das estratégias de planejamento e ordenamento do território. Fundação Calouste Gulbenkian, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 1997. 485p.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**: Um projeto e seus caminhos. In: MONTEIRO, C.A.F. & MENDONÇA, F. (Org.) Clima Urbano. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA F. de A. (ORG). Clima urbano, 2. ed., 2° reimpressão. São Paulo: Contexto, p. 9 – 68, 2015.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-58, 2007.

MONTEIRO, D. L.; COELHO, A. L. N. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Mapeamento Termal: Uma análise espaço-temporal do Município de Serra (ES). In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, **Anais**, João Pessoa-PB. 2015. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0295.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

MONTEIRO, D. M; OLIVEIRA, D. G. H; ALENCAR, A. E. V; FARIAS, S. A. R. Levantamento pluviométrico do município de Patos-PB nos últimos 16 anos. workshop Internacional sobre água no semiárido brasileiro,1, **Anais**, Campina Grande, p. 1-5, 2017.

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. de. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010). **Boletim Goiano de Geografia, Goiânia**, v. 31, n. 2, p. 113-127, 2011.

NETO, J. L. S. As dimensões geográficas do clima como construção social. IKARA. **Revista de Geografías Iberoamericanas**, n°1. p.1-10, 2022.

NIEUWOLT, S. **Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes**, 216 p, 1977. Fonte: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19776720739>, acesso 22.07.2022.

NUNES, L. H. **Interações entre a Atmosfera e a Sociedade**: em busca de novas perspectivas, Geografia, Rio Claro, v. 30, n. 1, p. 199-208, 2005.

OKE, T. R. “**The urban energy balance**”, Progress in Physical Geography, n. 12, p. 471-508, 1988. OKE, T. R. “**Methods in urban climatology**”, Applied Climatology, n. 14, p. 19-29, 1984.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1987. 372p.

OLIVEIRA, P. M. P. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília: UNB, 134p. 1988.

OLIVEIRA, S. M. **Elementos climáticos e interações hospitalares por doenças respiratórias em Uberlândia (MG)**: perspectivas e desafios nos estudos de clima e saúde. Dissertação( Mestrado)- Universidade Federal de Goiás, programa de pós graduação em geografia, p. 1-122, Catalão-GO, 2014.

PIMENTEL, F. O; FERREIRA, C. C. M. O Uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de climatologia(eletrônica)**, v.24, p. 1-18, 2019.

PORANGABA, G. F. O.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 225-247, 2017.

SANTOS, B. F, PINTO, J. E. S. S. Urbanização e clima urbano: teoria e aplicação no bairro Atalaia-Aracaju\Sergipe\Nordeste do Brasil. **GeoNordeste**, São Cristovão, 2020, n° 2, p. 261-279, dez. 2020.

SANTOS, F. M. de M. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá/MT: estudo de caso**. Tese (mestrado)-Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, 2008.

SANTOS, H. G; JACOMINE, P. K. T; ANJOS, L. H. C; OLIVEIRA, V. A; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; CUNHA, T. J. F; OLIVEIRA, J. B. 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Embrapa, Brasília – DF. 353p.

SANTOS, J. O. Patos-Paraíba: **Uma retrospectiva histórica**. Jornal Correio da Paraíba, João Pessoa-PB, Ed. 24, 2005. Disponível em: <<http://construindoahistoriahoje.blogspot.com/2010/08/patos-paraiba.html>>. Acesso em: 07/02/2022.

SANTOS, M. PEREIRA, J.C.; RODRIGUES, R.A. **Comportamento da umidade relativa do ar em bairros de catalão- GO**. XIX ,2018, João Pessoa. Anais eletrônicos. João Pessoa,2018.

SILVA, M. S. O clima urbano no ensino de geografia: por uma climatologia geográfica significativa. **GIRAMUNDO**. Rio de Janeiro. v.4 n°7,p. 113-125, junho,2017.

SILVA, SOUZA, D. M ; Nery, J. T. Análise da temperatura, da umidade e do conforto térmico no município de Ourinhos. In: Simpósio brasileiro de climatologia geográfica. 9, 2010, Fortaleza. Artigo. Fortaleza, 2010. p.1-16.

SOUSA, G. M. M; SOBRINHO, J. E; BOAS, M. M. V; OLIVEIRA, G. M; PEREIRA, V. C; OLIVEIRA, I. A. **Análise do comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar em diferentes locais da cidade de Mossoró-RN no outono e primavera**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XVI, 2009, Belo horizonte: Artigo. Belo Horizonte-MG, 2009,1-5p.

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP). **Geografia**, v. 2, n. 4, p. 59-80, 1977.

THEVENARD, D. J; HUMPHRIES, R. G. The Calculation of Climatic Design Conditions in the 2005 ASHRAE Handbook-Fundamentals. Transactions; Atlanta Vol. 111, p. 457-466, 2005.

THOM, E.C. The discomfort index. *Weatherwise*, v.12, n.1, p.57-60, 1959

TORRES, F. T. P; Machado, Pedro J. O. **Introdução à Climatologia**. Ubá: Geographica, 2008. – (Série Textos Básicos de Geografia), 234p.

VIANA, S. S. M. **Caracterização do Clima Urbano em Teodoro Sampaio/SP**. UNESP: Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dissertação (Mestrado), 2006.