

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

FERNANDA LIZ LIMA DE ARAUJO

**ANÁLISE DOS ÍNDICES DE CONFORTO E DESCONFORTO TÉRMICO HUMANO
PARA AS CAPITAIS DO NORDESTE BRASILEIRO**

Maceió, AL

2023

FERNANDA LIZ LIMA DE ARAUJO

**ANÁLISE DOS ÍNDICES DE CONFORTO E DESCONFORTO TÉRMICO HUMANO
PARA AS CAPITAIS DO NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Luciene Dias Melo.

Maceió, AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S586p Araujo, Fernanda Liz Lima de.
Análise dos índices de conforto e desconforto térmico humano para as capitais do nordeste brasileiro / Fernanda Liz Lima de Araujo. – 2023.
44 f. : il. color.

Orientadora: Maria Luciene Dias Melo.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas.
Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 39-44.

1. Conforto térmico humano. 2. Temperatura. 3. Desconforto térmico. I.
Título.

CDU: 551.58

Dedico este trabalho a meus pais Maria de
Lourdes e Gildson de Araujo “*in memoriam*”.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão por dedicar seu tempo e atenção à leitura do meu trabalho de conclusão de curso. Este projeto é resultado de anos de pesquisa, estudo e esforço. Meus agradecimentos são dedicados a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu alcançasse esta conquista.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a minha orientadora Maria Luciene, por tanta generosidade, paciência, incentivo e por me entender a todo momento.

À minha família e amigos próximos que me apoiaram e me deram suporte para concluir esta etapa.

A meu noivo Carlos, que me deu todo apoio possível, por todo incentivo e ser a parte responsável por me fazer não desistir tornando tudo mais fácil.

Aos meus amigos de curso que me acompanharam, em especial as mulheres que me apoiaram e foram meu suporte em tudo, Carla, Ivana, Jessica e Suellen.

Gostaria também de agradecer a todos os professores do Instituto de Ciências Atmosféricas que contribuíram com a minha formação e me incentivaram a conhecer e me apaixonar cada vez mais por Meteorologia.

Por fim, gostaria de agradecer ao corpo técnico da Sala de Alerta, por todo o carinho e compreensão.

RESUMO

Com o advento das mudanças climáticas e o crescente aumento populacional, torna-se cada vez mais importante avaliar as consequências ao meio ambiente, principalmente quanto ao uso do solo, desmatamento, demandas hídricas e poluição. Tal cenário pode interferir no estado de saúde e bem-estar da população em geral. Além da temperatura, da umidade do ar e da velocidade do vento, diversos outros fatores podem influenciar na sensação de conforto térmico, como a arquitetura das construções e a presença da vegetação. O Nordeste brasileiro apresenta uma grande irregularidade em seu relevo, onde a maior parte da população se encontra nos grandes centros urbanos que se estabelecem nas capitais. Nesse sentido o objetivo dessa pesquisa de conclusão de curso foi analisar o comportamento da temperatura e calcular os Índices de Conforto e Desconforto Térmico Humano (ICTH, IDTH), Índice de *Wind chill* (IW) e Índice de Calor (IC), para cenários atuais e futuros, comparando a climatologia de 1990 a 2020, com os últimos 8 anos de 2012 a 2020, e discuti-los no que diz respeito às condições do termohigrógrafo (temperatura e umidade) que afetam o rendimento da saúde humana, nas capitais do NEB. Para calcular os índices, foram utilizados dados de estações meteorológicas convencionais, cedidos pelo INMET, para todas as capitais do NEB, tendo em vista os cenários de mudanças climáticas do IPCC (otimista e pessimista). As diferenças vistas a partir das figuras de ICTH e IDTH é devido principalmente as diferenças nos dados de umidade e temperatura entre as capitais. Para os cenários do IPCC de todas as capitais, os resultados sugerem que os índices tendem a apresentar uma variação na classificação que sai do confortável até o desconfortável, sendo as capitais localizadas ao sul do NEB a região que apresenta os melhores índices e o norte do NEB a região com os piores índices. Os resultados indicam ainda que existe uma diferença entre o comportamento da temperatura principalmente entre as capitais ao norte e leste do NEB.

Palavras-chave: temperatura; índices; conforto; desconforto.

ABSTRACT

With the advent of climate change and the increasing population growth, it becomes increasingly important to assess the consequences to the environment, especially regarding land use, deforestation, water demands, and pollution. Such a scenario can interfere with the overall health and well-being of the population. In addition to temperature, air humidity, and wind speed, several other factors can influence the thermal comfort sensation, such as the architecture of buildings and the presence of vegetation. The Northeast region of Brazil presents a significant irregularity in its population distribution, where the majority of the population is concentrated in major urban centers located in the capitals. In this regard, the objective of this research study was to analyze temperature behavior and calculate the Human Thermal Comfort and Discomfort Indices (HTCI, DTHI), Wind Chill Index (WCI), and Heat Index (HI) for current and future scenarios, comparing the climatology from 1990 to 2020 with the last 8 years from 2012 to 2020, and discuss them in terms of how thermohygrometric conditions (temperature and humidity) affect human health performance in the capitals of the Northeast Brazil. To calculate the used indices, data from conventional meteorological stations provided by INMET were used for all capital cities in the Northeast region, considering the climate change scenarios from IPCC (optimistic and pessimistic). The differences observed in the HTC and DTHI graphs are mainly due to variations in humidity and temperature data among the capitals. For the IPCC scenarios of all capitals, the results suggest that the indices tend to vary significantly in classification, ranging from comfortable to uncomfortable, with the capitals located in the southern part of the Northeast region showing the best indices and the northern part showing the worst indices. The results also indicate a difference in temperature behavior, particularly in the capitals located in the north and east of the Northeast region.

Keywords: temperature; indices; comfort; discomfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Região Nordeste: Concentração da população total por aglomerado metropolitano das capitais (2010)	20
Figura 2	– Variação de temperatura anual das capitais do NEB de 1990 a 2020	26
Figura 3	– Variação de temperatura anual das capitais do NEB de 2012 a 2020	27
Figura 4	– Variação de temperatura anual das capitais do NEB de 1990 a 2020 nos cenários otimista e pessimista	28
Figura 5	– Variação de temperatura anual das capitais do NEB de 2012 a 2020 nos cenários otimista e pessimista	28
Figura 6	– IC nas capitais do NEB, (a) de 1990 a 2020, (b) de 2012 a 2020	29
Figura 7	– IC para os cenários otimista e pessimista nas capitais do NEB de 1990 a 2020	30
Figura 8	– IC para os cenários otimista e pessimista nas capitais do NEB de 2012 a 2020	31
Figura 9	– Índice de Wind chill nas capitais do NEB de 1990 a 2020	32
Figura 10	– Índice de Wind chill nos cenários otimista e pessimista para as capitais do NEB de 1990 a 2020	32
Figura 11	– Índice de Wind chill nos cenários otimista e pessimista para as capitais do NEB de 2012 a 2020	32
Figura 12	– ICTH, (a) de 1990 a 2020, (b) de 2012 a 2020	33
Figura 13	– ICTH em cenários otimista e pessimista para o período de 1990 a 2020	34
Figura 14	– ICTH em cenários otimista e pessimista para o período de 2012 a 2020	34
Figura 15	– IDTH para o período, (a) de 1990 a 2020 e (b) 2012 a 2020	35
Figura 16	– IDTH cenários otimista e pessimista para o período de 1990 a 2020	35
Figura 17	– IDTH cenários otimista e pessimista para o período de 2012 a 2020	36
Figura 18	– Intensidade e variação de anos com El Niño	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Alerta para o Índice de Calor.....	22
Tabela 2	- Alerta para o Índice de Wind chill.....	23
Tabela 3	- Graus de conforto do ICTH.....	24
Tabela 4	- Graus de desconforto IDTH.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

T _a	Temperatura do ar
VV	Velocidade do Vento
T _{ar}	Temperatura do ar Observada
°C	Graus Celsius
°F	Graus Fahrenheit
UR	Umidade Relativa
%	Porcentagem
NEB	Nordeste do Brasil
ICTH	Índice de Conforto Térmico Humano
IDTH	Índice de Desconforto Térmico Humano
IC	Índice de Calor
IW	Índice de Wind chill
OC	Onda de Calor
ONU	Organização das Nações Unidas
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
OMM	Organização Meteorológica Mundial
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
AVC	Acidente Vascular Cerebral
UTC	Tempo Universal Coordenado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Conforto térmico	14
2.1.1	Desconforto Térmico.....	15
2.2	Sensação Térmica	15
2.3	Ondas de Calor	16
2.4	Conforto Térmico e Saúde	17
3	METODOLOGIA	20
3.1	Área de estudo e dados	20
3.2	IC – Índice de Calor	21
3.3	Índice de Wind chill	22
3.4	ICTH – Índice de Conforto Térmico Humano	23
3.5	IDTH – Índice de Desconforto Térmico Humano	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	IC – Índice de Calor	29
4.2	Índice de Wind chill	31
4.3	Índice de Conforto Térmico Humano (ICTH)	32
4.4	Índice de Desconforto Térmico Humano (IDTH)	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Com o advento das mudanças climáticas e o crescente aumento populacional, torna-se cada vez mais importante avaliar as consequências ao meio ambiente, principalmente quanto ao uso do solo, desmatamento, demandas hídricas e poluição. Tal cenário pode interferir no estado de saúde e bem-estar da população em geral. A maioria dos trabalhos de caráter experimental é voltado para ambientes fechados, uma vez que condições de conforto em ambientes internos são facilmente controlados com sistemas passivos ou ativos de condicionamento térmico (POZZA, 2011; LEITE, 2015). Em ambientes externos é mais difícil de obter condicionamento, tendo em vista que depende de diversos fatores climáticos e biofísicos de cada indivíduo. Com isso os estudos relacionados ao conforto térmico vêm sendo cada vez mais importante (TORRES, 2016). Analisar e entender o conforto térmico do ambiente externo ajuda a melhorar sua qualidade, afetando positivamente o comportamento humano e a qualidade de vida.

Segundo ARAUJO (2013) a razão para criar condições de conforto térmico está no desejo do homem de se sentir confortável e esse conforto depende diretamente do ambiente em que o indivíduo está inserido. O conforto térmico depende da taxa de metabolismo, do material e capacidade de isolamento da vestimenta, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade relativa do vento.

Quando o organismo humano não consegue equilibrar-se com a temperatura do ambiente em que se encontra, ocorrem alterações na temperatura do organismo humano. Verificando-se quando um organismo entra em contato com outros objetos mais frios ou mais quentes (PAGNOSSIN, 2001). A maior parte do calor corporal é transportado para a superfície do corpo através da circulação. A perda de calor está diretamente relacionada ao gradiente de temperatura e as suas características térmicas. A troca de calor por condução geralmente é reduzida pois o corpo humano é protegido por vestimentas (BRITO, 2017; PAGNOSSIN, 2001). A troca convectiva ocorre pelo movimento da camada de ar próxima a pele, que tende a retirar o ar quente e substituí-lo por um ar mais frio. A radiação é um dos fatores que afetam a sensação de conforto térmico, interferindo através da troca de calor no organismo, pois o corpo absorve e irradia calor, sendo a evaporação realizada nesta troca um mecanismo importante que atua no organismo humano, do trato respiratório até a superfície da pele, mantendo o equilíbrio térmico. (McARDLE et. al. 1998; PAGNOSSIN, 2001).

O índice de calor é calculado a partir da interação da temperatura e umidade do ar, a sensação térmica torna-se mais sensível dependendo da quantidade de partículas de água

presente no ar, quanto maior a quantidade de umidade, maior será o isolamento no ambiente, tornando mais difícil a circulação (MORAIS, 2013). Além da temperatura e da umidade do ar, diversos fatores podem afetar a sensação de conforto térmico, como a arquitetura das construções e a presença da vegetação, que podem tornar o ambiente mais ou menos confortável.

Um fator que modifica a atmosfera é a urbanização das cidades que tem ocorrido de maneira rápida em resposta ao aumento da população. Essas mudanças são o resultado de atividades humanas, como a emissão de gases poluentes, atividades industriais intensivas, desmatamento da vegetação nativa, dentre outros fatores (MAITELLI, 1994; QUEIROGA, 2019).

O relatório do IPCC (2014) indicava que a população, especialmente dos países tropicais, iria sofrer mais com as mudanças climáticas, sendo o NEB (Nordeste do Brasil) uma das regiões mais afetadas. E também no relatório do IPCC (2023), sugere-se que nos ambientes urbanos, as mudanças climáticas vêm causando impactos negativos em relação a saúde humana. A temperatura da superfície global aumentou mais rapidamente desde 1970, nas duas primeiras décadas do século 21 (2001-2020) foi 1,1°C maior do que 1850-1900, e de 1850-1900 para 2010-2019 o aumento é de 0,8°C. As ondas de calor, se intensificam nas cidades, onde também pioram os eventos de poluição do ar. Os extremos climáticos estão afetando cada vez mais a América do Sul, e alguns desafios relacionados a saúde mental estão associados ao aumento nas temperaturas (IPCC, 2023). Os eventos extremos incluem o aumento na frequência de ondas de calor e secas simultâneas e inundações em alguns locais. Esses riscos podem gerar vulnerabilidade e agravar impactos para as atividades de subsistência humana, causando impactos econômicos e sociais, principalmente a setores expostos ao clima como a atividade agrícola, energia e turismo (MARENGO, 2008).

A ONU (2023) publicou uma matéria relatando as diferenças das temperaturas desde a década de 1980, a OMM (Organização Meteorológica Mundial) diz que 2016, 2019 e 2020 foram os três anos mais quentes já registrados e desde 1980 cada década tem sido mais quente que a anterior, sendo os últimos oito anos os mais quentes já registrados globalmente. A tendência é que o aquecimento global e outras tendências de mudança climática de longo prazo continuem a ocorrer. O fenômeno El Niño excepcionalmente forte, ocorreu em 2016, o que contribuiu com as temperaturas globais recordes causando anos mais secos para o NEB e ondas de calor fortes também foram observadas na América do Sul (REIS, 2022).

A seca no NEB agrava a convivência de sertanejos com o fenômeno climático e evidencia as dificuldades de enfrentar os fenômenos naturais. Além das secas, chuvas intensas

causam inundações e conseqüentemente destruição de moradias e de outras edificações, em principal as que ficam as margens dos rios e elevam os prejuízos levando diversos municípios ao estado de calamidade pública (DA SILVA, 2018).

O NEB é uma região extensa proporcionando condições pluviométricas distintas em diferentes regiões, sendo a principal característica a irregularidade das chuvas. (BARROS, 2012).

As condições de conforto térmico estão diretamente associadas ao desenvolvimento e urbanização das cidades, o NEB apresenta uma grande irregularidade em sua distribuição demográfica, onde a maior parte da população se encontra nos grandes centros urbanos que se estabelecem nas capitais. Nesse sentido, diante da importância desse estudo para as regiões mais populosas do NEB, o objetivo dessa pesquisa de conclusão de curso foi analisar o comportamento das temperaturas e calcular os Índices de Conforto e Desconforto Térmico Humano (ICTH e IDTH), Índice de *Windchill* (IW) e Índice de Calor (IC), para cenários atuais e futuros, comparando a climatologia de 1990 a 2020 com os últimos 8 anos de 2012 a 2020, e discuti-los no que diz respeito a quanto, as condições termohigrógrafas (temperatura e umidade) afetam o rendimento da saúde humana, nas capitais do NEB.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conforto Térmico

O estudo do conforto térmico surgiu nas primeiras décadas do século XX, com experimentos voltados para a caracterização e identificação de situações de estresse térmico em ambientes de trabalho. Um dos pioneiros nessas pesquisas foi o pesquisador Thomas Belford, que realizou estudos de campo em 1936 (HUMPHRYS, 2015). Sua pesquisa se destaca pelo uso de 11 variáveis de análise, respostas subjetivas e análises inferenciais para o tratamento do intervalo dos dados, incluindo o uso de média, desvio padrão, coeficiente de Pearson e regressões múltiplas. Além disso, ele criou uma escala subjetiva de 7 pontos para avaliação (DE SOUSA, 2019).

A preocupação científica com o conforto térmico humano é antiga, os primeiros esforços organizados para estabelecer critérios de conforto térmico, ocorreram entre 1913 e 1923 (RUAS, 1999; MORAIS, 2012). Desde então esse tema vem sendo estudado em todo o mundo, diante do grande desafio de encontrar fatores que influenciam na sensação de calor e como estes fatores se relacionam. Pesquisas que foram realizadas entre 1970 e 1986 mostram que o conforto térmico está diretamente relacionado ao equilíbrio térmico humano, o qual é influenciado por diversos fatores ambientais, como a temperatura do ar, que é um fator crítico para o conforto térmico, temperaturas muito altas ou muito baixas podem causar desconforto; Umidade relativa do ar, a quantidade de umidade presente no ar pode afetar a forma com que o corpo humano percebe a temperatura, alta umidade pode tornar o ambiente abafado e desconfortável, enquanto a baixa umidade pode resultar em ressecamento das vias respiratórias e pele; velocidade do vento, a movimentação do ar pode ajudar a dissipar o calor do corpo humano, proporcionando uma sensação maior de conforto, no entanto, correntes muito fortes podem causar desconforto; radiação solar, a exposição à radiação direta ou indireta pode aumentar a temperatura ambiente e o desconforto térmico; vestuário, o tipo de roupa desempenha um papel fundamental no conforto térmico de cada indivíduo, roupas pesadas em um ambiente quente podem restringir a dissipação de calor do corpo; atividade física, a quantidade de atividade física realizada por uma pessoa pode gerar calor interno no corpo podendo afetar a sensação de conforto térmico; por fim, o metabolismo humano, a taxa metabólica varia de pessoa para pessoa e afeta a produção de calor interna do corpo, algumas pessoas tem metabolismo mais rápido geram mais calor, enquanto outras tem um metabolismo mais lento e geram menos calor (PAGNOSSIN, 2001).

Identificar áreas onde o desconforto térmico causado pelo excesso de calor é presente se torna fundamental para desenvolver estratégias de mitigação desse efeito, tais como a construção de ciclovias, melhoria do transporte coletivo, implementação de calçadas ecológicas, incentivos para a criação de espaços verdes em residências e estabelecimentos comerciais, aumentando a arborização urbanas entre outras medidas (ALCÂNTARA, 2020). É de suma importância o conhecimento das características climáticas de um determinado local sob a perspectiva do conforto térmico. Isso proporciona uma compreensão das condições do ambiente onde se vive, bem como de outros lugares, permitindo, quando possível, fazer escolhas mais adequadas quanto ao local de residência. Esse conhecimento também se torna uma ferramenta estratégica para mitigar o desconforto humano, promovendo qualidade de vida e desenvolvimento regional, tanto no âmbito de políticas públicas e comunitárias quanto por meio de ações individuais (MARTINI, 2014).

2.1.1 Desconforto Térmico

A falta de planejamento e o rápido desenvolvimento das cidades contribuíram para as mudanças nas suas estruturas urbanas originais. Um dos principais efeitos dessa urbanização acelerada é a verticalização das edificações e a intensificação da impermeabilização e pavimentação das vias públicas, seja através do uso de pedras, concreto ou revestimento asfáltico. Como resultado, as áreas centrais das cidades sofrem um aumento na temperatura do ar em relação às regiões circunvizinhas, um fenômeno conhecido como ilha de calor. Isso significa que o ar nas áreas urbanas se torna mais quente do que nas áreas rurais (SOUZA, 2010; MONTEIRO 2003).

As características climáticas naturais da região semiárida do Brasil são agravadas pelos elementos constituintes das estruturas urbanas, ocasionando em uma piora na qualidade de vida das áreas centrais da cidade devido ao aumento do desconforto térmico. Isso ocorre devido à disposição das edificações e aos materiais utilizados no revestimento das superfícies, especialmente o asfalto, pois interferem na circulação dos ventos e no acúmulo de calor (DA COSTA BEZERRA, 2013).

2.2 Sensação Térmica

Diversos índices de conforto foram desenvolvidos para analisar a relação entre os seres humanos e o ambiente em que estão expostos. No entanto, a maioria desses índices foi

elaborada para verificar a sensação térmica em espaços internos, sendo que a sensação de conforto em ambientes abertos é mais complexa devido a um maior número de variáveis envolvidas. No Brasil estão sendo desenvolvidos diversos estudos sobre o conforto em espaços abertos, porém devido à diversidade climática do país, há uma necessidade de realizar estudos específicos nas diferentes localidades (ROSSI, 2012).

Uma pesquisa realizada por Krüger (2012), na cidade de Glasgow, indicou que as mulheres são mais sensíveis ao frio, enquanto em condições mais quentes, os homens e as mulheres tendem a ter percepções semelhantes. Além disso, o grupo de pessoas mais idosas (acima de 64 anos) demonstrou ser mais sensível tanto ao frio quanto ao calor em comparação aos jovens e adultos (PANET, 2018). Por outro lado, o grupo de pessoas obesas, com um índice de massa corporal mais elevado, apresentou uma sensação térmica excessiva tanto em situações de frio quanto de calor, o que corrobora o fato de que pessoas com maior massa corporal possuem uma taxa metabólica mais elevada (ANDREASI, 2012). Esses estudos embora não indiquem efeitos diretos na saúde, são importantes para identificar os fatores de maior risco de vulnerabilidade aos efeitos climáticos.

2.3 Ondas de Calor

As OCs (Ondas de Calor) são frequentemente descritas de maneiras variadas, sem uma definição universal. Geralmente, uma onda de calor é considerada como um período prolongado de clima quente, muitas vezes acompanhado de alta umidade, resultando em condições incomuns e desconfortáveis (ALVES, 2014).

As ondas de calor têm impactos em diversos setores como saúde humana, agricultura, pecuária, e até mesmo setores socioeconômicos e infraestrutura pública. Esses impactos podem ocorrer tanto em forma direta, por meio de danos físicos, quanto em forma indireta, pela redução do potencial de produção e aumento dos gastos necessários para a produção. Além disso, as ondas de calor podem influenciar a frequência e a intensidade de incêndios, devido à diminuição de umidade do solo e ao consequente aumento do combustível disponível para a rápida propagação de incêndios florestais (MOTTA, 2008). Os eventos extremos de temperatura geralmente são definidos como um período de vários dias consecutivos em que a temperatura atinge ou ultrapassa um determinado limite. Esses eventos podem ser calculados com base em dados de temperatura máxima, mínima e média, bem como em dados de umidade relativa, que está associada ao estresse térmico no corpo humano (SOUZA, 2010).

Segundo Laaidi et al. (2012), o risco de mortalidade devido à exposição a altas temperaturas é maior em áreas urbanas, devido ao efeito conhecido como ilhas de calor. Costa (2010) descobriu diferenças significativas de temperatura entre áreas com cobertura vegetal e áreas pavimentadas na cidade de Ilha Solteira, no estado de São Paulo (SP). Em um estudo semelhante o autor Lima et al. (2010) investigaram as variações de temperatura entre áreas de cobertura vegetal e áreas de mangue, tanto em áreas impactadas quanto em áreas conservadas. Os autores descobriram que as áreas de mangue não conservadas apresentavam uma maior amplitude térmica, com temperaturas máximas mais altas. De acordo com o estudo de Jenerette et al. (2006), em ambientes urbanos, as associações entre a temperatura do ar e as características específicas dos bairros, como economia, densidade populacional e cobertura vegetal, são bastante evidentes. Além disso, sabe-se que as pessoas mais suscetíveis às ondas de calor são as crianças, idosos e adultos com problemas de saúde. Populações socialmente vulneráveis apresentam um risco ainda maior. O estudo de Bitencourt et al. (2012) encontra relações entre o calor e mortes de trabalhadores cortadores de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, onde os trabalhadores realizavam atividades extenuantes em condições precárias de trabalho.

2.4 Conforto térmico e Saúde

A bioclimatologia humana aplicada às cidades está relacionada aos aspectos do clima urbano e sua influência no conforto, desconforto e saúde humana, bem como aos efeitos do espaço urbano nos componentes do clima (ALEIXO, 2012). Esses elementos são importantes para a manutenção do equilíbrio térmico do corpo humano e têm sido amplamente documentados em todo o mundo. Atualmente, existe uma base de conhecimento para a aplicação da avaliação biometeorológica e/ou bioclimatológica, principalmente em áreas urbanas. A incorporação da avaliação bioclimática ou biometeorológica na análise dos climas urbanos pode ampliar o campo de pesquisa em clima e saúde, contribuindo para aumentar o conhecimento sobre os efeitos prejudiciais do ambiente térmico na saúde (DA SILVA, 2014). É relevante estudar as relações entre o clima e a saúde humana, especialmente diante das mudanças climáticas globais, a fim de prever seus prováveis efeitos na saúde da população e nas vulnerabilidades enfrentadas diante dessas mudanças. O estresse térmico está diretamente relacionado à saúde humana, portanto, é essencial avaliar as tendências desse estresse, o que pode ser feito na região tropical por meio de índices de desconforto térmico (MANDÚ, 2019).

Os estudos sobre o clima urbano acumularam conhecimento sobre o funcionamento da atmosfera, principalmente nas grandes cidades. O efeito de ilha de calor é uma característica

marcante identificada nas metrópoles. Lombardo (1985), em um livro pioneiro, mostrou que a ilha de calor na cidade de São Paulo segue os mesmos padrões das cidades em médias latitudes, em que sua maior intensidade coincide com as áreas mais densamente urbanizadas, enquanto as áreas mais vegetadas e com reservatórios de água apresentam menor intensidade, podendo apresentar até mesmo o efeito de ilha de frio.

É evidente e frequente a descrição de uma associação positiva entre temperaturas e mortalidade (Kallstein et al., 1996). Existem inúmeros exemplos de episódios de ondas de calor em grandes cidades ou áreas bem definidas, nos quais é estabelecida uma relação casual entre as temperaturas máximas e a mortalidade humana (NOGUEIRA, 1999).

No estudo realizado por Garcia em 2021, foi analisada a taxa de mortalidade durante dias com e sem ocorrência de ondas de calor nos meses com maiores valores de temperatura. O estudo mostrou um aumento na taxa de mortalidade durante os períodos de onda de calor em todas as regiões metropolitanas estudadas. Em relação à caracterização da vulnerabilidade, os idosos foram identificados como faixa etária mais vulnerável, não houve uma determinação clara da suscetibilidade entre os gêneros e as causas básicas de óbito, variando em cada região metropolitana (SANTOS, 2022). Essas variações entre as regiões podem ser explicadas por fatores não abordados no estudo, como aspectos socioeconômicos, nível de escolaridade, moradia, raça, ocupação e estado civil. Além das limitações relacionadas a fatores socioeconômicos, o estudo de Garcia (2021) também apresenta limitações meteorológicas, como a falta de dados *in loco* e a utilização apenas da temperatura como variável meteorológica, considerando que alguns índices de conforto térmico levam em conta além da temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a qualidade do ar. Embora existam alguns estudos sobre o risco de hospitalização durante as ondas de calor nas cidades brasileiras, o estudo de Garcia (2021) é o primeiro estudo que relaciona esses eventos com o aumento da mortalidade abrangendo algumas das regiões metropolitanas mais populosas do país. Essas informações podem ser úteis para as autoridades de saúde pública, a fim de preparar e investir em sistemas de alerta para os riscos e impactos que esses eventos de calor extremo, cada vez mais frequentes e intensos, podem causar.

RIBEIRO et al. (2016) estudam o impacto da ilha de calor urbana na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em idosos, e apontaram uma relação entre um maior risco de morte nas áreas onde intensidade da ilha de calor é mais alta. No entanto, o menor número de mortes ocorreu no verão, não foi observado um excesso de mortalidade em dias com temperaturas acima de 35°C. A autora considera que as diferenças diárias, como a amplitude térmica ou as oscilações entre um dia e outro, podem estar relacionadas ao excesso

de mortes. A autora indica indícios de que o aumento no número de óbitos está, de certa maneira, associado a variações térmicas anômalas, que ocorrem de forma diferenciada nas diversas estações do ano.

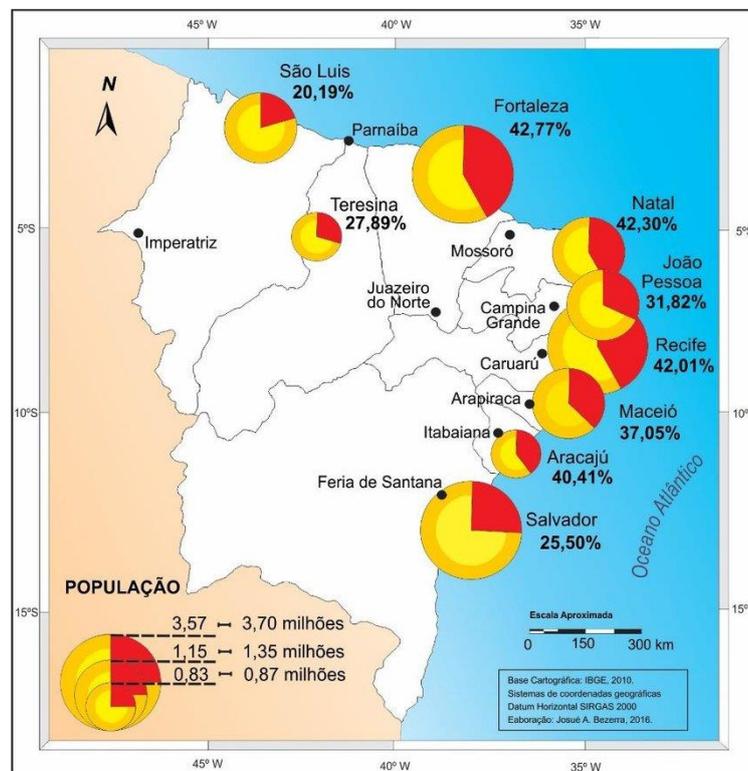
Em síntese, os autores mencionados, demonstram que as condições de onda de calor representam um grave problema para a saúde da população, principalmente para pessoas pertencentes a grupos de risco, ou seja, o extremo de calor está associado a um aumento na mortalidade e morbidade nas populações mais vulneráveis, como crianças e idosos.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo e dados

Apesar do crescimento da dinâmica socioeconômica nas áreas do interior, impulsionada por cidades com relativa centralização urbana na região, nem todos os municípios da região alcançaram o *status* de cidades, resultando em uma disparidade (NASCIMENTO, 2018). O IBGE (2008), destaca que essa desigualdade também se reflete na organização hierárquica das cidades do NEB. Enquanto, no Centro-Sul do país existe uma rede urbana bem estruturada, composta por um número considerável de metrópoles, capitais regionais e centros sub-regionais interligados, no NEB observa-se uma distribuição mais espaçada entre esses centros. É possível notar uma alteração na supremacia das capitais dos estados sobre a rede urbana regional, como demonstrado pela concentração da população total nos aglomerados metropolitanos das capitais (Figura 01) (BEZERRA, 2018).

Figura 01 – Região Nordeste: Concentração da população total das capitais (2010)



Fonte: Censo demográfico de 2010 (IBGE, 2011); GARSON et.al. (2010); Bezerra (2018).

Sendo assim, a área de estudo está delimitada as capitais do Nordeste, por serem as regiões mais populosas do NEB.

Foram utilizados dados observados diários das Estações Meteorológicas Convencionais, das capitais do NEB, posteriormente foram calculadas as médias mensais. O período de dados coletados foi de 1990 a 2020 (30 anos) e de 2012 a 2020 (8 anos), por esse período ter sido considerado o mais quente já observado, os dados foram disponibilizados pelo INMET.

Para o cálculo dos índices e para realizar as análises foram utilizadas as variáveis de Temperatura do ar, Umidade Relativa do Ar e Velocidade do Vento, para todas as capitais.

Posteriormente, realizou-se o preenchimento de falhas com dados de Reanálise 1, do Laboratório de Pesquisas de Sistemas da Terra (ESRL), associado à Divisão de Ciências Físicas do NCEP/NOAA/NCAR – Serviço Norte Americano de Administração dos Oceanos e da Atmosfera, com resolução de 2,5° X 2,5°, em dados diários disponíveis em 00, 06, 12, 18 UTC.

Para executar a análise estatística dos dados, além de organizá-los para o processo utilizou-se o *software* da Microsoft Office Excel 2019. Os dados foram analisados na escala de tempo anual, relativa à média climatológica dos 30 anos de dados utilizados. Para o Índice de Calor, foi feita a transformação de graus Celsius para Fahrenheit, para utilização na fórmula. No ICTH foi calculado a tensão de vapor (e_a) e para o IDTH foi calculado a temperatura do ponto de orvalho, a partir das variáveis temperatura e umidade relativa.

Após os cálculos dos índices climáticos de 1990 até 2020 e de 2012 a 2020, foram inseridos valores para cenários futuros, otimista (+3°C) e pessimista (+4°C) através da projeção do quinto relatório do IPCC, publicado em 2014. Posteriormente foram realizadas comparações e discussão dos resultados obtidos entre os cenários.

3.2 IC - Índice de Calor

O índice de calor é calculado usando uma fórmula que leva em consideração as variáveis T e UR. Existem várias versões dessa fórmula, mas uma das mais amplamente utilizadas é a formulação do índice de calor de Steadman, que foi desenvolvida pelo meteorologista australiano Robert Steadman, Equação 1, (STEADMAN, 1970).

(1)

$$IC = - 42,379 + 2,04901523 * T_{ar} + 10,14333127 * UR - 0,22475541 * T_{ar} * UR - 6,83783 * (10)^{-3} * (T_{ar})^2 - 5,481717 * (10)^{-2} * (UR)^2 + 1,22874 * (10)^{-3} * (T_{ar})^2 * UR + 8,5282 * (10)^{-4} * T_{ar} * (UR)^2 - 1,99 * (10)^{-6} * (T_{ar})^2 * (UR)^2$$

Para a qual, a temperatura observada (T_{ar}) é medida em Fahrenheit ($^{\circ}F$) e a UR dada em porcentagem (%). O resultado do cálculo é um valor que representa a temperatura aparente ou sensação térmica.

Na Tabela 1 são apresentados os níveis de alerta e a lista de alguns possíveis sintomas associados ao estresse térmico. O IC é um índice que combina a temperatura do ar e a umidade relativa do ar para determinar uma temperatura aparente, que representa o a sensação que está ocorrendo no momento.

Tabela 1 – Alerta para o Índice de Calor

IC ($^{\circ}C$)	Nível de Alerta	Síndrome de Calor (sintomas)
Menor que $27^{\circ}C$	Ausência de Alerta	-----
27 a $32^{\circ}C$	Atenção	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física
32,1 a $41^{\circ}C$	Muito Cuidado	Possibilidade de câibras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
41,1 a $54^{\circ}C$	Perigo	Câibras, insolação e esgotamento prováveis. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividade física
Maior que $54^{\circ}C$	Extremo Perigo	Insolação e Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente

Fonte: STEADMAN, 1970

No entanto, vale ressaltar que existem outras fórmulas para índices de calor utilizados em diferentes países e instituições. Por exemplo, nos Estados Unidos, o Serviço Nacional de Meteorologia utiliza o Índice de Calor do Heat Index, que é calculado de forma diferente, mas também considerando as variáveis de T e UR.

3.3 Índice de Wind chill

O índice de *Wind chill*, também é conhecido como sensação térmica do vento, é uma medida utilizada para avaliar como a combinação do vento e da temperatura do ar afeta a percepção de frio pelo corpo humano (SIPLE e PASSEL, 1945).

O vento acelera a perda de calor do corpo, pois aumenta a taxa de evaporação da umidade presente na pele. Isso faz com que a temperatura percebida seja mais baixa do que a temperatura real do ar, o que pode levar a um aumento no desconforto térmico e representar um risco a saúde (SIPLE e PASSEL, 1945).

O índice de *Wind chill* varia de acordo com o país, mas uma das formulações mais comumente usadas é a do índice de *Wind chill* do Serviço Meteorológico do Canadá. Inicialmente, foi desenvolvida por dois pesquisadores Paul Siple e Charles Passel, durante a Segunda Guerra mundial (SIPLE e PASSEL, 1945). Desde então, a fórmula do índice de *Wind chill* foi aprimorada e ajustada por diferentes organizações e países. Desta forma foi utilizado para calcular o índice de *Wind chill* a Equação 2.

(2)

$$\text{Wind Chill} = 13,12 + 0,6215 \times \text{Temperatura} - 11,37 \times \text{Velocidade do Vento}^{0,16} + 0,3965 \times \text{Temperatura} \times \text{Velocidade do Vento}^{0,16}$$

Para a qual, a temperatura é medida em graus Celsius (C°) e a velocidade do vento é medida em quilômetros por hora. O resultado do cálculo é um valor que representa a temperatura aparente ou a sensação térmica devido à combinação do vento e da temperatura.

O índice de *Wind chill* é uma informação útil para ajudar as pessoas a se prepararem adequadamente para as situações. A Tabela 2 apresenta uma escala de riscos com base nos valores de resultados do índice de *Wind chill*.

Tabela 2 – Alerta para o Índice de Wind chill

IC (°C)	Nível de Alerta
Acima de 27°C	Baixo risco
20 a 26,9°C	Risco Moderado
10 a 19,9°C	Alto Risco
0 a 9,9°C	Risco Muito Alto
Abaixo de 0°C	Extremo Perigo

Fonte: SIPLE e PASSEL, 1945

3.4 ICTH - Índice de Conforto Térmico Humano

O ICTH é uma medida que avalia o nível de conforto térmico percebido por pessoas em relação às condições ambientais. Fornece a informação de quão confortável uma pessoa pode se sentir em determinadas condições climáticas. O ICTH proposto por Rosemberg (1983) é dado pela Equação 3.

(3)

$$ICTH = T_a + \frac{5}{9} (e_a - 10)$$

Na qual T_a é a temperatura do ar em °C, e_a é a pressão de vapor que pode ser calculada utilizando a equação 4 e e_s é a pressão de vapor do ar saturado, que pode ser obtida utilizando a Equação 5 de Tetens (1973).

(4)

$$e_a = \frac{(e_s * UR)}{100}$$

(5)

$$e_s = 6,10 * 10^{\left(\frac{(7,5 * T_a)}{(237,3 + T_a)}\right)}$$

A Tabela 3 mostra a classificação do grau de conforto em função dos valores de ICTH.

Tabela 3 – Índice de Conforto Térmico Humano

Graus de Umidade (°C)	Graus de Conforto
20 – 29	Confortável
30 – 39	Graus de conforto variando
40 – 45	Desconforto Suportável
46 >	Desconforto Insuportável

Fonte: Rosemberg (1983)

3.5 IDTH - Índice de Desconforto Térmico Humano

O IDTH é uma medida para avaliar a sensação de desconforto causada por condições ambientais adversas em relação a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. É uma métrica complementar ao índice de conforto térmico, que indica quando as condições climáticas podem ser prejudiciais ao bem-estar humano. O IDTH utilizado (Equação 6) foi descrito por Ono e Kawamura (1991), sendo T_a a temperatura do ar e T_d a temperatura do ponto de orvalho.

(6)

$$IDTH = 0,99 * T_a + 0,36 * T_d + 41,5$$

Sendo T_d estimado de acordo com a Equação 7, com Alfa (α) obtido através da Equação 8.

(7)

$$T_d = \frac{b * \alpha (T_a, UR)}{a - \alpha (T_a, UR)}$$

(8)

$$\alpha(T_a, UR) = \frac{a * T_a}{b + T_a} + \ln(UR) \quad \text{com } a = 17,27 \text{ e } b = 237,7 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

A Tabela 4 mostra a classificação do desconforto em função de valores obtidos do IDTH.

Tabela 4 – Índice de Desconforto Térmico Humano

Intervalo do IDTH	Efeito
IDTH > 80	Estresse devido ao calor
75 > IDTH > 80	Desconfortável devido ao calor
60 > IDTH > 75	Confortável
55 > IDTH > 60	Desconfortável devido ao Frio
IDTH < 55	Estresse devido ao Frio

Fonte: Ono e Kawamura (1991)

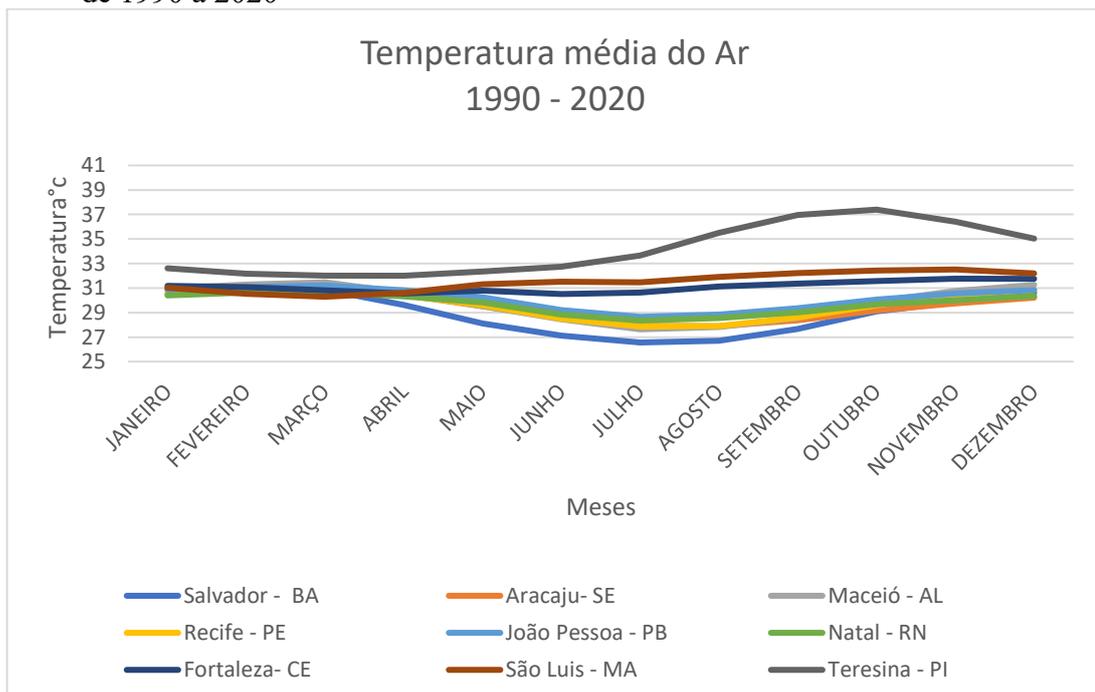
É importante ressaltar que o IDTH é uma ferramenta útil para alertar sobre condições climáticas adversas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diversos fatores estão associados a sensação de conforto térmico, essa percepção é resultado da interação entre o ambiente físico e as características individuais (LABAKI, 2012). As principais variáveis meteorológicas estudadas e presentes nos quatro índices analisados, foram a velocidade do vento, umidade relativa do ar e a temperatura do ar, sendo a temperatura uma das principais variáveis responsáveis por influenciar diretamente no conforto térmico.

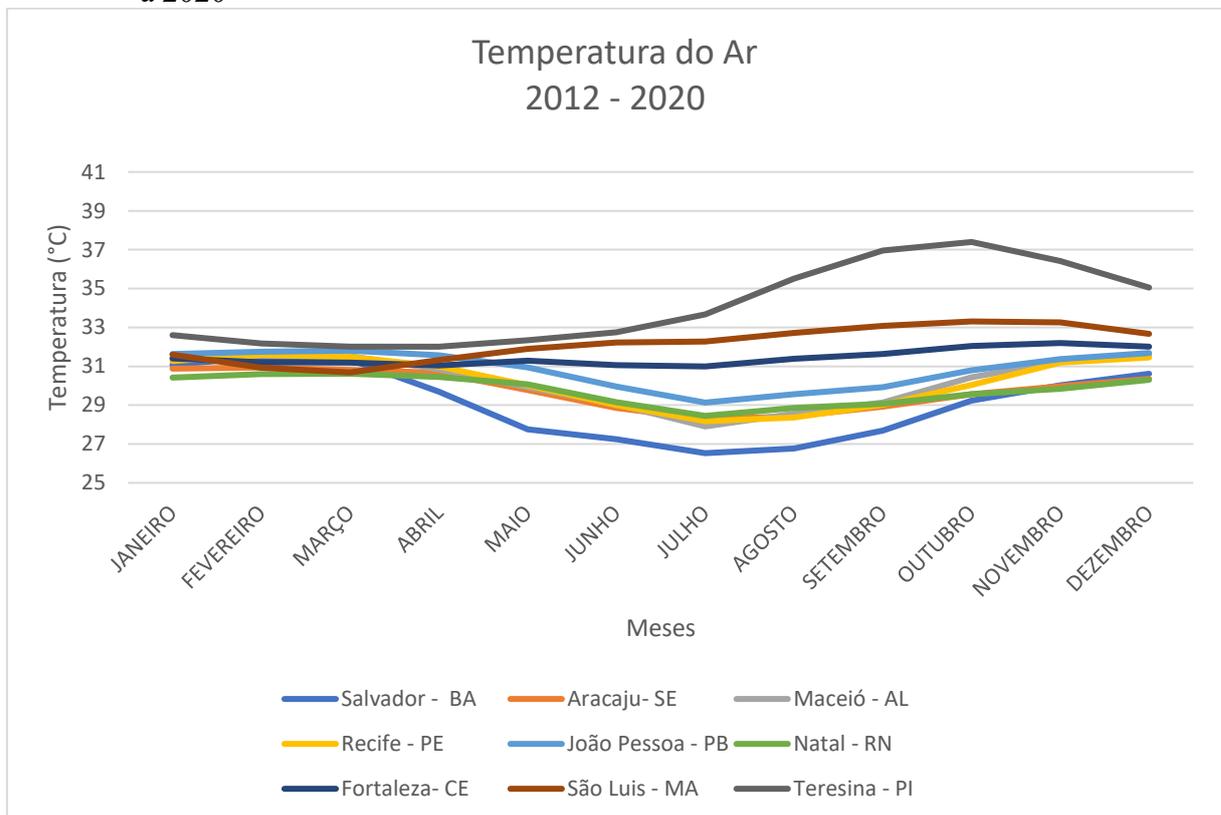
Nesta seção, apresenta-se a discussão dos principais resultados obtidos nas análises dos índices, nas capitais do Nordeste brasileiro. As temperaturas observadas na climatologia, apresentada na Figura 02 mostra a variação de temperatura nas capitais durante os meses do ano. Observa-se que os ciclos de temperatura são diferentes para as capitais ao leste, comparadas as da faixa norte do Nordeste. As capitais localizadas ao leste possuem T máximas entre janeiro e maio, e as T mínimas se apresentam entre junho e setembro. Enquanto, as capitais localizadas ao norte do Nordeste, possuem T mínimas entre janeiro e abril, e as T máximas podem ser observadas entre agosto e novembro. As mínimas apresentadas pelas capitais ocorrem nos mesmos meses que a quadra chuvosa da região, sendo para o leste da região Nordeste, nos meses de abril, maio, junho e julho e para o norte do Nordeste em fevereiro, março, abril e maio.

Figura 02 – Variação de temperatura média anual das capitais do NEB de 1990 a 2020



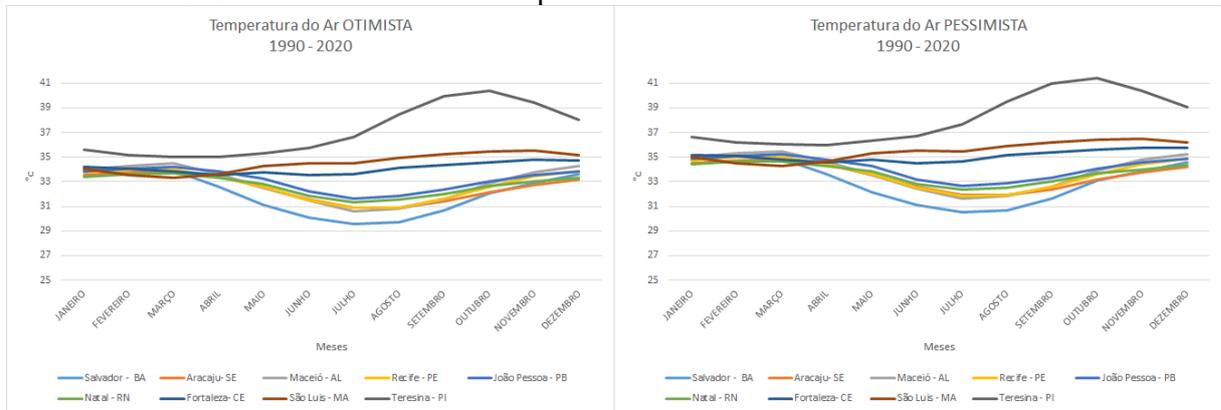
Quanto à diferença entre as séries climatológica e dos últimos oito anos, verifica-se valores superiores de temperatura durante os ciclos de análise. Observou-se acréscimo de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$, para as capitais ao norte do NEB, São Luís, Teresina e Fortaleza, comparado as médias apresentadas na Figura 2. As temperaturas observadas no período de oito anos, seguem o mesmo padrão de comportamento com as capitais localizadas ao leste e norte do Estado (Figura 03). Além disso, é possível observar uma elevação das mínimas e máximas, na maioria das capitais e também um pequeno distanciamento das linhas de temperatura entre São Luís e Teresina, sendo essa última mais quente.

Figura 03 – Variação de temperatura anual das capitais do NEB de 2012 a 2020



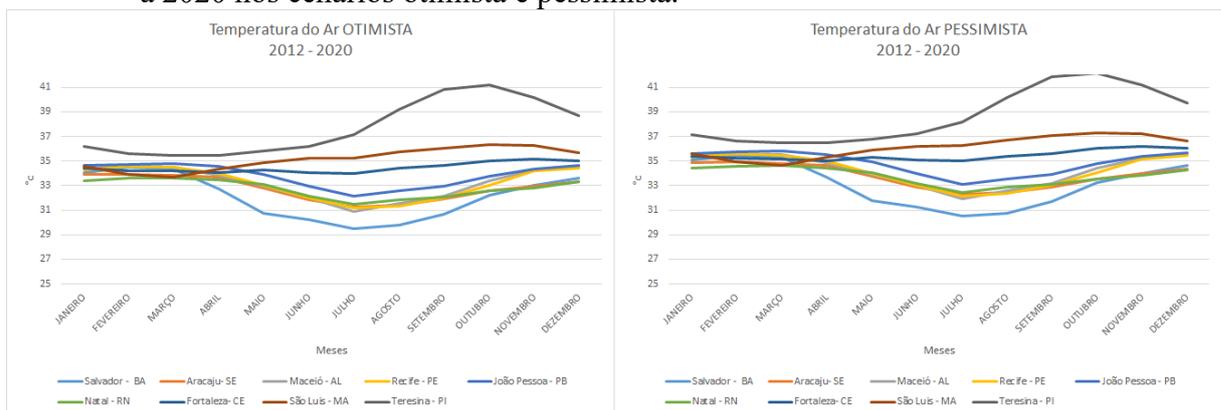
A Figura 04 mostra a temperatura do ar em cenários otimista e pessimista utilizado de acordo com os cenários propostos pelo IPCC, que sugere aquecimento de 3° e 4°C respectivamente. Observa-se um aumento nas temperaturas, com a T máxima no cenário otimista sendo Teresina apresentando 40°C , e a mesma capital passando de 41°C no cenário pessimista. As menores temperaturas são observadas na capital da Bahia, com temperaturas otimistas de 29°C e pessimista de 30°C .

Figura 04 – Variação de temperatura anual das capitais do NEB de 1990 a 2020 nos cenários otimista e pessimista.



A Figura 05 mostra o comportamento da temperatura em cenários otimista e pessimista para o período de 2012 a 2020, sendo possível observar um aumento significativo nas temperaturas, em comparação a temperatura real e entre os cenários pessimista e otimista da série climatológica (Figura 4), com a maior temperatura no cenário otimista sendo Teresina (41°C), e a mesma capital passando de 42°C no cenário pessimista, cerca de 1°C a mais que os mesmos cenários para o período climatológico. As temperaturas mínimas se mantem as mesmas em ambos períodos estudados.

Figura 05 – Variação de temperatura anual das capitais do NEB de 2012 a 2020 nos cenários otimista e pessimista.



Esses resultados mostram a variação simples da variável mais importante utilizada em todos os índices utilizados. É possível ver que existe um aumento de temperatura quando comparado a climatologia com os últimos oito anos, é possível observar um aumento ainda maior se comparado os cenários otimista e pessimista, podendo gerar um impacto nos demais índices.

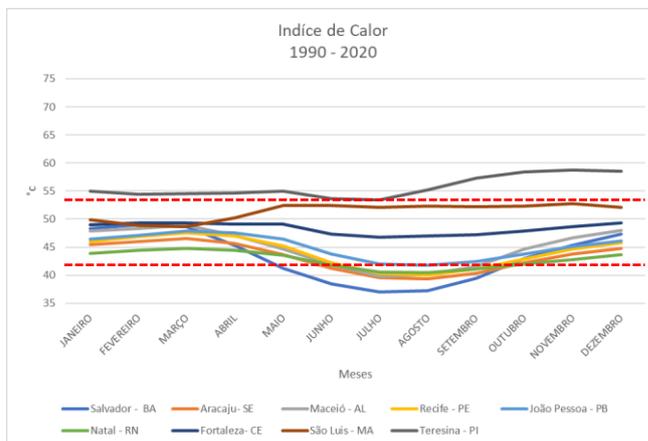
4.1 IC – Índice de Calor

Para a análise do IC (Figura 06), verifica-se que esse segue o mesmo padrão do campo de temperatura, com valores máximos, entre os meses de janeiro e maio, mínimos são entre de junho e abril, nas capitais ao leste. As capitais localizadas ao norte, indicam valores mínimos entre janeiro e abril e máximos entre agosto e novembro. Observa-se que em meses de temperatura mais elevadas as capitais se encontram em situação de perigo relacionado a sensação térmica, nos meses em que a temperatura apresentou valores mais baixos as capitais ao leste do Nordeste estiveram em situação de cuidado, enquanto as ao norte do Nordeste teve como decorrência do IC, um resultado preocupante estando em situação de perigo, mesmo em meses de temperaturas mais baixas na série climatológica (Figura 06).

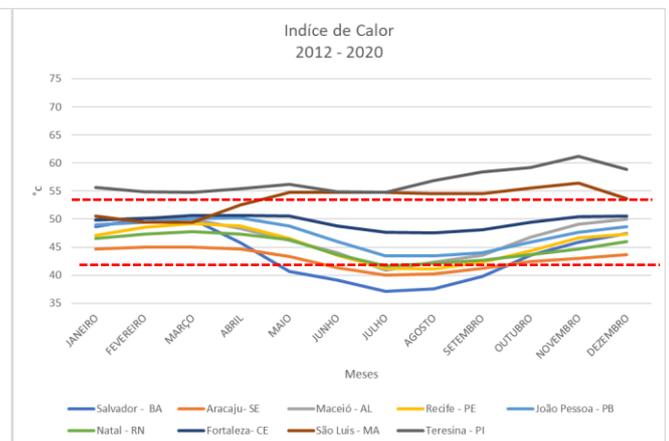
Para o IC no período de 2012 a 2020 (Figura 06), os resultados apresentaram valores mais elevados, refletindo as temperaturas mais altas analisadas na Figura 03, os valores observados variam de 37°C a 61°C, onde a maioria das capitais estiveram no nível de perigo (de 41° a 54° C), as capitais Salvador, Aracaju, Maceió, Recife e João Pessoa, entre os meses correspondente ao inverno (JJAS), esteve em nível de muito cuidado (de 32° a 41°C), Maranhão de maio a dezembro e Piauí em todo o período estiveram em nível de extremo perigo, podendo acarretar consequências graves a saúde humana, provocando maior risco de ocorrência de AVC e câncer de pele, atingindo a população mais vulnerável.

Figura 06 – IC nas capitais do NEB, (a) de 1990 a 2020, (b) de 2012 a 2020

(a)



(b)

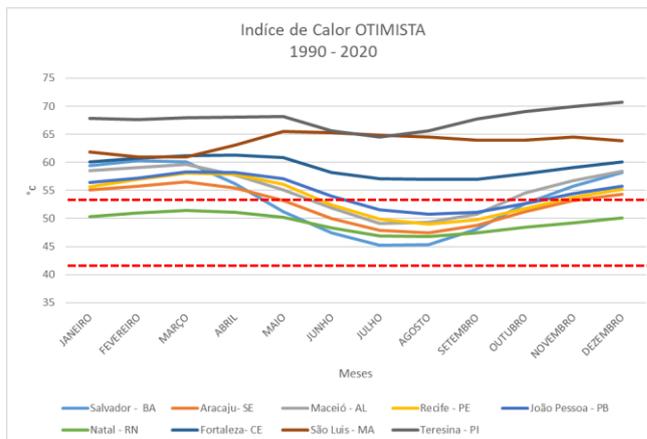


O IC otimista e pessimista, no período correspondente a 1990-2020 apresenta valores mais elevados. No cenário otimista (Figura 7, a), estando as capitais Fortaleza, São Luís e Teresina, em nível de extremo perigo durante todo o período. Entre os meses de outubro a maio, as capitais Salvador, Aracaju, Maceió, Recife e João Pessoa também estiveram em nível de extremo perigo, e entre os meses de maio a novembro com valores mais baixos, em nível de perigo.

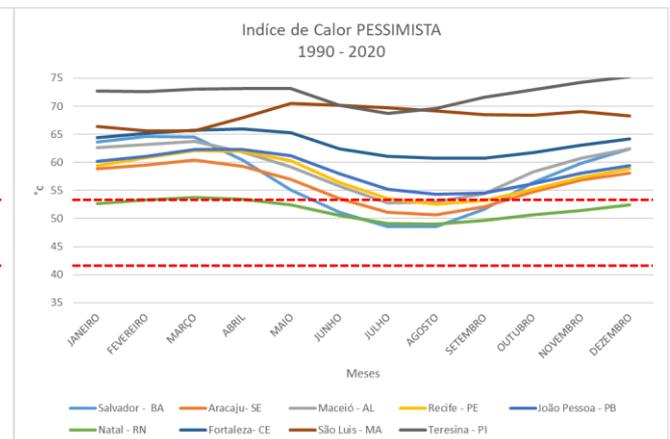
No cenário pessimista (Figura 7, b), mesmo apresentando uma diminuição nos meses referentes ao inverno, as capitais estiveram na maior parte do período em nível de extremo perigo, exceto as capitais Salvador e Aracaju de junho a setembro, Recife e Maceió nos meses de julho a agosto. A capital do Rio Grande do Norte (Natal), para os cenários otimista e pessimista do IC, esteve durante todo o período no nível de perigo.

Figura 07 – IC para os cenários otimista e pessimista nas capitais do NEB de 1990 a 2020

(a)

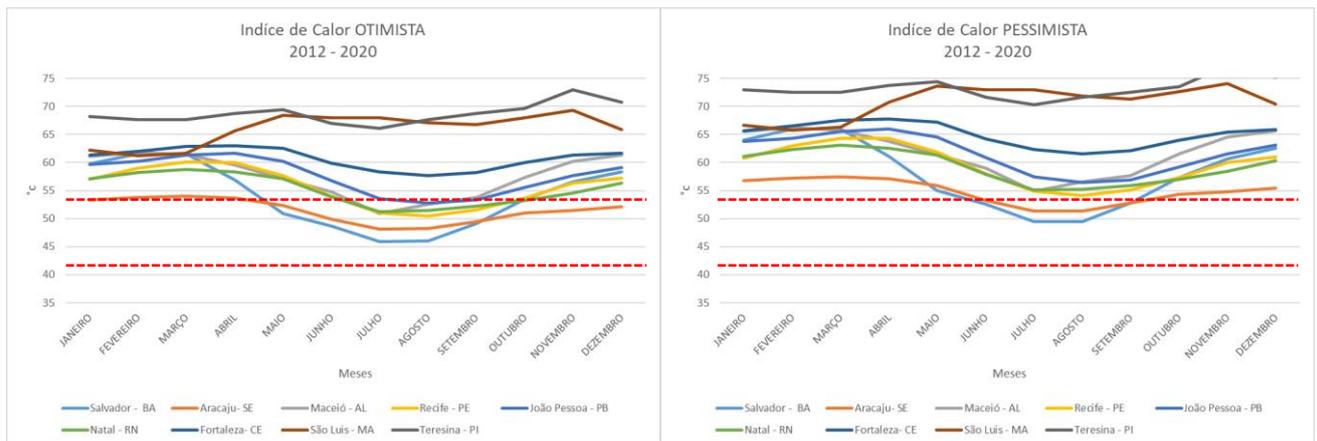


(b)



O IC para os cenários otimista e pessimista, do período equivalente aos últimos oito anos (2012-2020), figura 8, apresentam valores ainda mais elevados. No cenário otimista, as capitais que estiveram em nível de perigo foram, Salvador e Aracaju, nos meses de maio a outubro, Maceió, Recife e Natal, entre os meses de julho a outubro e João Pessoa no mês de agosto, nos demais períodos estiveram junto com as capitais Fortaleza, Teresina e São Luís, em nível de extremo perigo. No cenário pessimista, Salvador e Aracaju, nos meses de junho a setembro, estiveram em nível de perigo, os demais apresentaram em todo o período valores acima de 54°C.

Figura 08 – IC para os cenários otimista e pessimista nas capitais do NEB de 2012 a 2020



4.2 Índice de Wind chill

O Índice de Wind chill leva em consideração as variáveis T e VV, a partir deste índice é possível observar as capitais que possivelmente em determinados períodos passam por ondas de frio ou situações de alerta para temperatura mais baixas que o esperado para estas capitais do NEB.

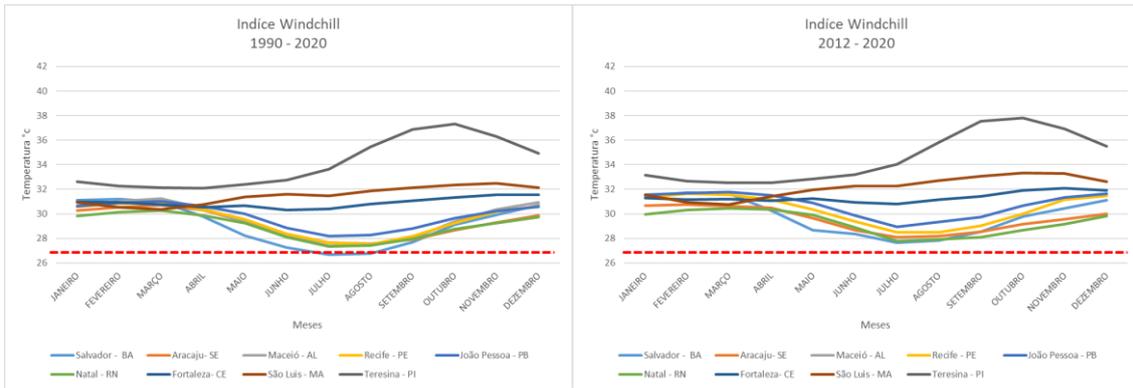
Na Figura 9a, de 1990 a 2020, o índice indica valores de 29°C a 33°C, estando todas as capitais dentro deste intervalo, para o período de janeiro a abril. Nos meses de junho a setembro as capitais ao leste indicaram valores abaixo de 29°C e acima de 26°C, exceto, Salvador que apresentou no mês de julho valores acima de 26°C, que está dentro do nível de alerta moderado, na classificação do Índice de Wind chill.

A partir das figuras de temperatura foi observado que os últimos oito anos analisados tiveram um acréscimo de cerca de 0,5°C, isso é refletido no índice, podendo-se observar na Figura 9b, que se refere ao período de 2012 a 2020, a figura apresenta temperaturas mais altas em comparação ao índice do período climatológico. Nesse a temperatura mais baixa indicada foi a de Natal, com 27,78°C no mês de julho

Figura 09 – Índice de Wind chill nas capitais do NEB de 1990 a 2020

(a)

(b)



Nas figuras referentes aos cenários otimista e pessimista, Figura 10 e 11, em ambos períodos analisados, apresentam valores de temperatura acima de 27°C sugerindo baixo risco para a população do NEB.

Figura 10 – Índice de Wind chill nos cenários otimista e pessimista para as capitais do NEB de 1990 a 2020

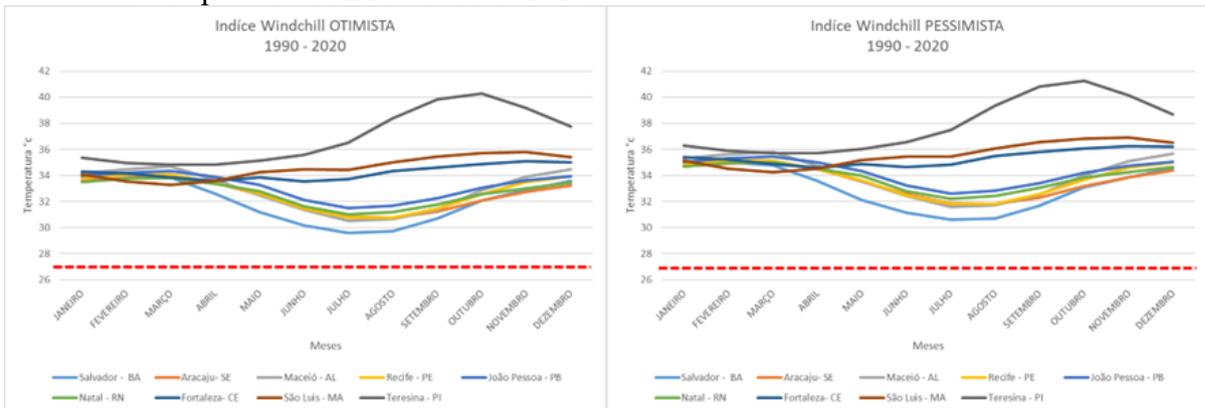
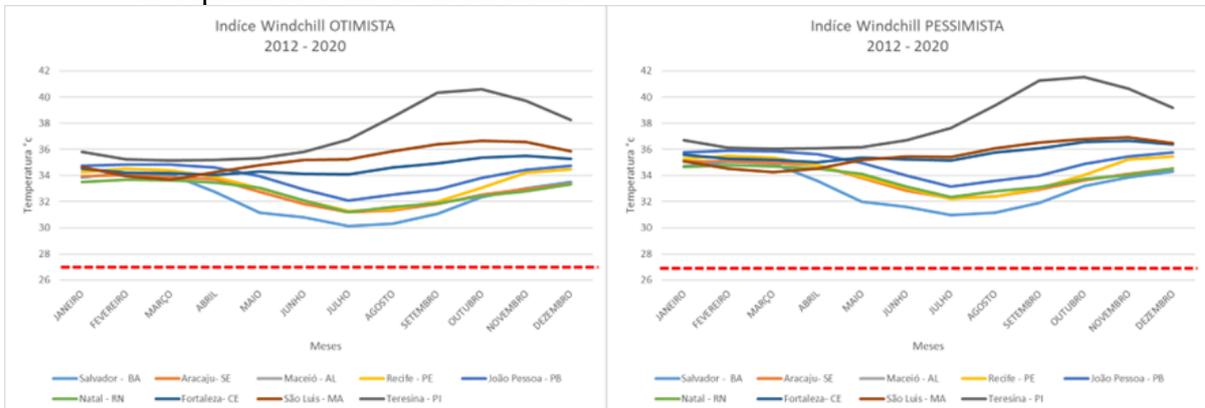


Figura 11 – Índice de Wind chill nos cenários otimista e pessimista para as capitais do NEB de 2012 a 2020

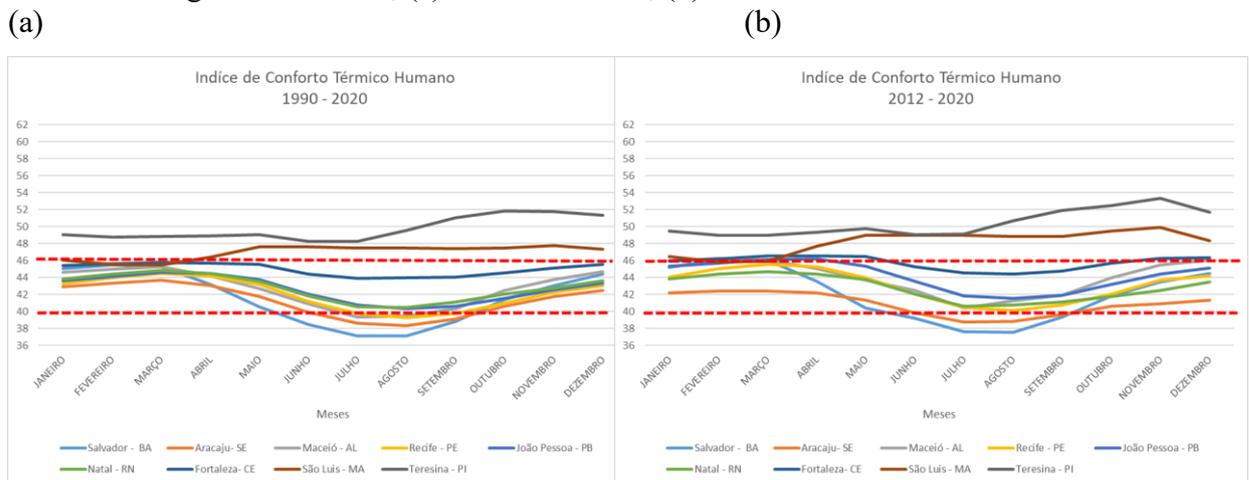


4.3 Índice de Conforto Térmico Humano (ICTH)

Observa-se na Figura 12a, o ICTH para as capitais do NEB, 1990-2020 com menores valores durante o inverno (JJAS). Os valores mais elevados foram verificados em Teresina, chegando a 52°C apresentando grau de desconforto insuportável no mês de novembro, entre os meses de junho a agosto as capitais Salvador, Aracaju, Maceió e Recife, estiveram em graus de conforto variando (30°C a 39°C), as demais capitais em graus de desconforto suportável (40°C a 45°C).

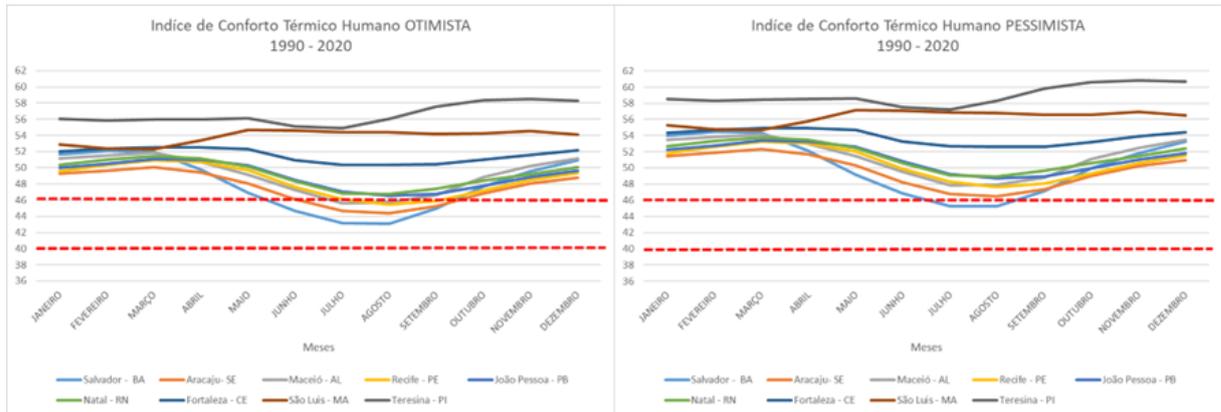
O ICTH dos últimos oito anos (Figura 12b) se mostrou um pouco mais elevado em relação ao climatológico, atingindo valores de até 53°C (Teresina). Durante maior parte do ano as capitais se encontraram dentro da classificação de desconforto suportável, a capital de Teresina em situação de desconforto insuportável, ao longo de todo o período, e São Luís entre os meses abril e dezembro. De maio a setembro Aracaju e Salvador estiveram em graus de conforto variando.

Figura 12 – ICTH, (a) de 1990 a 2020, (b) de 2012 a 2020



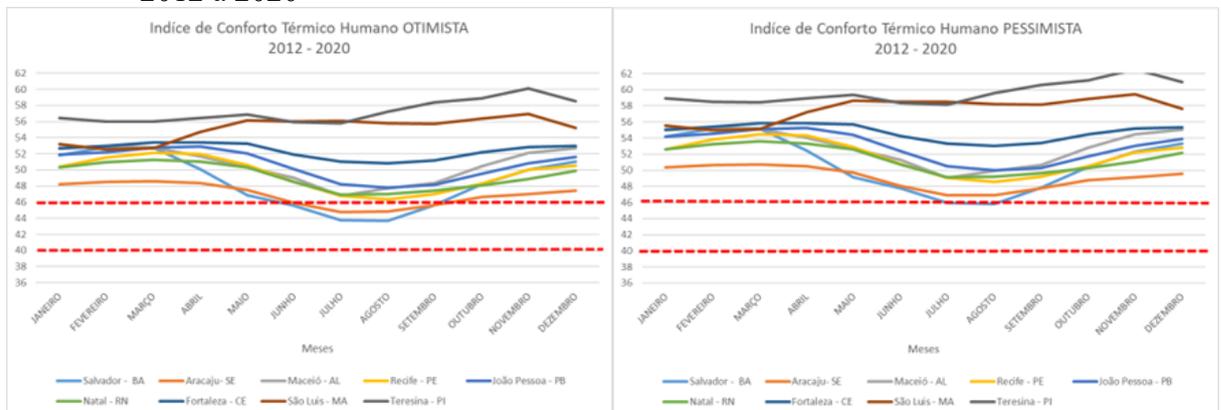
Para os cenários otimista e pessimista, de 1990 a 2020 (Figura 13), os valores de ICTH sugerem uma situação de desconforto suportável para as capitais Salvador e Aracaju, nos meses de junho a setembro, para as demais capitais esteve em situação de desconforto insuportável durante todo o período.

Figura 13 – ICTH em cenários otimista e pessimista para o período de 1990 a 2020



O cenário otimista, de 2012 a 2020, (Figura 14) indica valores de ICTH que sugerem uma situação de desconforto suportável (40°C a 45°C) para as capitais Salvador e Aracaju, para os meses de julho a setembro, para as demais capitais esteve em situação de desconforto insuportável, durante todo o período. O cenário pessimista, indica uma situação de graus de desconforto insuportável (acima de 46°C), durante todo o período para as capitais do NEB.

Figura 14 – ICTH em cenários otimista e pessimista para o período de 2012 a 2020



4.4 Índice de Desconforto Térmico Humano (IDTH)

O IDTH (Figura 15a), as capitais localizadas no leste do NEB apresentaram entre maio e outubro, no período de 1990 a 2020, resultados sugerindo uma situação de desconforto devido ao calor para as capitais ao leste do NEB. São Luís e Teresina se encontraram sob o efeito de estresse devido ao calor durante todo o período.

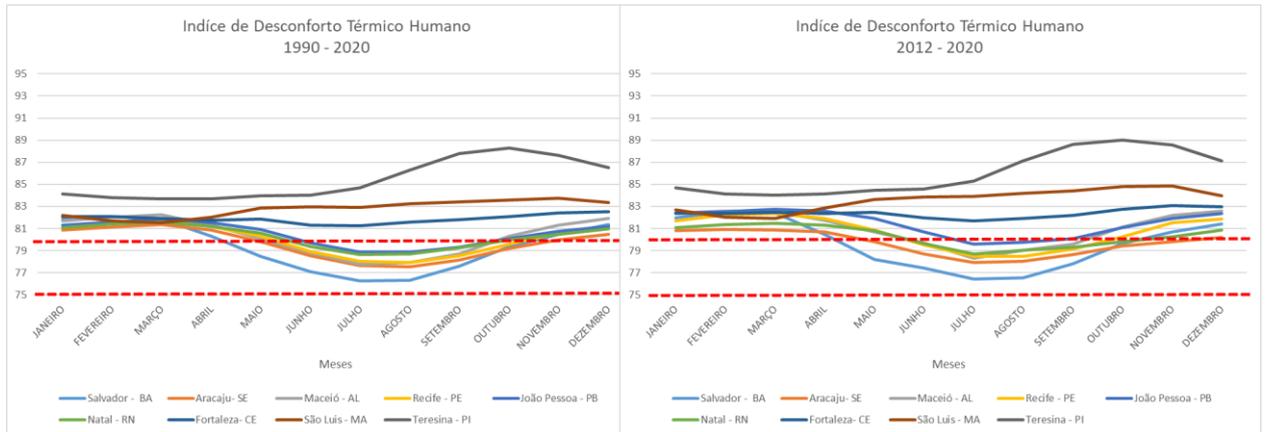
Para o período dos últimos oito anos (2012-2020), as análises segundo o IDTH indicam que a população das capitais ao norte do NEB, Figura 15b, esteve em situação de

estresse devido ao calor durante todo o período podendo ser observados valores acima dos que foram encontrados na série climatológica. As capitais do leste do Nordeste estiveram em situação de desconforto devido ao calor nos meses de junho a setembro, nos demais meses o índice indica que as mesmas estiveram em situação de estresse devido ao calor.

Figura 15 – IDTH para o período, (a) de 1990 a 2020 e (b) 2012 a 2020

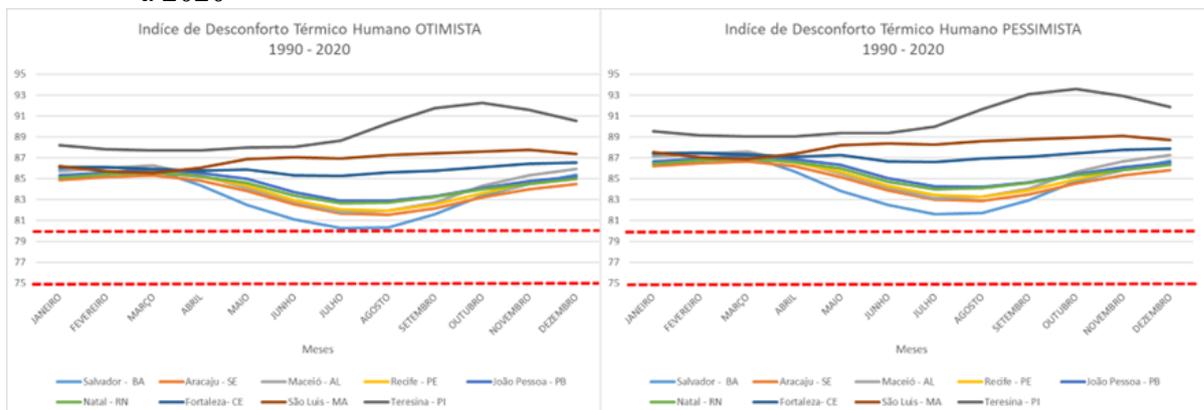
(a)

(b)



Quanto as análises para cenários futuros do IPCC (otimista e pessimista), observa-se um nível de IDTH entre 80 e 92 para as capitais do NEB, o que significa uma situação de estresse devido ao calor, essas condições de desconforto foram observadas em todo o período climatológico analisado (Figura 16).

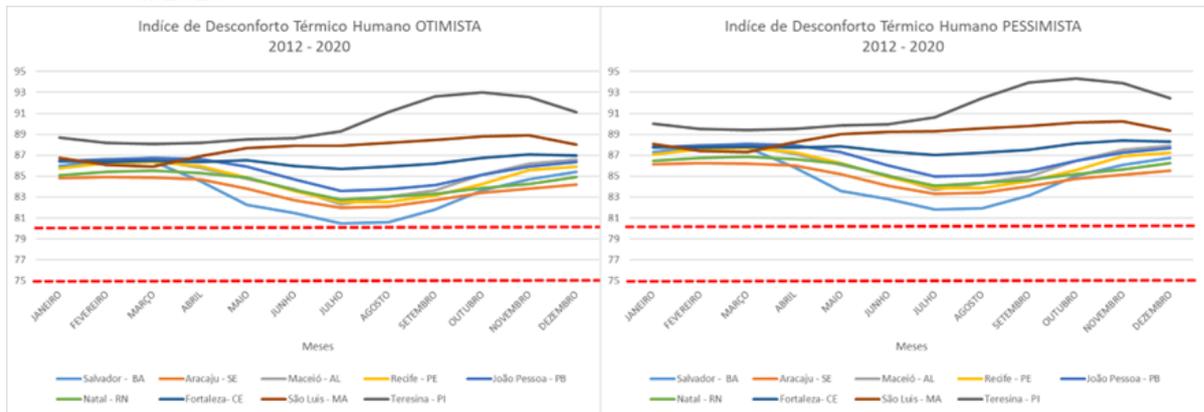
Figura 16 – IDTH cenários otimista e pessimista para o período de 1990 a 2020



No período de 2012 a 2020 (Figura 17) as capitais mostraram valores ainda mais elevados em comparação aos resultados observados na série climatológica, com valores de IDTH chegando a 94 (Teresina-PI). Tendo em vista valores acima de 80, todas as capitais do

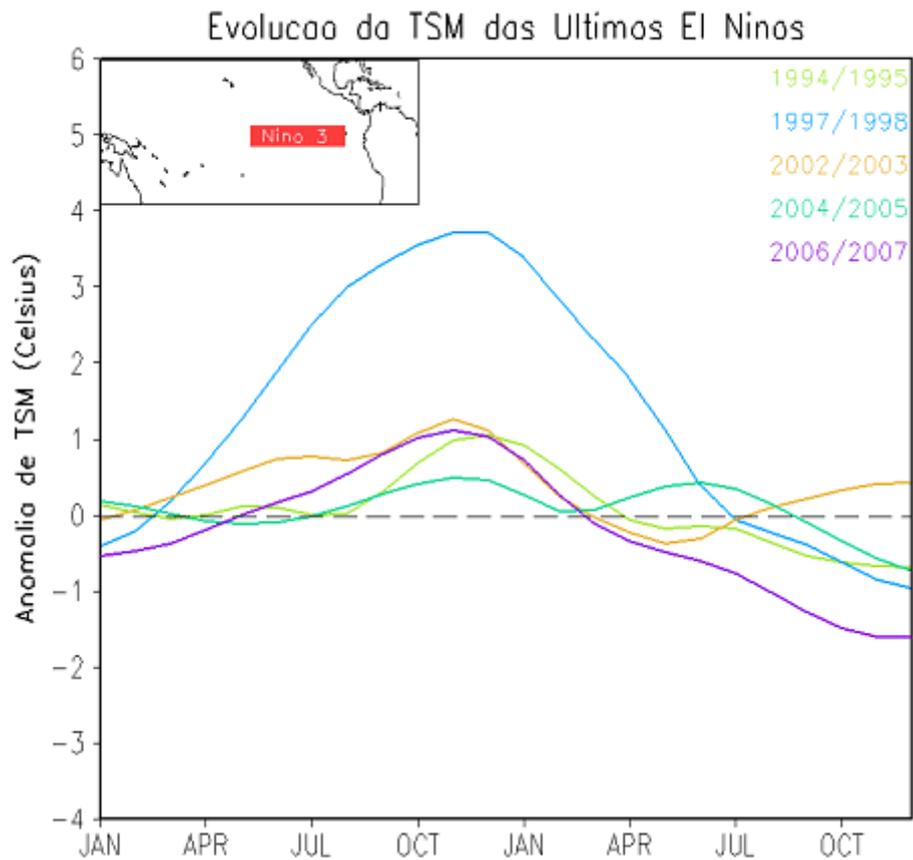
NEB, analisadas no presente estudo observa-se o efeito de estresse devido ao calor no período dos últimos oito anos, observados nos cenários otimista e pessimista.

Figura 17 – IDTH cenários otimista e pessimista para o período de 2012 a 2020



Diante dos dados analisados para a climatologia de 1990 a 2020 (30 anos) em comparação com os últimos oito anos desse período (2012 a 2020), verifica-se um aumento nas temperaturas das capitais do NEB, proporcionando uma situação contínua de desconforto ao ser humano. Nas análises de dias consecutivos de desconforto ao longo dos meses, o verão (DJF) se destaca apresentando temperaturas mais elevadas, consecutivamente, todos os índices indicaram maior preocupação nos meses de maior temperatura. Constata-se que o número de dias desconfortáveis não segue um padrão de aumento significativo no decorrer dos anos, e sim, uma variação durante estes, com aumentos significativos em anos de El Niño, destacando-se nos anos, de 1997-1998 e 2014-2016, caracterizados como El Niño forte. Podendo ser observado na figura 18, a intensidade do El Niño em anos de atividade e a discrepância em relação ao período de 1997 a 1998.

Figura 18 – Intensidade e variação de anos com El Niño



Fonte: CPTEC/INPE

Espera-se a partir dos resultados obtidos, que as capitais do NEB observem os índices de conforto térmico e optem por maneiras de mitigar os efeitos das altas temperaturas e observem os riscos causados, tomando as medidas cabíveis para evitar os riscos à saúde humana.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O NEB sofre a influência de diversos sistemas meteorológicos de escalas espaciais e temporais distintas, o que causa diferença entre as capitais mais ao norte (Fortaleza, São Luís e Teresina) em relação a parte mais ao leste (Salvador, Aracaju, Maceió, Recife e João Pessoa). As diferenças vistas a partir das figuras dos índices IC, ICTH e IDTH é devido principalmente as diferenças de valores e comportamento da temperatura do ar e umidade relativa do ar, entre as porções Norte e leste do NEB, as quais são influenciadas por sistemas distintos em diferentes períodos do ano.

O Índice de *Wind chill* apresenta resultados de baixo risco para as capitais mais ao sul do NEB (Salvador e Aracaju), que sofre influência de sistemas de baixa pressão com maior intensidade e frequência quando comparado as demais capitais que não apresentaram nível de alerta.

Para os cenários do IPCC (otimista e pessimista), os resultados sugerem que os ICTH e IDTH, de todas as capitais do NEB, tendem a apresentar uma variação significativa de classificação, de graus de conforto variando a desconforto insuportável. Sendo as capitais Salvador e Aracaju que apresentaram os melhores resultados em relação aos índices. As capitais que apresentaram os piores índices, com valores elevados, graus de desconforto e estresse devido ao calor, foram, Fortaleza, São Luís e Teresina. Os resultados de altas temperatura deve-se também ao estudo ser voltado para as capitais, que são as cidades mais populosas e com maior adensamento de construções, e que, em geral, tem um crescimento sem planejamento e sem levar em consideração o aumento de temperatura causado pelo material utilizado nas construções e pouca preservação de áreas verdes.

O IC, que utiliza como base de cálculo T e UR, resultou em níveis de cuidado a extremo perigo. Isso significa que pode causar danos à saúde humana, principalmente as faixas etárias mais vulneráveis (idosos, crianças e adultos com comorbidades). A exposição ao sol pode causar câimbras, insolação, esgotamento físico e até mesmo algum dano cerebral (AVC), em casos de exposição prolongada ao sol, principalmente em casos de atividades físicas. Se tornando indispensável para a saúde nesses casos vestimenta adequada e abrigo em ambientes controlados com condicionamento térmico ativo. Conclui-se ainda, que a população das capitais do NEB esteve “desconfortável” conforme sugerido pelos índices, em todo o período de tempo estudado (1990 a 2020), e o estudo indica que de 2012 a 2020, apresentaram temperaturas mais elevadas e índices mais altos que o período climatológico analisado.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, Laura Ferreira de. **A tributação do IPTU verde como incentivo ao desenvolvimento sustentável em João pessoa/PB.** 2020.
- ALEIXO, Natacha Cíntia Regina. **Pelas lentes da climatologia e da saúde pública: doenças hídricas e respiratórias na cidade de Ribeirão Preto/SP.** 2012.
- ALVES, Carolina Abrahão. **Resiliência das edificações às mudanças climáticas na região metropolitana de São Paulo. Estudo de caso: desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos.** 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ANDREASI, Wagner Augusto et al. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil.** 2012.
- ARAÚJO, R. R. O conforto térmico e as implicações na saúde: uma abordagem preliminar sobre os seus efeitos na população urbana de São Luís-Maranhão. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, v. 19, n. 3, 2013.
- BARROS, A. H. C. et al; Climatologia do estado de Alagoas. N. 211, ed. 2, p. 32. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.** Dados eletrônicos. Recife: Embrapa Solos, 2012. ISSN 1678-0892; 211.
- BEZERRA, Josué Alencar. Rede urbana interiorizada: novas conformações do território no Nordeste Brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 373-383, 2022.
- BEZERRA, Josué Alencar; SILVA, Cicero Nilton Moreira. Entre o rural e o urbano interiorizado. **Mercator (Fortaleza)**, v. 17, 2018.
- BITENCOURT, Daniel Pires; RUAS, Álvaro César; MAIA, Paulo Alves. Análise da contribuição das variáveis meteorológicas no estresse térmico associada à morte de cortadores de cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, n. 1, p. 65-74, 2012.
- BRITO, Flávia Brandão Ramalho de et al. **Estudo da temperatura de globo em relação à temperatura do ar durante atividades cognitivas em ambientes de ensino com alterações climáticas em áreas das regiões brasileiras.** 2017.
- COSTA, Douglas F. da; SILVA, Hélio R.; PERES, Leonardo de F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 974-985, 2010.
- DA COSTA BEZERRA, Péricles Tadeu; RAMOS, Mário de Miranda Vilas Boas; LEITÃO,

Pedro Vieira de Azevedo. Ilhas de calor e desconforto térmico no semiárido brasileiro: um estudo de caso na cidade de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 03, p. 427-441, 2013.

DA COSTA BEZERRA, Péricles Tadeu; RAMOS, Mário de Miranda Vilas Boas; LEITÃO, Pedro Vieira de Azevedo. Ilhas de calor e desconforto térmico no semiárido brasileiro: um estudo de caso na cidade de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 03, p. 427-441, 2013.

DA SILVA, Valdenildo Pedro; DOS SANTOS FRANÇA, Gabryelle Larissa. Percepções de mudanças do clima, impactos e adaptação para sertanejos do semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

DE SOUSA, Mayara Cynthia Brasileiro; LEDER, Solange Maria. Reflexões sobre terminologias utilizadas para definir o conforto térmico humano. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019028-e019028, 2019.

DECLARAÇÃO UNIVERSAL DOS DIREITOS HUMANOS DA ONU. Últimos oito anos foram os mais quentes já registrados. **Perspectiva Global Reportagens Humanas**. 2023. 12 de janeiro. 2023. Disponível em: <<http://www.https://news.un.org/pt/>>. Acesso em: 2 mai. 2023.

Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea e L.L. White (eds.)]. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça, 34 págs. 2014.

GARCIA, Beatriz Nunes. **Caracterização de ondas de calor no Brasil e seus impactos na saúde humana nas últimas décadas**. 2021.

GARSON, Sol; RIBEIRO, Luiz Cesar de Queiroz; RODRIGUES, Juciano Martins. Regiões metropolitanas do Brasil. **Observatório Das Metrôpoles**: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro, n, p. 1-8, 2010.

GONÇALVES DO NASCIMENTO, J.; MAYARA PAULINO DA SILVA, A.; CRISTINA ANDRADE DOS SANTOS, E.; SILVA DOS SANTOS, J.; ANDRIELLE ALVES DA SILVA, K. Índice de conforto térmico da malha urbana em pontos representativos da cidade de bayeux (PB). **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 053–062, 2017. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/5559>. Acesso em: 11 mai. 2023.

HUMPHREYS, Michael; NICOL, Fergus; ROAF, Susan. Adaptive Thermal Comfort: Foundation and Analysis. New York: **Routledge**, 2015. 378p. ISBN978-0-415-69161-1

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Base de referência de distâncias rodoviárias, hidroviárias e aéreas: 2021 / IBGE, Coordenação de Geografia. 11 p, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101987>> Acesso em: 11 mai. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Evolução da divisão territorial do Brasil 1872-2010. Dados populacionais e territoriais. Memória Institucional. 17. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Regiões de Influência das Cidades 2007. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IPCC, 2014: **Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores**. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L.

IPCC, 2023. **Mudanças Climáticas 2023: Relatório Síntese**. Um Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Core Writing Team, H. Lee e J. Romero (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 2023.

JENERETTE, G. Darrel; LARSEN, Larissa. Uma perspectiva global sobre como mudar o abastecimento de água urbana sustentável. **Mudança Global e Planetária**, v. 50, n. 3-4, pág. 202-211, 2006.

Kalkstein, L.S.; Jamason, P.F.; Greene, J.S.; Libby, J.; Robinson, L. The Philadelphia hot weatherhealth watch/warning system: Development and application, summer 1995. **Bulletin of the American Meteorological Society**. pg.1519-1527, July, 1996.

KRÜGER, Eduardo Leite et al. Estudo de conforto em espaços abertos em região de clima temperado: o caso de Glasgow, Reino Unido. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 7-25, 2012.

LAAIDI, Karine et al. O impacto das ilhas de calor na mortalidade em Paris durante a onda de calor de agosto de 2003. **Perspectivas de saúde ambiental**, v. 120, n. 2, pág. 254-259, 2012.

LABAKI, Lucila Chebel et al. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 167-183, 2012.

LANKFORD, Harvey V.; FOX, Leslie R. The wind-chill index. **Wilderness & Environmental Medicine**, v. 32, n. 3, p. 392-399, 2021.

LEITE, Renan Cid Varela. **Cidade, vento, energia: limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIMA, R.A.F.; MENEZES, H.E.A., BRITO, J.I.B. Diagnóstico de tendência de mudanças na temperatura do ar no Nordeste Setentrional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 117-124, abr.-jun., 2010

LOMBARDO, M.A. Ilha de Calor nas Metrôpoles: O exemplo de São Paulo. São Paulo, 1985.

MAITELLI, Gilda Tomasini. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. Tese (Doutorado na Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MANDÚ, Tiago Bentes; GOMES, Ana Carla Dos Santos. IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS NO CONFORTO TÉRMICO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL: ESTUDO DE CASO EM MANAUS-AM/Identification of thermal comfort trends in the region north do brazil: case study in Manaus-AM. **Revista geonorte**, v. 10, n. 34, p. 63-81, 2019.

MARENCO, Jose A. et al. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 27, p. 149-175, 2008.

MARTINI, Angeline et al. Percepção da população sobre o conforto térmico proporcionado pela arborização de ruas de Curitiba-PR. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 515-524, 2014.

McARDLE, William, KATCH, Frank I., KATCH, Victor L. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. **Guanabara Kooganc**, Rio de Janeiro. 4. ed. 1998.

MONTEIRO, CARLOS AUGUSTO DE FIGUEIREDO; MENDONÇA, FRANCISCO (ORGS). Clima Urbano. São Paulo: **Contexto**, 192p, 2003.

MORAIS, Heverly; DA SILVA RICCE, Wilian; CARAMORI, Paulo Henrique. Conforto térmico humano no estado do Paraná. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 271–278-271–278, 2012.

MORAIS, J. D. M. **Análise exploratória de diferenças de conforto térmico entre dois padrões de ocupação urbana representados por ocupação espontânea e por ocupação**

planejada. 2013. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

MOTTA, Daniel Souza. **Identificação dos fatores que influenciam no comportamento do fogo em incêndios florestais**. 2008.

NASCIMENTO, Diego Coelho do. **Ser-Tão “metropolitano”: espacialidade e institucionalidade na Região Metropolitana do Cariri**. 2018.

NOGUEIRA, Paulo Jorge et al. Um sistema de vigilância e alerta de ondas de calor com efeitos na mortalidade: o índice de Ícaro. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, p. 79-84, 1999.

OMM. State of the Global Climate 2016. 2020. 2021

ONO, H. S. P.; KAWAMURA T. Sensible climates in monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, v.35, n.20, p.39-47,1991.

PAGNOSSIN, Elaine Medianeira; BURIOL, Galileo Adeli; DE ARAUJO GRACIOLLI, Michele. Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas. **Disciplinarum Scientia| Saúde**, v. 2, n. 1, p. 149-161, 2001.

PANET, Miriam de Farias. **Um futuro confortável: modelagem preditiva de sensação térmica de pessoas idosas residentes em localidade do semiárido da Paraíba**. 2018.

POZZA, Fernando. **Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de Fluxo de Refrigerante Variável-VRF** Fernando Pozza. 2011.

QUEIROGA, Daniel Queiroga. **Índice de calor e desconforto térmico humano nas condições de ambiente natural em Patos, PB, Brasil**. 2019. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, Rio grande do Norte, 2019.

REIS, Nicolle Cordero Simões dos et al. **Identificação das ondas de calor na região subtropical do Brasil: características observacionais e simuladas através do modelo DREAM**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

RELATÓRIO da OMM: **"Estamos a ir na direção errada"**. Nações Unidas, 13 de setembro de 2022. Disponível em: . Acesso em: 21 mar. 2023.

RIBEIRO, Helena et al. Ritmo climático e geografia da saúde. **Rev Geogr**, v. 33, n. 4, 2016.

ROSENBERG, N.J; BLAD, B.L; VERMA, S.B. Microclimate: the biological environment. 2

ed. New York: **Wiley-interscience** Publication, 1983. 495p.

ROSSI, Francine Aidie. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba.** 2012.

ROSSI, Francine Aidie; KRÜGER, Eduardo Leite; BRÖDE, Peter. Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 41-59, 2012.

RUAS, A. C. Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho; Fundacentro – **Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho.** Campinas, SP São Paulo: 94p. 1999.

SANTOS, Fernanda Flores Silva dos. **Clima e doenças tropicais negligenciadas no espaço urbano de Aracaju/SE.** 2022.

SIPLE, Paul A.; PASSEL, Charles F. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 89, n. 1, p. 177-199, 1945.

SOUZA, Amaury de et al. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. **Revista de Estudos Ambientais**, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 15-25, dez. 2010. ISSN 1983-1501

SOUZA, Amaury de et al. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. **Revista de Estudos Ambientais**, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 15-25, dez. 2010. ISSN 1983-1501

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, 18: 861–873, 1979a.

TORRES, Manoel Geronimo Lino et al. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas-estudo de multicasos no nordeste brasileiro.** 2016.