

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JOÃO VÍTOR BRASIL SARTURI

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DE ÍNDICES CLIMÁTICOS DE CONFORTO TÉRMICO NO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Alegrete

2023

JOÃO VÍTOR BRASIL SARTURI

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DE ÍNDICES CLIMÁTICOS DE CONFORTO TÉRMICO NO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Felipe Denardin Costa
Co-orientador: Prof. Rafael Maroneze

Alegrete

2023

JOAO VITOR BRASIL SARTURI

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DE ÍNDICES CLIMÁTICOS DE CONFORTO TÉRMICO NO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. FELIPE DENARDIN COSTA - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. RAFAEL MARONEZE - UNIPAMPA - Coorientador

Profa. Dra. FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA - UNIPAMPA

Prof. Dr. LUIZ EDUARDO MEDEIROS - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **FELIPE DENARDIN COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 13:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MARONEZE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 13:59, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIZ EDUARDO MEDEIROS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 14:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 14:48, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1047216** e o código CRC **0C0F5C27**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador e meu coorientador por toda a ajuda e empenho que eles colocaram para a execução desse TCC, melhorando muito a qualidade do mesmo e trazendo bons resultados para a pesquisa, com certeza sem a ajuda deles eu não seria capaz de realiza-lo sozinho.

Quero agradecer a minha família pelo suporte dado desde o TCC I, especialmente ao meu pai por sempre estar do meu lado, me motivando a entregar o melhor e inclusive corrigindo os meus textos.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos pelo suporte dado e pelo companheirismo, nas apresentações e nos dias de escrita.

RESUMO

É notável que os verões e os invernos estão cada vez mais rigorosos, assim como há um aumento considerável na ocorrência de eventos extremos (tempestades, secas), afetando o conforto térmico, segurança e qualidade de vida da população. Desta forma, o presente estudo pretende analisar dados de conforto térmico desde 1980 até 2020 do Estado do Rio Grande do Sul, no intuito de verificar a evolução do conforto térmico e identificar se há alguma tendência do clima, utilizando dados climáticos derivados do ERA-5, sendo o UTCI (Universal Thermal Climate Index) a principal variável para esse estudo. Concluiu-se que o RS possui desconforto térmico por calor e por frio, e que algumas regiões são mais propensas a serem mais quentes, enquanto que outras regiões a serem mais frias, a classe do conforto segundo o UTCI é de calor forte nos verões e frio moderado nos invernos, porém, em anos onde essas estações são mais rigorosas, chega-se a classe de calor muito forte. A tendência do clima do RS é de que continue a aumentar os valores de UTCI, sendo os últimos 10 anos (2010 - 2020) a década onde obteve-se os maiores valores, fato esse influenciado pelo aquecimento de todo o globo. Outro resultado importante é a tendência de que os outonos estão cada vez mais frios, enquanto as primaveras cada vez mais quentes, o que aponta que no futuro não terá mais 4 estações bem distintas, e sim 2 estações no ano, sendo uma estação de calor e outra estação de frio.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Temperatura. UTCI.

ABSTRACT

It's notable that summers and winter are becoming increasingly more severe, as there is a increase on the occurrence of extreme events (storms, droughts), affecting the thermal comfort, security and quality of life of the population. This way, the present study intent to analyze the thermal comfort data since 1980 to 2020 of the State of Rio Grande do Sul, in order to verify the evolution of the thermal comfort and identify if there is any climate trend , utilizing climate data derived of ERA-5, being the UTCI (Universal Thermal Climate Index) the main variable for this study. The results show that the RS has thermal discomfort by heat and cold, and that some regions are prone to be hotter, while others regions to be colder, the comfort class according to the UTCI is of strong heat in the summers, and moderate cold in the winters, but in years where these seasons are more rigorous, it reaches classes of very strong heat. The climatic tendency of RS is that the UTCI values continues to rise, being the last ten years (2010 - 2020) the decade in which the highest values were obtained, fact influenced by global warming. Another important result is the tendency that the autumns are getting colder, while the springs are getting hotter, which indicates that in the future there will be no more 4 distinct seasons, and only having 2 seasons in the year, one season of heat and another season of cold.

Keywords: Thermal Confort. Temperature. UTCI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geomorfologia do Rio Grande do Sul.	17
Figura 2 – Hipsometria do Rio Grande do Sul.	17
Figura 3 – Classificação geográfica da distribuição da população urbana no Rio Grande do Sul.	19
Figura 4 – Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do PMV	29
Figura 5 – Classes de conforto térmico do UTCI.	30
Figura 6 – Esquemática do processo de produção UTCI	31
Figura 7 – Fluxograma	37
Figura 8 – Mesorregiões do Rio Grande do Sul	38
Figura 9 – Média do UTCI de 1980 a 2020	39
Figura 10 – Média mensal do UTCI de 1980 a 2020	40
Figura 11 – Média do UTCI de 1980 a 2020 para o mês de janeiro	41
Figura 12 – Média do UTCI de 1980 a 2020 para o mês de julho	42
Figura 13 – Percentil 95% do UTCI	44
Figura 14 – Percentil 5% do UTCI	45
Figura 15 – Tendência do UTCI durante os 40 anos	46
Figura 16 – Tendência do UTCI a cada década	47
Figura 17 – Tendência mensal do UTCI durante os 40 anos	48
Figura 18 – Tendência do UTCI durante os outonos	49
Figura 19 – Tendência do UTCI durante os invernos	49
Figura 20 – Tendência do UTCI durante os primaveras	50
Figura 21 – Tendência do UTCI durante os verões	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População total e percentual de urbanização no Brasil (1940 – 2010).....	18
Tabela 2 – Tabela PMV.....	27
Tabela 3 – Tabela limites classes UTCI.....	36

LISTA DE SIGLAS

<i>ECMWF</i>	Centro Europeu de Previsão de Médio Alcance
<i>MRT</i>	Temperatura Média Radiante
<i>RS</i>	Rio Grande do Sul
<i>UTCI</i>	Índice Térmico Climático Universal
<i>PMV</i>	Voto médio Previsto
<i>PPD</i>	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas

LISTA DE SÍMBOLOS

f_p	Fator de projeção superficial
γ	Azimute solar
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
f_a	Fator angular
α_{ir}	Coeficiente da área corporal irradiada pelo sol
ϵ	Emissividade de uma pessoa vestida
L_{surf}^{dn}	Radiação térmica descendente da atmosfera
L_{surf}^{up}	Radiação térmica ascendente da atmosfera
$S_{surf}^{dn,diffuse}$	Soma do fluxo de radiação solar difusa isotrópica
S_{surf}^{up}	Fluxo de radiação solar refletido na superfície
f_p	Fator de projeção superficial
I^*	Componente direta do sol
M	Metabolismo
W	Trabalho externo
p_a	Pressão do vapor de água
t_a	Temperatura do ar
f_{cl}	Razão da área vestida do corpo contra a área nua
t_{cl}	Temperatura superficial da vestimenta
t_r	Temperatura radiante média
h_c	Coeficiente da transferência de calor por convecção
$^{\circ}C$	Graus celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivos Específicos	15
1.3	Justificativa	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Histórico do estudo do desempenho térmico	16
2.2	Geografia do Rio Grande do Sul	16
2.2.1	Região Norte	16
2.2.2	Região Central	16
2.2.3	Região Sul	16
2.2.4	Região Metropolitana	16
2.3	Evolução do urbanismo no Rio Grande do Sul	18
2.4	Conforto térmico	19
2.4.1	Determinação do conforto térmico	20
2.4.2	Equação do equilíbrio térmico humano	21
2.5	Variáveis meteorológicas que influenciam no conforto térmico	22
2.5.1	Temperatura do ar	22
2.5.2	Radiação	22
2.5.3	Velocidade do ar	23
2.5.4	Umidade relativa do ar	23
2.6	Outras variáveis que influenciam no conforto térmico	23
2.6.1	Latitude	23
2.6.2	El Niño e La Niña	23
2.6.3	Continentalidade e maritimidade	23
2.6.4	Urbanismo	24
2.6.5	Ilhas de calor	24
2.6.6	Poluição	24
2.6.7	Climas quentes	25
2.6.8	Cimas temperados	25
2.7	Fatores para amenizar o desconforto térmico	25
2.7.1	Arquitetura sustentável	25
2.7.2	Vegetação	25
2.7.3	Ventilação natural	26
2.7.4	Brisa marítima	26
2.8	Efeitos do desconforto térmico	26
2.8.1	Efeitos físicos	26

2.8.2	Efeito psicológicos	27
2.9	Determinação de Índices de conforto térmico	27
2.9.1	PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)	27
2.9.2	Dados de reanálise meteorológica	29
2.9.3	Índice Térmico Climático Universal (UTCI)	30
2.9.4	Temperatura radiante média (MRT)	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	Escolha do conjunto de dados	33
3.2	Conjunto de dados	33
3.3	Período de análise	34
3.4	Formato dos dados	34
3.5	Leitura dos dados e software escolhido	34
3.6	Análise dos dados	34
3.6.1	Tendência	35
3.6.2	Percentil	35
3.7	Representação dos dados	36
3.8	Classificação	36
3.9	Fluxograma	37
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1	Médias	39
4.1.1	Média do UTCI durante os 40 anos	39
4.1.2	Média mensal do UTCI durante os 40 anos	40
4.1.2.1	Desconforto por calor	41
4.1.2.2	Desconforto por frio	41
4.1.3	Discussão sobre as médias	42
4.2	Percentil	43
4.2.1	Percentil 95%	43
4.2.2	Percentil 5%	44
4.2.3	Discussão sobre os percentis	45
4.3	Tendências	46
4.3.1	Tendência do UTCI durante os 40 anos	46
4.3.2	Tendência do UTCI a cada década	47
4.3.3	Tendência do UTCI mensal durante os 40 anos	47
4.3.3.1	Tendência nos outonos	48
4.3.3.2	Tendência nos invernos	49
4.3.3.3	Tendência nos primaveras	50
4.3.3.4	Tendência nos verões	50
4.3.4	Discussão sobre as tendências	51
5	CONCLUSÃO	52

5.1 Sugestão para trabalhos futuros	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

JOAO VITOR BRASIL SARTURI

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DE ÍNDICES CLIMÁTICOS DE CONFORTO TÉRMICO NO
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26 de janeiro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. FELIPE DENARDIN COSTA - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Dr. RAFAEL MARONEZE - UNIPAMPA - Coorientador

Profa. Dra. FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA - UNIPAMPA

Prof. Dr. LUIZ EDUARDO MEDEIROS - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **FELIPE DENARDIN COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 13:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MARONEZE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 13:59, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIZ EDUARDO MEDEIROS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 14:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FERNANDA BIANCHI PEREIRA DA COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 14:48, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1047216** e o código CRC **0C0F5C27**.

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico está relacionado com a sensação fisiológica que expressa a satisfação com o ambiente térmico adjacente (ASHRAE et al., 2010). Em ambientes onde as condições térmicas se tornam desconfortáveis, as atividades humanas são afetadas consideravelmente através da redução das capacidades produtivas, intelectuais e físicas (LAN et al., 2011).

Com o passar dos anos, e com o avanço tecnológico, percebe-se que o Rio Grande do Sul vem se tornando cada vez mais urbanizado, fazendo com que se tenha cidades cada vez mais populosas e verticalizadas. O problema é que esse crescimento não foi previamente planejado, ocasionando problemas em relação ao conforto térmico (AULICIEMS; SZOKOLAY et al., 1997).

Há estudos que indicam que o adensamento das construções potencializa a formação do fenômeno de ilha de calor, ocorrendo principalmente nos grandes centros, o seu efeito é o aumento de temperatura durante o dia, e, principalmente, durante a noite (AB FROTA, 2001). A urbanização também causará um aumento das emissões de aerossóis e poluentes que afetarão a qualidade do ar, a saúde das pessoas que habitam essas regiões e também ocasionará um aumento de temperatura, gerando desconforto (L Gartland, 2011).

As altas temperaturas podem causar sérios problemas de saúde, prejudicando severamente as atividades de lazer em ambientes externos, reduzindo a qualidade de vida da população urbana (D Ormandy, V Ezratty, 2016). Outra implicação direta é o aumento na demanda de energia para mitigar o desconforto. Portanto, o conhecimento das condições térmicas ambientais é fundamental para o planejamento de cidades sustentáveis e mais confortáveis para os seus habitantes (LAN et al., 2011).

Desta forma, o presente trabalho pretende avaliar a evolução dos índices climáticos de conforto térmico no RS nos últimos 40 anos. Isso permitirá associar as mudanças no conforto térmico, desde a década de 1980 até os dias atuais. Portanto, ainda que qualitativamente, será possível estimar como essas eventuais mudanças, ao longo de quatro décadas, trouxeram novas implicações sobre a qualidade de vida e consumo de energia, permitindo assim, propor soluções que possam ajudar a mitigar as possíveis mudanças nas condições climáticas que afetam o conforto térmico. A estimativa do conforto térmico será realizada através da utilização de um conjunto de dados de longo período de reanálise meteorológica, de última geração, são fornecidos pelo European Centre for Medium-Range Forecast (ECMWF), conhecida como ERA-5 (HERSBACH et al., 2020). A partir da determinação dos índices serão realizadas análises temporais e espaciais para identificar padrões na evolução dos índices de conforto térmico, para que seja identificadas as principais variáveis que possam contribuir na mitigação do problema.

1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo geral mapear a evolução dos índices climáticos de conforto térmico no estado do Rio Grande do Sul, utilizando dados de reanálise meteorológica.

1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a evolução dos índices de conforto térmico externo no estados do RS nos últimos 40 anos;
- Avaliar padrões espaciais e temporais na evolução dos índices de conforto térmico;
- Analisar a capacidade de influência térmica que uma cidade tem sobre o microclima que está situada;
- Ver possíveis formas de mitigar os efeitos térmicos produzidos pelas cidades;
- Identificar se existe ou não padrões de sazonalidade sobre as eventuais mudanças no conforto térmico.

1.3 Justificativa

É notório e de amplo conhecimento que em função do aquecimento global cada vez mais a sociedade está exposta à ocorrência de eventos extremos, tais como ondas de frio ou calor, tempestades, secas, etc. Dentro deste contexto, a qualidade de vida das pessoas também é afetada pelas alterações do clima sobre o conforto térmico. Assim, o estudo do conforto térmico se torna cada vez mais importante, uma vez que o planejamento dos elementos e ambientes urbanos pode reduzir este impacto nas cidades. A compreensão da evolução do conforto térmico permite compreender se há, por exemplo, a possibilidade de que no futuro os ambientes externos não sejam mais confortáveis para os habitantes de uma cidade, o que irá promover a redução na qualidade de vida e aumentará a dependência de sistemas termorreguladores, aumentando o consumo de energia global.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico do estudo do desempenho térmico

Na revolução industrial o conforto térmico não era uma preocupação, pois caso estivesse frio, uma fogueira era acesa, e, se estivesse quente, ventiladores eram utilizados, não apresentando muito desenvolvimento para melhorar as condições de trabalho. O estudo do conforto térmico realmente se desenvolveu no final do século XX devido ao interesse de engenheiros na tentativa de melhorar o ambiente de trabalho e a higiene industrial. Atualmente, o foco no conforto térmico vem principalmente de arquitetos e engenheiros na tentativa de melhorar a eficiência energética de construções e a qualidade dos ambientes e das cidades (AULICIEMS; SZOKOLAY et al., 1997).

2.2 Geografia do Rio Grande do Sul

O Estado possui uma área de 281.730,223 km², com um relevo com altitudes de até 1398 m, e é caracterizado por um clima subtropical com baixas temperaturas. O Estado possui 5 unidades geomorfológicas (Fig. 1), caracterizadas por suas diferentes alturas e vegetação (Fig. 2).

2.2.1 Região Norte

A região do norte do Estado é chamada de Planalto Meridional, e é caracterizada por altas alturas que podem chegar a 1.398m e com vegetação mais fechada da Mata Atlântica a regiões mais abertas para a criação de gado(SUL, 2017).

2.2.2 Região Central

A região central do estado localiza-se na Depressão Central com terrenos de baixa altitude, com um certo grau de urbanização e com vegetação que varia a ser mais fechada ou aberta(SUL, 2017).

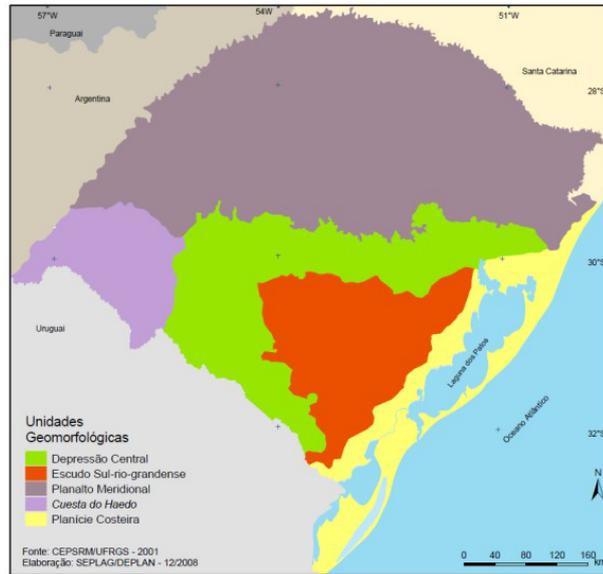
2.2.3 Região Sul

A região sul do estado se caracteriza por ser uma região com baixas altitudes, pouca vegetação, composta normalmente por apenas campos para agricultura ou criação de gado, e pouco urbanizada(SUL, 2017).

2.2.4 Região Metropolitana

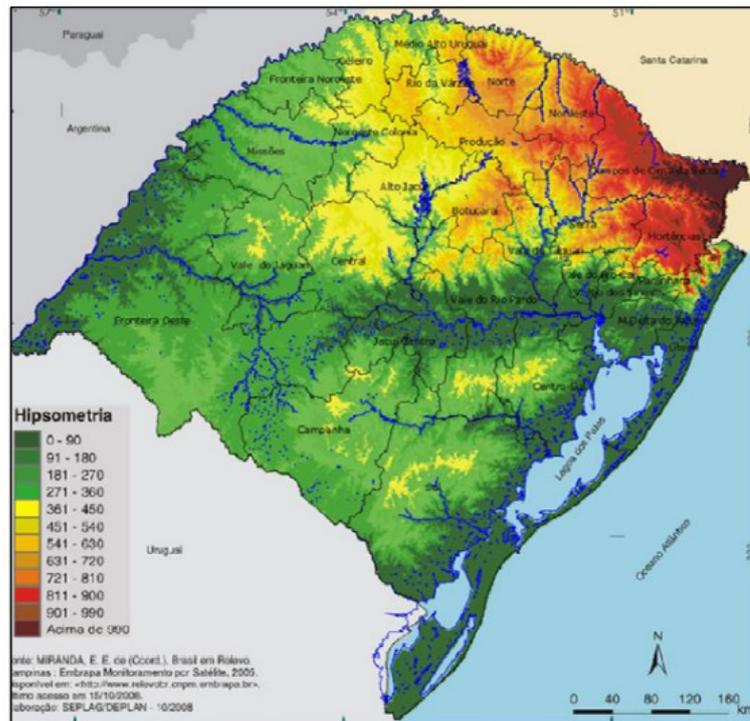
A região metropolitana se caracteriza por ser uma região com baixas altitudes e extremamente urbanizada(SUL, 2017).

Figura 1 – Geomorfologia do Rio Grande do Sul..



Disponível em: <atlassocioeconomico.rs.gov.br/midia/imagem/map-unidades-geomorfológicas-rs> Acesso em: 27 dez. 2022

Figura 2 – Hipsometria do Rio Grande do Sul..



Disponível em: <atlassocioeconomico.rs.gov.br/midia/imagem/map-2020-hipsometria-rs> Acesso em: 27 dez. 2022

2.3 Evolução do urbanismo no Rio Grande do Sul

Ao longo do último século o estado do Rio Grande do Sul passou por várias mudanças socioeconômicas e socioculturais, mudanças que foram influenciadas pelo avanço tecnológico, com a mecanização das fazendas, com a urbanização, pelo aumento da autonomia das cidades em relação ao Estado e pelo avanço da industrialização. Com isso, a zona urbana começou a ter mais oportunidades de trabalho e de uma vida melhor que a zona rural, aumentando o grau de urbanização do RS (VERDUM; BASSO; SUERTEGARAY, 2012), conforme pode ser observado na Tabela 1:

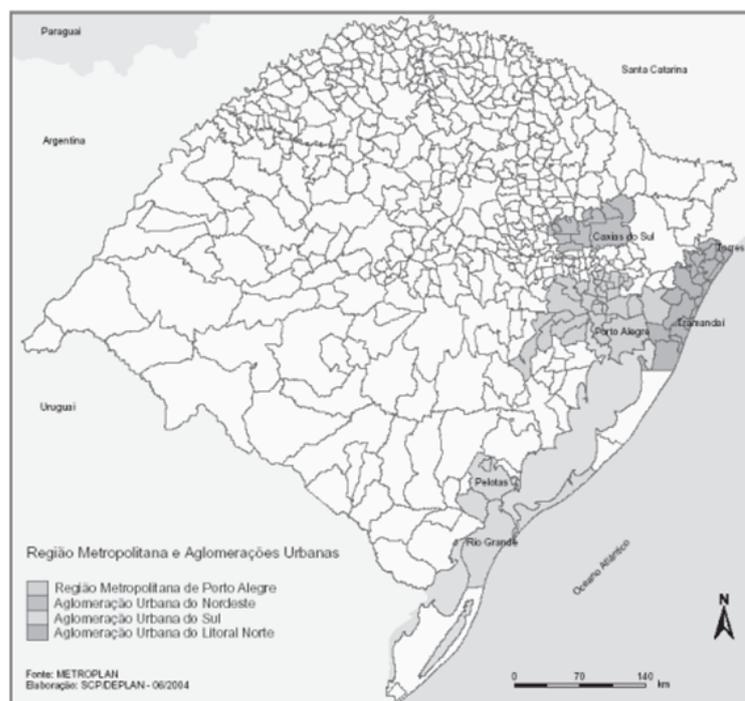
Tabela 1 – População total e percentual de urbanização no Brasil (1940 – 2010).

Ano do Recenseamento	População Total	População Urbana Total	Grau de Urbanização (%)
1940	41.236.315	12.280.182	31.23
1950	51.944.397	18.782.891	36.16
1960	70.992.343	32.004.817	45.08
1970	94.508.583	52.904.744	55.97
1980	121.150.573	82.013.375	67.69
1991	146.917.459	110.875.826	75.47
2000	169.590.693	137.755.550	81.22
2010	190.755.799	160.925.792	84.36

Fonte: Adaptado de IBGE, Censos Demográficos de 1940 a 2010.

Geralmente, o estado do Rio Grande do Sul é dividido em 4 regiões onde residem a maioria da população do Estado (Fig. 7), sendo as seguintes regiões: Região Metropolitana de Porto Alegre, Aglomeração Urbana do Nordeste, Aglomeração Urbana do Sul e a Aglomeração Urbana do Litoral Norte (VERDUM; BASSO; SUERTEGARAY, 2012).

Figura 3 – Classificação geográfica da distribuição da população urbana no Rio Grande do Sul..



Fonte: Adaptado de Estado do Rio Grande do Sul (2006).

A maior concentração populacional está na Região Metropolitana de Porto Alegre. Por outro lado, perceber-se que há uma grande dispersão populacional, caracterizada por municípios com menos de 10 mil habitantes, os chamados micromunicípios, fato que foi potencializado devido às políticas favoráveis a emancipação municipal.

Porém, nota-se que há uma tendência à desconcentração urbana, já que o número de cidades com população acima de 20 mil vem crescendo continuamente, e isso demonstra que a rede gaúcha vem se tornando cada vez mais dinâmica, porém, ainda estará cheia de desigualdades socioespaciais em seu território. (VERDUM; BASSO; SUERTEGARAY, 2012).

2.4 Conforto térmico

Conforto térmico pode ser definido como *a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliada por avaliação subjetiva* (ASHRAE et al., 2010). Portanto, o indivíduo não é capaz de determinar com precisão se prefere um ambiente mais quente ou mais frio. Uma das condições para atingir o conforto é que a quantidade de calor perdida para o ambiente seja igual a quantidade de calor produzida pelo corpo,

devido a perda de calor corpórea ser uniforme. Por outro lado, o nível de desconforto que um indivíduo sente está diretamente relacionado com o quanto que o corpo utiliza os mecanismos termorregulatórios do organismo para manter a sua temperatura (FANGER, 1973).

Como uma grande porcentagem da população mundial mora em cidades, o estudo do conforto térmico externo é de suma importância, porque potencializa a redução da temperatura externa, a melhoria dos ambientes externos e, principalmente, dos pedestres, incentivando os moradores a visitar espaços abertos como ruas, praças e parques, melhorando a qualidade de vida dos mesmos.

O microclima externo é o principal contribuinte para a qualidade de ambientes externos e de vida dos habitantes, já que as pessoas estarão expostas as variáveis meteorológicas como a temperatura do ar, radiação solar, umidade e vento, o que influenciará decisões como: escolher um local com sombra ou com sol, escolher ficar em casa ou sair. Sendo muito importante para o planejamento urbano, devido ao grau de influência que o conforto externo tem sobre as pessoas (CHEN; NG, 2012).

Por outro lado, o clima interno requer um estudo mais aprofundado, pois nos dias de hoje, é notável o fato de que o ser humano passa a maior parte do seu tempo em ambientes fechados, durante o seu trabalho, hobbies, lazer, em carros, em aviões, etc. (FANGER, 1973). Assim, uma das necessidades básicas de uma edificação é que ela seja capaz de manter um ambiente termicamente aceitável, que não prejudica a saúde ou a produtividade do indivíduo presente na edificação (DEAR, 2004).

2.4.1 Determinação do conforto térmico

Os principais parâmetros ambientais que influenciam o conforto térmicos são:

1. Temperatura do ar;
2. Radiação;
3. Velocidade do ar;
4. Umidade relativa do ar.

Também há o efeito de natureza fisiológica, onde as principais variáveis que podem ser consideradas são:

1. Nível de atividade física;
2. Resistência térmica da roupa.

Todavia, é necessário um conjunto significativo de dados para saber, por exemplo, qual possível combinação de 6 variáveis que representarão o maior contribuinte para o conforto térmico (FANGER, 1973). Além disso, como o conforto térmico é influenciado

pela sensibilidade do indivíduo, há outras variáveis que contribuem para o conforto térmico de uma pessoa, sendo as seguintes:

1. Aclimatização;
2. Formato do corpo;
3. Quantidade de gordura;
4. Idade e gênero;
5. Estado de saúde.

Por exemplo, o formato do corpo e a quantidade de gordura contribuem significativamente para o ganho de calor de um indivíduo, já que a gordura é um ótimo isolante térmico e uma pessoa com um corpo mais redondo possuirá uma maior razão área-volume, o que ajudará a manter a temperatura corporal, fato que será o inverso para uma pessoa mais magra (AULICIEMS; SZOKOLAY et al., 1997).

2.4.2 Equação do equilíbrio térmico humano

Para que haja um equilíbrio térmico no corpo humano, é necessário que haja um balanço entre o quanto o corpo ganha de calor e o quanto ele perde, sendo representada pela seguinte equação:

$$S = M \pm W \pm R \pm C \pm K - E - RES \quad (1)$$

Onde:

S = Quantidade de calor;

M = Metabolismo;

W = Trabalho externo;

R = Troca de calor por radiação;

C = Troca de calor por convecção;

K = Troca de calor por condução;

E = Perda de calor por transpiração/evaporação;

RES = Perda de calor por respiração.

O metabolismo está relacionado a quantidade de energia que o corpo precisa para funcionar, ou para realizar determinada atividade, parte da energia do metabolismo é convertida em trabalho externo, mas a sua maioria é convertida para calor interno do corpo, e quanto mais pesada for a atividade maior será a energia demandada.

Assim como o metabolismo o trabalho externo também está relacionado com o tipo de atividade, quanto maior for a carga dessa determinada atividade, maior será a quantidade de energia que o corpo irá ter que produzir.

O ganho de calor por radiação vem principalmente pela radiação solar em contato com o corpo, porém também pode vir de outras faixas do espectro eletromagnético.

O ganho ou perda de calor pela convecção esta diretamente relacionado a temperatura do ar em que a pessoa está situada, já que temperaturas menores irão resultar na perda de calor e temperaturas maiores no ganho, porém ainda temos as variáveis como a velocidade do ar e a quantidade de roupa usada pela pessoa.

A troca de calor por condução está relacionada ao contato do corpo com algum objeto (como o contato dos pés com o piso), portanto objetos mais frios ou mais quentes, diminuirão ou aumentarão a troca, porém aqui também deve-se considerar a quantidade de roupa usada pela pessoa.

A perda de calor por evaporação está relacionada ao quanto de suor é produzido e evaporado pelo corpo, esse é o principal regulador térmico do corpo humano, já que essa é troca de calor é a mais eficiente do corpo humano, e a sua magnitude está relacionada ao quanto de suor é produzido pelo corpo.

Por fim, a perda de calor pela respiração se dá devido ao ar exalado do corpo normalmente é mais quente que a do ar inalado (OLESEN, 1982).

2.5 Variáveis meteorológicas que influenciam no conforto térmico

A seguir serão listadas as principais variáveis meteorológicas que influenciam no conforto térmico.

2.5.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar é a variável mais importante, já que a sensação de desconforto térmico se dá pela perda ou ganho de calor devido a diferença de temperatura entre o ar e a pele (LAMBERTS; GHISI; PAPST, 2000). A temperatura do ar é medida pela temperatura de bulbo seco, a qual determinará a perda de calor por convecção sem a presença de vento (AULICIEMS; SZOKOLAY et al., 1997).

2.5.2 Radiação

A radiação é influenciada pela temperatura radiante média (TRM) dos objetos, materiais e superfícies ao redor do indivíduo, e/ou pela própria radiação solar incidente (AULICIEMS; SZOKOLAY et al., 1997). A temperatura média radiante (TRM) é definida como “a temperatura de um recinto preto uniforme que troca a mesma quantia de radiação térmica com o ocupante como o recinto real” (ASHRAE et al., 2010).

Ademais, a radiação solar tem uma grande influência na temperatura da Terra, tendo a sua intensidade variando com a latitude e estação do ano, e caracteriza-se por ser uma energia eletromagnética de onda curta que é parcialmente absorvida pela atmosfera (FROTA, 2006) e pela superfície da Terra.

2.5.3 Velocidade do ar

A velocidade do ar aumenta diretamente a taxa de convecção, fazendo com que a superfície troque mais energia na forma de calor com o ambiente, a medida que a velocidade do escoamento aumenta. Além disso, a velocidade do ar influencia na quantidade de evaporação do corpo, já que o vento move a camada de ar úmido que está em contato com a pele, ajudando na perda de calor (AULICIEMS; SZOKOLAY et al., 1997).

2.5.4 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é a relação da umidade absoluta com a capacidade máxima do ar de conter vapor d'água, ou seja, é a porcentagem de vapor de água que está no ar, sendo que em 100% irá ocorrer a saturação e conseqüentemente a umidade máxima (FROTA, 2006). A umidade do ar afeta principalmente a capacidade evaporativa do corpo humano, quanto mais seco é o ambiente, melhor será a eficiência da evaporação e quanto mais úmido é o ambiente, menor será a eficiência da evaporação (AULICIEMS; SZOKOLAY et al., 1997).

2.6 Outras variáveis que influenciam no conforto térmico

2.6.1 Latitude

A latitude de uma região irá determinar o ângulo de incidência solar para aquela época do ano. Assim, pode-se afirmar que quanto maior for a latitude menor será a incidência solar daquele local (FROTA, 2006).

2.6.2 El Niño e La Niña

O El Niño acontece quando há um acréscimo na temperatura superficial do Oceano Pacífico Equatorial; por oposto, a La Niña ocorre quando há uma baixa temperatura superficial. Esses dois fenômenos resultam em condições climáticas instáveis, afetando na interação entre a atmosfera e o Oceano Pacífico (PHILANDER, 1985).

Nota-se que em eventos de El Niño há um acréscimo de chuva na região Sul do país durante as estações de primavera e começo de verão, ocorrendo o inverso em eventos de La Niña, o que resulta em períodos de seca (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998).

2.6.3 Continentalidade e maritimidade

Em regiões litorâneas, devido aos oceanos, há uma maior concentração de umidade no ar, fato esse que contribui para que a variação da temperatura durante o dia seja menor, o que é o inverso para regiões afastadas do oceano, visto que a umidade presente no ar será menor, resultando em um climas mais secos que ocasionará em temperaturas e

amplitudes térmicas maiores.(ALVES; BARDUCO, 2011).

2.6.4 Urbanismo

É evidente que em regiões naturais ou agrícolas a temperatura local seja mais fresca em comparação com as cidades, e isso se dá pelo fato dessas regiões conseguirem perder calor por evaporação, o que é o inverso nas cidades. Devido aos materiais que compõem o ambiente urbano e pelo grau de revestimento do solo, temos uma insuficiência na perda de calor, e uma inércia térmica maior, aumentando a temperatura urbana (ASSIS, 2006).

O clima urbano normalmente será diferente do clima da região a sua volta em vista dos materiais de construção e pavimentação (concreto, asfalto), já que estes influenciam na drenagem do solo e retenção de calor.

Outro fator relevante é o fato de que as cidades são grandes geradoras de calor devido aos transportes, indústrias e equipamentos reguladores de temperatura. Ainda, temos que levar em conta o tamanho das edificações, as quais afetam diretamente a incidência solar e do vento dentro dos grandes centros. Todas essas mudanças climáticas podem influenciar tanto a ponto de se criar ilhas de calor (FROTA, 2006).

2.6.5 Ilhas de calor

Ilhas de calor é basicamente quando o ambiente urbano é extremamente mais quente que a zona rural na sua volta. São formadas devido aos materiais de construção que constituem o ambiente urbano, visto que esses materiais absorvem e armazenam mais radiação solar do que a vegetação das zonas rurais. Ainda, temos a influência da própria produção de calor da cidade (indústrias, transportes, pessoas), além da falta de umidade para a perda de calor por evaporação.

A altura dos edifícios auxilia no aumento das ilhas de calor em vista que essas construções formam cânions que refletem e retêm calor. Também, dificultam a perda de temperatura à noite, pois o ar presente dentro do cânion é resfriado mais lentamente (GARTLAND, 2011).

2.6.6 Poluição

A poluição afeta a quantidade de calor recebida por radiação solar pelo fato de que ela bloqueia os raios solares e diminui a quantidade de incidência solar que chega na superfície, contudo, absorve essa energia para si mesma e eleva a temperatura do ar. Esses dois efeitos são opostos entre si, e por isso é difícil determinar qual é o real efeito da poluição. Entretanto, devido ao fenômeno de absorção de calor, teremos noites mais quentes que o normal (GARTLAND, 2011).

2.6.7 Climas quentes

Para cidades que estejam em climas quentes e secos, a inércia térmica elevada nas construções é algo desejável, já que por ser um clima seco, a amplitude térmica naturalmente será alta, fazendo com que se tenha dias quentes e noites frias, é interessante sempre ter sombreamento suficiente, principalmente nas onde há passagem de pedestres, agora a ventilação em excesso não é útil já que o vento sempre estará mais quente ou mais frio que o ambiente interno, além de trazer consigo bastante poeira.

Já para cidades que estejam em climas quentes e úmidos, a ventilação noturna é bastante desejável, já que as horas com as menores temperaturas serão a noite, portanto, deve ser previstos esquadrias que permitam a entrada dessa ventilação, mas que impeçam a entrada de radiação solar durante o dia. Por fim, o arranjo urbano deve permitir com que todas as edificações estejam ventiladas, nunca impedindo o vento. (FROTA, 2006).

2.6.8 Climas temperados

Em climas temperados deve ser levado em consideração a amplitude térmica do local para a melhor solução, mas em locais onde faz calor e frio durante o ano, a estratégia ideal é a de ter esquadrias que possam ora permitir ora impedir a ventilação interna e a incidência solar assim como ter materiais de média inércia térmica (FROTA, 2006).

2.7 Fatores para amenizar o desconforto térmico

2.7.1 Arquitetura sustentável

A arquitetura sustentável busca fazer a síntese entre projeto, ambiente e tecnologia, iniciando na compreensão de qual é o cenário em que o edifício está submetido, e resolvendo problemas como: temperatura do ar, radiação solar, umidade, ventos, ruídos entre outros. Há também a preocupação para problemas em escala urbana com temas como: adensamento populacional, energia, água, ilhas de calor e transporte público.

Portanto, em resumo, a arquitetura sustentável busca desenvolver construções que estejam em harmonia com o ambiente em que estão situadas. Com umas das suas frentes ser a busca por soluções passivas para o controle térmico das edificações, fazendo com que se tenha a redução do uso de sistemas artificiais, resultando em concepções modernas, com novos materiais, formas e funções (GONÇALVES; DUARTE, 2006).

2.7.2 Vegetação

A implementação de arborização nas cidades tem o potencial de aumentar significativamente o conforto térmico daquela região. Essa melhora é causada pelo fato de que as árvores reduzem a incidência solar, sendo mais apropriado optar por árvores altas, pois

copas baixas dificultam a circulação do vento no passeio de pedestres (BARTHOLOMEI, 2003).

2.7.3 Ventilação natural

O vento tem a possibilidade de aumentar significativamente o conforto ambiental de uma determinada região, ainda mais em regiões tropicais, já que o vento ajuda na troca de calor entre o ser humano e o ambiente. O estudo do vento em ambientes urbanos pode reduzir os efeitos negativos da ocupação indevida do terreno (FERREIRA; FERREIRA; ASSIS, 2010).

A ventilação natural contribui significativamente para a higiene do local, já que o vento irá renovar o ar da região, removendo poeira, vapores, poluição, gases e ajudando na mitigação da temperatura (FROTA, 2006).

2.7.4 Brisa marítima

É um fenômeno que afeta regiões litorâneas sendo ocasionado pela diferença de temperatura entre o oceano e a Terra. A água aquece menos que o solo, assim, durante o dia o solo será mais quente que o oceano, fazendo com que o ar circule do oceano para a Terra, e o inverso acontecerá a noite, pois a água estará mais quente que a Terra (FROTA, 2006).

2.8 Efeitos do desconforto térmico

2.8.1 Efeitos físicos

O ser humano tem o melhor mecanismo termorregulador para manter o balanço térmico de seu corpo, podendo mantê-lo até em ambientes mais extremos (FANGER, 1973).

Quando o indivíduo perde mais calor do que ganha, o organismo reage através do sistema nervoso simpático, reduzindo a circulação sanguínea por meio da vasoconstrição, aumentando o isolamento térmico por meio do arrepio e o famoso “tremendo de frio”. Além disso, o corpo também aumenta a combustão interna por meio do sistema glandular endócrino (FROTA, 2006).

Quanto menor for a temperatura, maior será o dano à saúde, podendo agravar o sistema cardiovascular, causar hipotermia, aumentar a pressão sanguínea e gerar doenças respiratórias (ORMANDY; EZRATTY, 2016).

Quando a perda de calor é menor do que o ganho de calor natural do corpo é acionado o sistema nervoso simpático, o qual ativa as glândulas sudoríparas para aumentar a troca de calor entre a pele e o ambiente e, também, através da exsudação. Além disso, o corpo reduz a combustão interna através do sistema glandular endócrino (FROTA, 2006).

A exposição a altas temperaturas podem causar problemas respiratórios e cardio-

vasculares, além de aumentar o risco à insolação (ORMANDY; EZRATTY, 2016).

2.8.2 Efeito psicológicos

Com os estudos foi possível identificar uma relação entre conforto térmico e produtividade nos escritórios, restando comprovado que um indivíduo que esteja em um ambiente termicamente confortável possui um ganho de produtividade de até 10%. Experimentos mostram que há uma perda de produtividade em ambientes termicamente desconfortáveis, e o investimento em ambientes mais apropriados para o trabalho potencializa um aumento do lucro de uma empresa (LAN et al., 2011).

2.9 Determinação de Índices de conforto térmico

Conforme discutido anteriormente, o conforto térmico é uma sensação, particular de cada indivíduo, que depende de diversas variáveis externas e fisiológicas. Existem diversas formas de quantificar o conforto térmico, inclusive levando em consideração variáveis fisiológicas. Todavia, usualmente são utilizadas apenas variáveis ambientais, a partir de um conjunto de dados confiáveis para a determinação dos índices de conforto térmico.

A seguir serão descritos alguns dos principais índices de conforto térmico externo, bem como, um conjunto de dados que podem ser utilizados no cálculo dos índices de conforto térmico.

2.9.1 PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)

Os primeiros estudos sobre o conforto térmico começaram com análises estatísticas, onde pessoas eram colocadas em diversos ambiente e votavam o seu nível de satisfação perante ao ambiente que estavam situadas, era utilizado a escala sétima da ASHRAE, que engloba do muito frio até o muito quente, sendo representada na Tabela 2:

Tabela 2 – Tabela PMV.

Pontuação	Sensação Térmica
+3	Muito Frio
+2	Frio
+1	Leve frio
0	Neutro
-1	Leve calor
-2	Quente
-3	Muito quente

Fonte: adaptado de (FANGER, 1973)

Com isso, foi desenvolvido o voto médio previsto, que prevê o quão confortável será

determinado ambiente, o valor do PMV pode ser obtido através de tabelas elaboradas por Fanger (1973), ou pela seguinte equação:

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303e^{-0,036M} + 0,028)[-3,05 \cdot 10^{-3}(5733 - 6,99(M - W) - p_a) \\
 & - 0,42((M - W) - 58,15) - 1,7 \cdot 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) \\
 & - 3,96 \cdot 10^{-8}f_{cl}((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Onde:

PMV = Voto médio previsto;

M = Metabolismo;

W = Trabalho externo;

p_a = Pressão do vapor de água;

t_a = Temperatura do ar;

f_{cl} = Razão da área vestida do corpo contra a área nua;

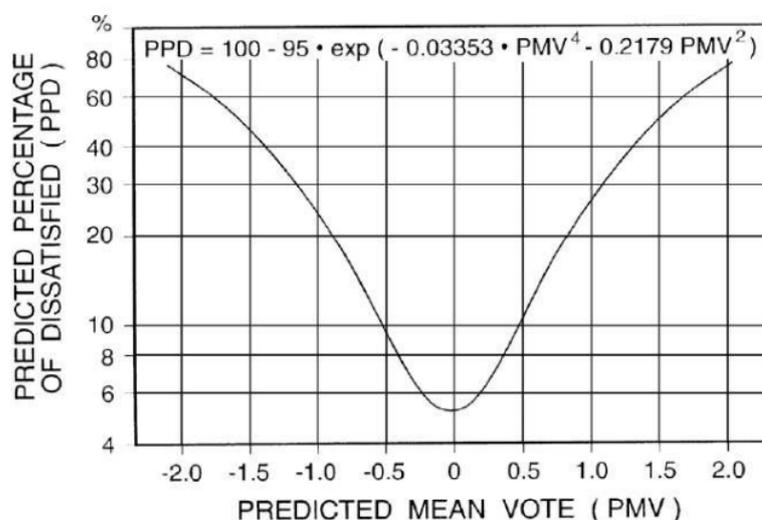
t_{cl} = Temperatura superficial da vestimenta;

t_r = Temperatura radiante média;

h_c = Coeficiente da transferência de calor por convecção;

O PPD quantifica em porcentagem o número de pessoas que não estarão satisfeitas com o ambiente, e pode ser determinado pela seguinte figura abaixo (LAMBERTS et al., 2011).

Figura 4 – Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do PMV.



Fonte: (ASHRAE et al., 2010)

Com base em estudos feitos, 5 por cento é a menor porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente, já que cada pessoa tem a sua própria percepção de sobre o conforto térmico.

O PMV-PPD possui limites estabelecidos pela ISO (DIS 7730) e pela ASHRAE, sendo estes citados abaixo: (OLESEN, 1982)

$$\begin{aligned} -0,5 < PMV < 0,5 \\ PPD < 10\% \end{aligned} \quad (3)$$

2.9.2 Dados de reanálise meteorológica

A reanálise de dados climáticos consiste em juntar todas as informações meteorológicas que foram utilizadas para realizar a previsão do tempo, e reprocessá-las novamente no intuito de obter um dado mais refinado, preciso e realista com o que aconteceu naquele determinado período. Os dados vem através de estações meteorológicas superficiais, boias no mar e sondagens de ar. Por fim, esses dados podem ser combinados em um modelo global, possibilitando a análise da mudança climática dos anos (HERSBACH et al., 2020).

Nesse contexto, a ERA5 é a quinta geração de reanálises do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio Período (do inglês: “*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*”, ECMWF). A ERA5 é produzida e disponibilizada pelo *Copernicus Climate Change Service* (C3S, disponível em <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/derived-utci-historical?tab=overview>>) no ECMWF e fornece dados utilizando as variáveis

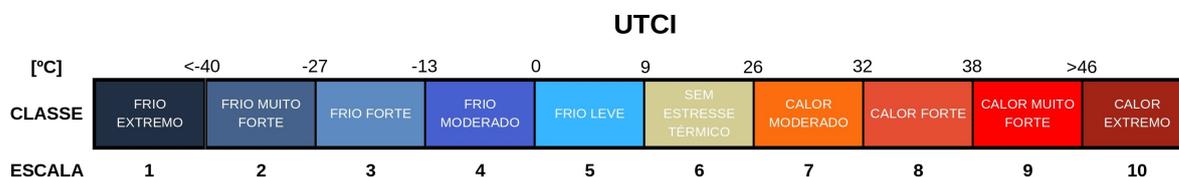
climáticas, com observações de todo o mundo, com resolução de aproximadamente um quarto de grau, em um período desde aproximadamente 1940 até a atualidade. (NAPOLI et al., 2021) construíram, pela primeira vez, um conjunto de dados históricos de Temperatura Média Radiante (do inglês: *‘Mean Radiant Temperature’*, MRT), utilizada na estimativa de conforto térmico, e de Índice Térmico Climático Universal (do inglês: *“Universal Thermal Climate Index”*, UTCI), o qual é um índice capaz de descrever como o corpo humano irá se comportar em diferentes ambientes climáticos, utilizando variáveis climáticas disponibilizadas nos bancos de dados da ERA5 (NAPOLI et al., 2021). Esse conjunto histórico de dados, denominado ERA5-HEAT (Human thErmAl comfoRT), também está disponível para acesso e download juntamente com as demais variáveis da ERA5 no C3S.

2.9.3 Índice Térmico Climático Universal (UTCI)

O Índice Térmico Climático Universal (do inglês *Universal Thermal Climate Index* (UTCI)), é um índice multi-parâmetro criado para unificar todas as formas de troca de calor do corpo humano com o ambiente, sendo definido como a temperatura do ar de um ambiente fictício que resultaria na mesma resposta fisiológica (suor, arrepios, tiritar) que o ambiente real (JENDRITZKY; DEAR; HAVENITH, 2012). O UTCI é baseado no modelo UTCI-Fiala que simula um corpo humano em um ambiente térmico externo, possuindo vários pontos termorregulatórios no seu modelo, que consideram a vestimenta, adaptação térmica, temperatura, umidade, vento e radiação (FIALA et al., 2012).

O UTCI é dividido em uma escala de 1 a 10, sendo que cada número da escala corresponde ao grau de estresse do sistema termorregulatório do corpo humano ao ambiente térmico em que ele está situado (BŁAŻEJCZYK et al., 2013).

Figura 5 – Classes de conforto térmico do UTCI..



Fonte: Adaptado de Napoli et al. (2021)

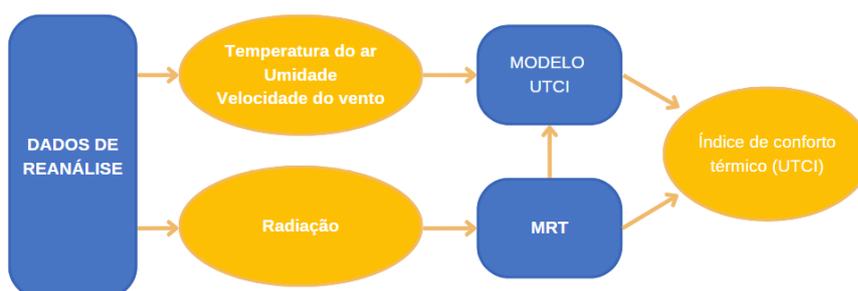
São necessárias de 4 variáveis para estimar o UTCI, sendo as seguintes:

1. temperatura do ar a 2 metros de altura do solo
2. umidade relativa

3. velocidade do vento a 10 metros de altura do solo
4. temperatura média radiante (MRT)

Os dados são computados para um algoritmo que irá pegar as 4 variáveis citadas acima, e junto com o MRT todos esses dados serão calculados em uma equação onde o resultado é o índice de conforto térmico (UTCI) (NAPOLI et al., 2021).

Figura 6 – Esquemática do processo de produção UTCI.



Fonte: Adaptado de Napoli et al. (2021).

2.9.4 Temperatura radiante média (MRT)

A temperatura radiante média (do inglês *mean radiant temperature* (MRT)) é uma variável que representa o quanto o ser humano sofre com a radiação advinda do ambiente em que está inserido, e é um fator útil para o planejamento urbano e para analisar a mudança climática (THORSSON et al., 2014).

O MRT é calculada em três etapas. Na primeira é calculado o fator da projeção superficial, pela seguinte equação:

$$f_p = 0,308 \cos\left(\gamma\left(0,998 - \frac{\gamma^2}{50000}\right)\right) \quad (4)$$

Onde:

f_p = Fator de projeção superficial;

γ = Azimute solar.

A segunda parte compreende calcular as partes das radiações térmicas e solares que são diretas, difusas e refletidas, resultando nas seguintes variáveis: L_{surf}^{dn} , L_{surf}^{up} , $S_{surf}^{dn,diffuse}$, S_{surf}^{up} e I^* .

Por fim, a terceira e última etapa, se resulta em aplicar todas as variáveis calculadas

e coletadas e aplicá-las na seguinte equação:

$$MRT = \frac{1}{\sigma} (f_a L_{surf}^{dn} + f_a L_{surf}^{up} + \frac{\alpha_{ir}}{\epsilon_p} (f_a S_{surf}^{dn,diffuse} + f_a S_{surf}^{up} + f_p I^*)) \quad (5)$$

Onde:

MRT : Temperatura radiante média;

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$);

f_a : Fator angular;

L_{surf}^{dn} : Radiação térmica descendente da atmosfera;

L_{surf}^{up} : Radiação térmica ascendente do solo;

α_{ir} : Coeficiente da área corporal irradiada pelo sol;

ϵ_p : Emissividade de uma pessoa vestida;

$S_{surf}^{dn,diffuse}$: Soma do fluxo de radiação solar difusa isotrópica;

S_{surf}^{up} : Fluxo de radiação solar refletido na superfície;

f_p : fator de projeção superficial;

I^* : Componente da radiação direta do sol;

3 METODOLOGIA

A realização do presente trabalho se dará através da análise de um conjunto de dados completos de reanálise meteorológica para determinação dos índices de conforto térmico. Portanto, não serão realizadas nem campanhas de coleta de dados e nem experimentos.

3.1 Escolha do conjunto de dados

Como foi demonstrado em 2.9.1, o método PMV-PPD para analisar conforto térmico demanda de variáveis mais específicas como temperatura da vestimenta, razão da área vestida do corpo contra a área nua, entre outros, fazendo com esse método seja preciso para ambientes fechados, não sendo viável para estudar o conforto térmico externo.

Já o UTCI usa variáveis externas como a temperatura do ar, velocidade do vento, entre outros, portanto é um melhor índice para representar o conforto térmico externo, e esses dados são de fácil obtenção, pois eles são coletados constantemente por estações meteorológicas, tornando a opção mais viável e confiável para esse estudo.

3.2 Conjunto de dados

Os dados necessários para a determinação dos índices de conforto térmico serão obtidos através de dados da reanálise meteorológica ERA-5, pertencente ao European Centre for Medium-Range Forecast (ECMWF). A ERA-5 é uma reanálise de última geração, com resolução espacial mais refinada, precisa, fornecendo assim um conjunto de dados realista para representar as condições climáticas.

O índice que será retirado do ERA-5 é o UTCI (Universal Thermal Climate Index), que é uma tecnologia de ponta que estima o estresse térmico suportado pelo corpo humano. É definido como a temperatura do ar de um ambiente fictício que resultaria na mesma resposta fisiológica (suor, arrepios, tiritar) que o ambiente real.

Esse índice consegue descrever com muita precisão o conforto térmico, já que ele é processado em um modelo realístico que simula o globo e qual seria o estresse dos sistemas termorregulatórios do corpo humano àquele ambiente térmico em que estava situado.

É importante destacar que não existe um conjunto de dados observacionais que forneça as informações necessárias para a determinação do UCTI e por esse motivo, a utilização de dados de reanálise meteorológica se apresenta como uma opção viável para esse estudo.

3.3 Período de análise

Por definição, o clima é o comportamento médio do tempo meteorológico em uma escala de tempo de pelo menos 30 anos. Assim, a variação do tempo pode mudar de um ano para outro ano, todavia, no longo período surgirão padrões. Além disso, utilizando uma longa janela temporal é possível identificar com maior precisão eventuais mudanças climáticas ou pelo menos a tendência climática que está acontecendo.

No presente estudo, o período escolhido para análise é compreendido entre 01/01/1980 e 01/01/2020, cobrindo 40 anos de dados, o que representa tempo suficiente para poder identificar se houve alguma alteração nos índices de conforto térmico, e caso exista qual a relação com mudanças no clima regional.

3.4 Formato dos dados

Os parâmetros que serão baixados do ERA-5 estarão em formato de grade, e cobrirão todo o globo. Possuindo um valor a cada hora do dia, fato esse que resultará em uma grande quantidade de dados, portanto será necessário realizar um código no Operador de Dados Climáticos (do inglês Climate Data Operator (CDO)) para cortar apenas a região do Rio Grande do sul, que é a região que esse estudo pretende analisar. Isso ajudará a reduzir o tamanho dos arquivos, e não sobrecarregará o software que realizará a análise do estudo proposto.

3.5 Leitura dos dados e software escolhido

Os dados serão baixados em formato NetCDF, formato capaz de manter grandes quantidades de informações, portanto será necessário executar um código que seja capaz de ler, compilar e representar esses dados.

Para a execução do código será utilizado o software Rstudio, pois o mesmo é como se fosse uma área de trabalho livre, e possui a capacidade de o próprio software gerar tabelas, gráficos e mapas, fato esse que simplifica o processo de representação.

A linguagem do código é a Linguagem R (Operadores Matemáticos, Variáveis, Vetores, Fatores, Matriz e DataFrame).

3.6 Análise dos dados

Para verificar a mudança climática, primeiramente será dividido por sazonalidade dividindo os verões, outonos, invernos e primaveras, sendo as estações de verão e inverno as mais importantes para esse estudo. Para que seja possível analisar essas estações separadamente, os meses que compõem cada estação estão abaixo:

- Outonos: Março a Maio
- Invernos: Junho a Agosto

- Primaveras: Setembro a Novembro
- Verões: Dezembro a Fevereiro

As formas de análise do estudo serão através de médias, tendências e percentis. Foi feita uma média do UTCI dos 40 anos para cada mês, e uma média do UTCI de 1980 a 2020 compondo todos os meses.

A média dos meses é útil para analisar como que é o conforto térmico daquele determinado mês, podendo ter uma diferenciação das estações, e uma visão geral de quais são os meses mais desconfortáveis, além de determinar qual é o conforto térmico de cada região do Estado para cada mês.

A média total dos 40 anos é útil para fazer a análise de quais regiões do Estado sofrem mais com o calor ou com o frio, sendo possível prever quais são os motivos de ser mais calor ou mais frio.

3.6.1 Tendência

Fazer a análise por tendência é o principal parâmetro dessa pesquisa, porque ela possibilita prever com certa precisão como que será o comportamento do clima nos próximos anos. Foi feita a tendência do UTCI dos 40 anos para todos os meses, a tendência a cada 10 anos e a tendência dos 40 anos totais.

A tendência mensal serve para realizar a análise de como as estações do ano estão sendo afetadas com a mudança climática, sendo possível ver se os verões estão mais quente, e se os invernos estão menos rigorosos.

A tendência de 10 anos serve para analisar qual foi o período que mais houve mudança no clima no Estado, podendo ser teorizado quais são as causas dessas mudanças repentinas.

E por fim, a tendência dos 40 anos totais, serve para analisar qual foi a mudança real do clima, e como cada região é afetada por essa mudança.

3.6.2 Percentil

Os percentis são medidas que dividem um dado (ou conjunto de dados) em 100 partes ordenadas da menor para a maior. Para esse estudo os percentis utilizados são de 5% e 95%.

Utilizando o percentil 5%, esse cálculo nos dará que, em um determinado local, 5% de todas as temperaturas (UTCI) registradas durante os 40 anos foram menores que X valor, sendo X um valor calculado.

Utilizando o percentil 95%, esse cálculo nos dará que, em um determinado local, 5% de todas as temperaturas (UTCI) registradas durante os 40 anos foram maiores que X valor, sendo X um valor calculado.

Lembrando que quando se diz temperatura, está se referindo ao UTCI, que leva

em consideração outras variáveis térmicas além da própria temperatura do ar, e é uma temperatura fictícia que simula o ambiente real.

A utilização dos percentis é útil para analisar qual foram as mínimas e máximas temperaturas UTCI durante os 40 anos, possibilitando ver quais regiões do estado vão ter os invernos e verões mais rigorosos.

3.7 Representação dos dados

A forma escolhida para analisar a variação, é através do uso de gráficos, tabelas e da execução de mapas de conforto térmico do RS.

Será feita uma simulação com toda a evolução do conforto térmico dos anos para cada estação, que será representado em um mapa do RS, com uma escala de cor representando o quão desconfortável é determinada região.

Será verificado quais regiões do estado possuem o maior desconforto térmico, quais regiões apresentaram a maior evolução do desconforto, e analisado quais os possíveis motivos dessas mudanças.

3.8 Classificação

Para classificar o conforto térmico do estado utilizaremos como referência a própria classificação do UTCI representada na figura 5, porém nos mapas apresentados nos resultados, a grade de cores não corresponde com a grade de cores da figura 5, sendo utilizado apenas os limites das temperaturas fictícias de cada escala de conforto, sendo então utilizado os limites apresentados na tabela a seguir:

Tabela 3 – Tabela limites classes UTCI.

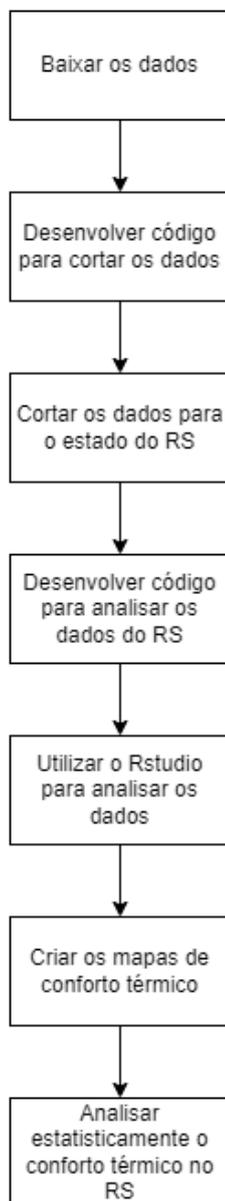
Escala	Classe	Limite inf. ($^{\circ}C$)	Limite Sup. ($^{\circ}C$)
1	Frio extremo	$-\infty$	-40
2	Frio muito forte	-40	-27
3	Frio forte	-27	-13
4	Frio moderado	-13	0
5	Frio leve	0	9
6	Sem estresse térmico	9	26
7	Calor moderado	26	32
8	Calor forte	32	38
9	Calor muito forte	38	46
10	Calor extremo	46	$+\infty$

Fonte: O Autor

3.9 Fluxograma

Com toda a metodologia descrita acima, foi criado um fluxograma para mostrar o passo a passo do presente estudo:

Figura 7 – Fluxograma.



Fonte: Autoria Própria.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para os resultados, a apresentação do mesmo será realizada na seguinte ordem: médias, percentil e tendência e sendo apresentado na escala temporal de cima para baixo, ou seja, primeiramente será os 40 anos, a cada 10 anos e, por fim, mensal. Foi organizado desta maneira com o intuito de ter uma melhor lógica de como está o comportamento do conforto térmico nos 40 anos.

Um ponto importante é que todas as legendas estão em graus Celsius C^o, porém isso não representa a temperatura do ar, e sim o UTCI, já que o mesmo se define como a temperatura de um ambiente fictício que define o ambiente real, sendo consideradas outras variáveis além da própria temperatura do ar.

Para facilitar a explicação do conforto térmico no território do Estado, será utilizado a divisão por mesorregiões e as principais cidades que representam cada uma, sendo representada pela figura abaixo:

Figura 8 – Mesorregiões do Rio Grande do Sul.



Fonte: IBGE

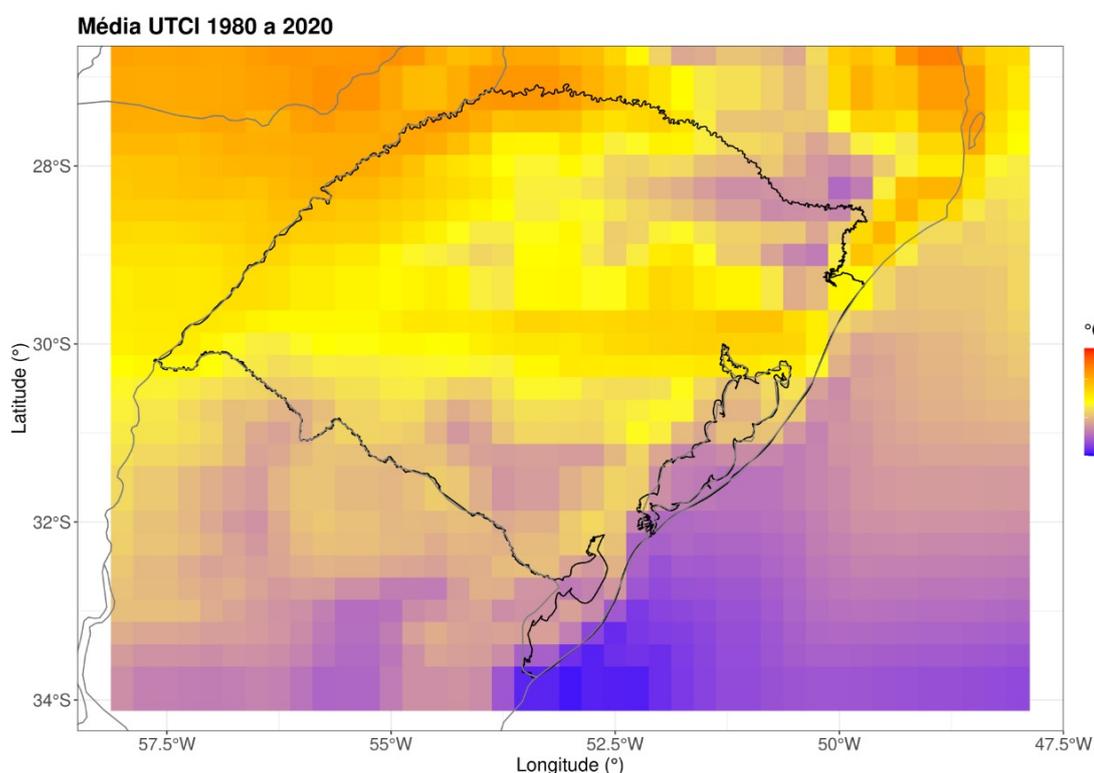
4.1 Médias

Nesta seção será apresentado as médias do UTCI nos 40 anos e mensalmente.

4.1.1 Média do UTCI durante os 40 anos

Começa-se a análise dos resultados com a média do UTCI durante os 40 anos, trazendo um panorama geral do conforto térmico do Rio Grande do Sul, sendo representado pela figura abaixo:

Figura 9 – Média do UTCI de 1980 a 2020.



Fonte: Autoria Própria.

Primeiramente, devemos ver que como aqui temos a média anual, teremos as baixas temperaturas do invernos e as altas temperaturas do verão, resultando em temperaturas moderadas, mas a importância desse mapa está que é possível ver que mesmo sendo uma média, ainda pode-se analisar quais regiões são mais quentes e quais são mais frias. Portanto, pode-se notar que temos regiões onde há tanto o desconforto térmico para o frio, como para o calor.

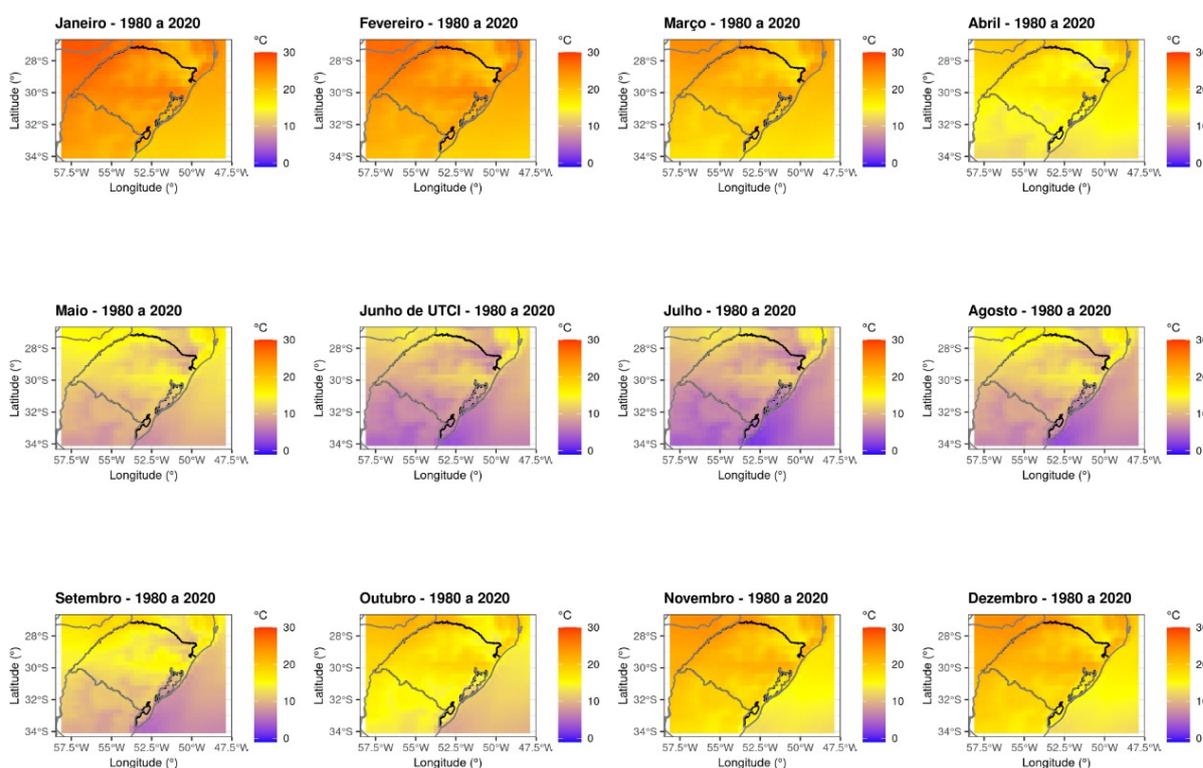
As regiões que sofrem com o calor são: a região metropolitana, e uma considerável parte da central e a fronteira com a Argentina.

As regiões que sofrem com o frio são: a fronteira com Uruguai com a região de Bagé a mais afetada, a costa sul e a região da Serra Gaúcha

4.1.2 Média mensal do UTCI durante os 40 anos

Aqui foi feita a média de todos os 40 anos para cada mês do ano, podendo ser analisado qual é o comportamento térmico de cada estação, resultando na figura abaixo:

Figura 10 – Média mensal do UTCI de 1980 a 2020.



Fonte: Autoria Própria.

Pode-se perceber, como esperado, que nos meses de verão há o desconforto por calor e nos meses de inverno por frio. E nas estações de outono e primavera é onde há menos estresse térmico, sendo abril e setembro os melhores meses do ano.

Porém, também nota-se como foi explicado na figura 10, que existem regiões que naturalmente são mais quentes e outras mais frias, mesmo com a troca de estações durante o ano.

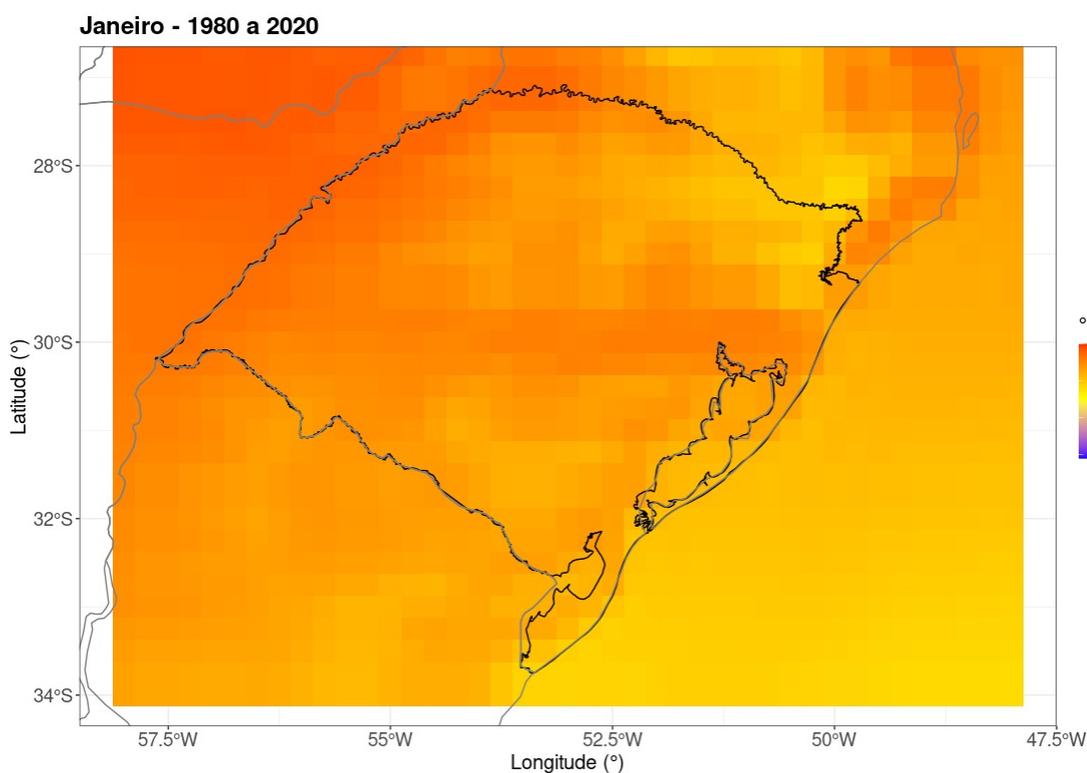
Outro ponto importante, é que em algumas regiões o estresse térmico por calor e frio atingem a mesma intensidade de resposta do corpo humano, que segundo a classificação do UTCI, em algumas localidades como Alegrete, apresentam a classe de frio

moderado e calor moderado.

4.1.2.1 Desconforto por calor

Como imaginado, o mês de janeiro é o mês com maior estresse térmico por calor do ano, sendo possível fazer a sua análise mais precisa com a figura abaixo:

Figura 11 – Média do UTCI de 1980 a 2020 para o mês de janeiro.



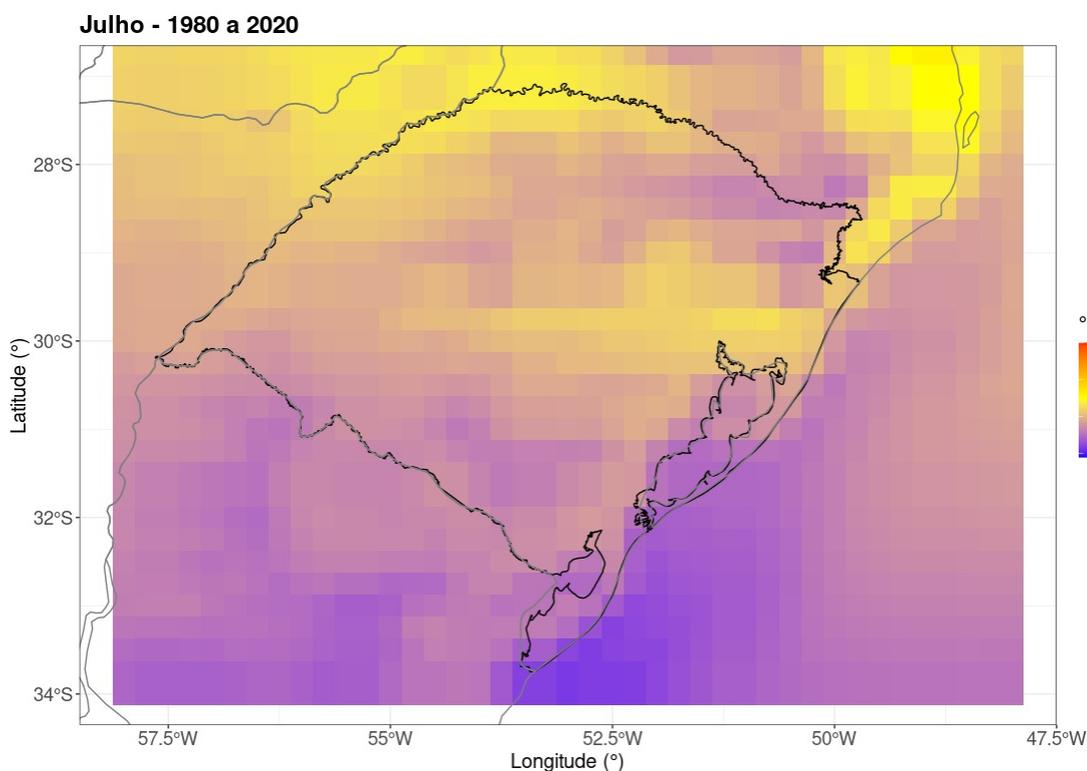
Fonte: Autoria Própria.

Primeiramente, para o mês de janeiro, toda a região do Estado do Rio Grande do Sul apresenta forte desconforto térmico, com poucas localidades como parte da serra, a região sul e parte da costa da lagoa dos patos onde o estresse térmico é leve, sendo a região metropolitana, a fronteira com a Argentina e o centro do estado os locais onde há o maior desconforto térmico por calor.

4.1.2.2 Desconforto por frio

Como previsto, o mês de julho é o mês com maior estresse térmico por frio do ano, sendo possível fazer a sua análise mais precisa com a figura abaixo:

Figura 12 – Média do UTCI de 1980 a 2020 para o mês de julho.



Fonte: Autoria Própria.

Primeiramente, para o mês de julho, pode-se ver que nem todo o Estado apresenta desconforto térmico por frio, sendo as regiões: da campanha, a sul (especialmente a costa), o noroeste e o nordeste as mais afetadas, sendo classificados como frio leve a frio moderado, também é possível analisar que quanto mais para o sul, maior será o desconforto sentido.

Já as regiões metropolitana, central e a fronteira com a Argentina apresentam leve desconforto térmico por frio ou praticamente nenhum desconforto.

4.1.3 Discussão sobre as médias

Através da visualização dos mapas térmicos da média de 40 anos e das médias mensais, conclui-se o seguinte:

- As regiões: metropolitana, central e noroeste são as regiões caracterizadas por apresentarem estresse térmico por calor, não sendo consideravelmente afetadas nos meses de inverno;
- As regiões: nordeste, sudeste, sudoeste e costeira são as regiões caracterizadas por apresentarem estresse térmico por frio, porém não deixam de ter estresse no verão, somente é mais ameno em comparação com as outras regiões do Estado;

- A região metropolitana se caracteriza por ser extremamente urbanizada, fazendo com que se tenha um clima naturalmente mais quente, devido a quantidade de pessoas, carros, indústrias e edificações ativamente gerando calor para o microclima local, fato esse que é identificável pelo UTCI;
- A região central do estado é uma região com certa urbanização, porém o fator mais importante é que ela está na depressão central do Estado, com baixas altitudes e como discutido em 2.6.3, a região está a uma determinada distância do oceano, resultando em temperaturas mais altas;
- A região noroeste e fronteira oeste são as regiões mais afastadas do Estado e como discutido em 2.6.3 há um forte efeito da continentalidade, ou seja, são as mais distantes do oceano, fazendo com que se tenha climas secos e com temperaturas mais altas;
- A região da nordeste é uma região com altitudes moderadamente altas, fato esse que contribui para que se tenha climas mais frios;
- A região sudeste se caracteriza por ser uma região de baixas temperaturas, cercada pelo oceano Atlântico e as lagoas e é a região mais longe do Equador, fazendo com que se tenha o maior estresse térmico por frio, sendo o extremo sul o local mais frio do Estado;
- A região sudoeste, assim como a região sudeste, se apresenta mais ao sul do Estado, porém é uma região mais longe do mar, fazendo com que se tenha temperaturas maiores que a região sul;
- Todo o Estado do Rio Grande do Sul apresenta estresse térmico por calor e por frio, a diferença é quem em algumas regiões a intensidade de um ou do outro é diferente.
- É possível analisar com clareza os efeitos da continentalidade e da maritimidade, e como isto afeta o clima do RS.

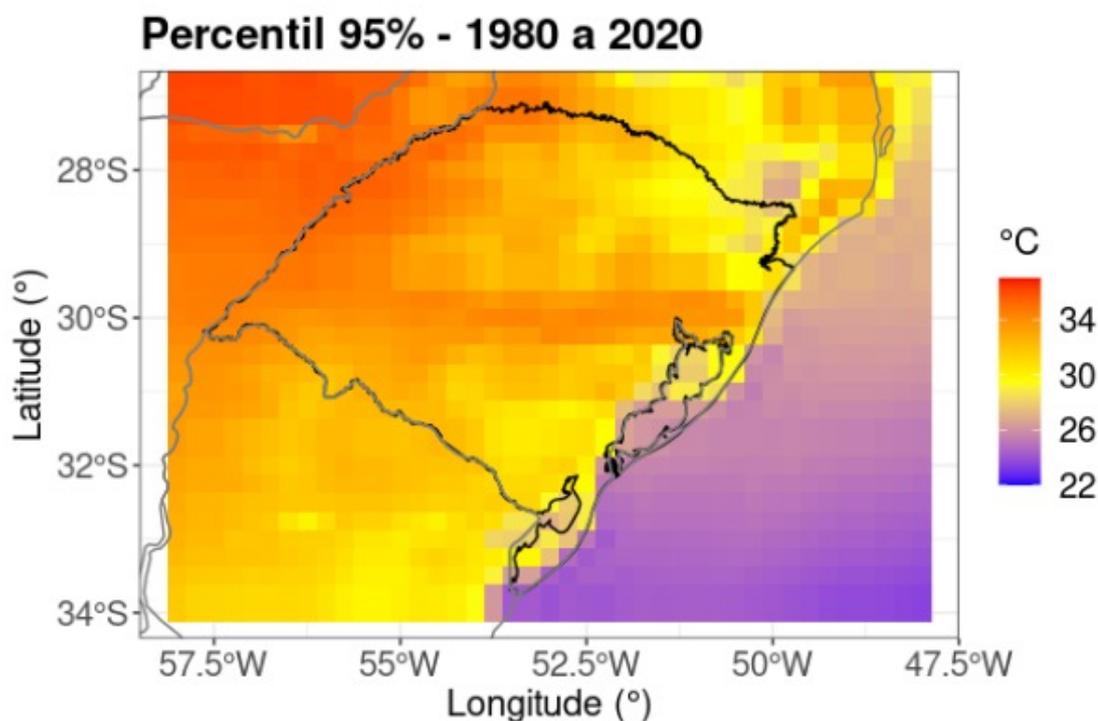
4.2 Percentil

Os percentis são úteis para realizar a análise dos eventos extremos, sendo possível ver quais são os mínimos e máximos em todo território do Estado. Para isso, foi utilizado o percentil 5% e 95%.

4.2.1 Percentil 95%

O percentil de 95% basicamente nos mostra quais foram os maiores valores de UTCI durante os 40 anos, sendo útil para ver o máximo estresse por calor que foi sentido, sendo representado pela figura abaixo:

Figura 13 – Percentil 95% do UTCI.



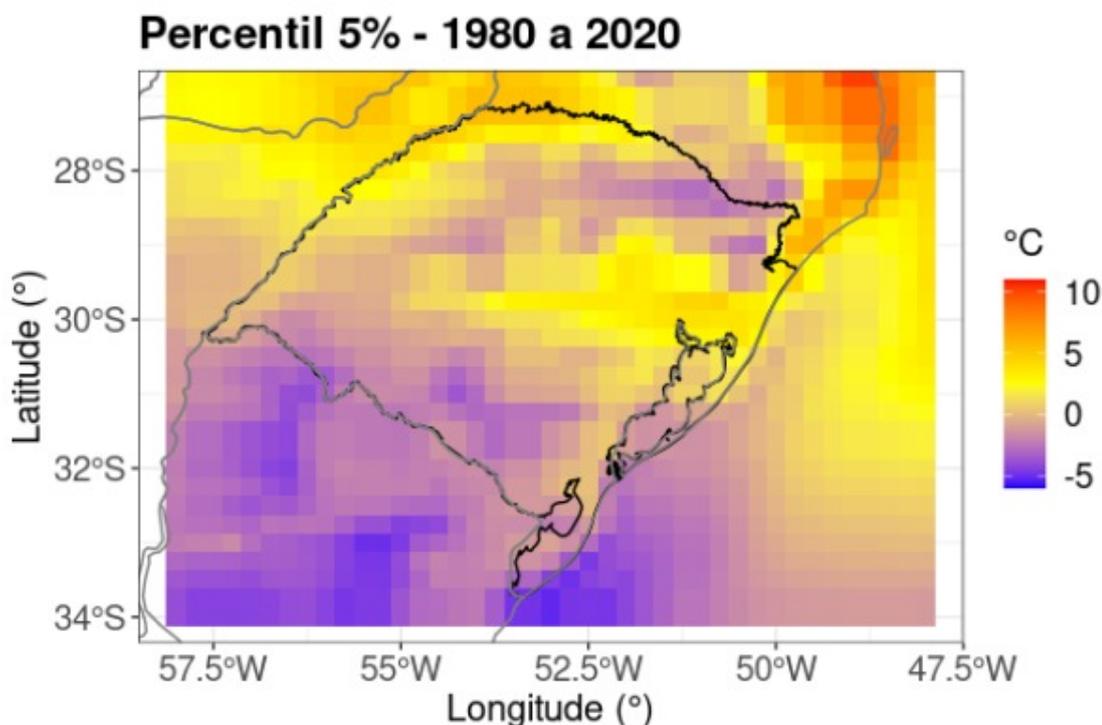
Fonte: Autoria Própria.

Como se percebe, as regiões que tiveram os maiores UTCI são as mesmas que apresentam as maiores médias, sendo então: a metropolitana, central e a fronteira com a Argentina, chegando a valores de $37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, valor que se classifica como calor forte, quase atingindo o limite para calor muito forte ($38\text{ }^{\circ}\text{C}$)

4.2.2 Percentil 5%

O percentil de 5% basicamente nos mostra quais foram os menores valores de UTCI durante os 40 anos, sendo útil para ver o máximo estresse por frio que foi sentido, sendo representado pela figura abaixo:

Figura 14 – Percentil 5% do UTCI.



Fonte: Autoria Própria.

Realizando a análise do mapa, nota-se que as regiões da serra gaúcha e a campanha são as que apresentam os menores valores de UTCI, apresentando valores de até -5°C , valor que se classifica como frio moderado.

4.2.3 Discussão sobre os percentis

Através da visualização do percentil de 5% e do percentil de 95% conclui-se o seguinte:

- Assim como na médias UTCI, as mesmas regiões que tinham tendência a ser mais quente, apresentaram os maiores valores de UTCI, e as regiões com tendência a serem as mais frias, apresentaram os menores valores de UTCI;
- Nota-se que a intensidade desses eventos extremos é relativamente alta, chegando a classes de calor forte e frio moderado.
- Os eventos extremos que envolvem calor são mais rigorosos que os eventos de frio, visto que o grau de desconforto térmico é maior (calor muito forte).

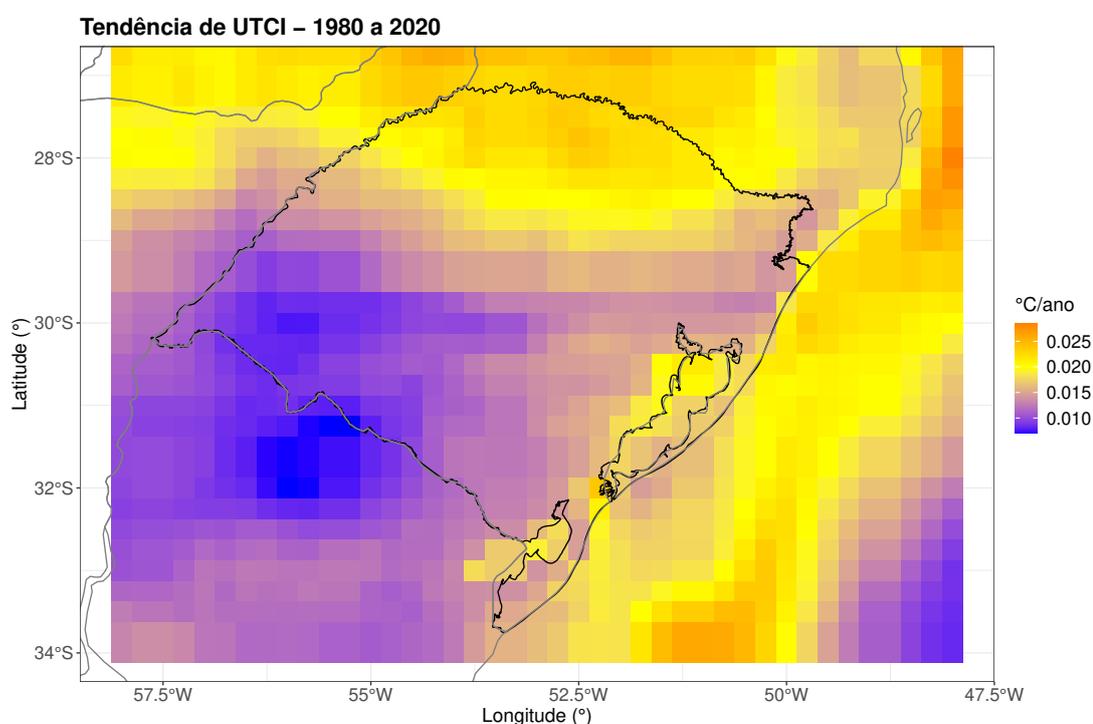
4.3 Tendências

Aqui serão discutidas as tendências climáticas observadas nos últimos 40 anos, e nessa seção é possível descobrir como que foi o avanço do clima no Estado. Todas as legendas estarão com $^{\circ}C/ano$, ou seja, o quanto que está aumentando de UTCI anualmente.

4.3.1 Tendência do UTCI durante os 40 anos

Primeiramente, para se ter um panorama geral da situação, é apresentado a tendência climática durante os 40 anos, sendo representada pela figura abaixo:

Figura 15 – Tendência do UTCI durante os 40 anos.



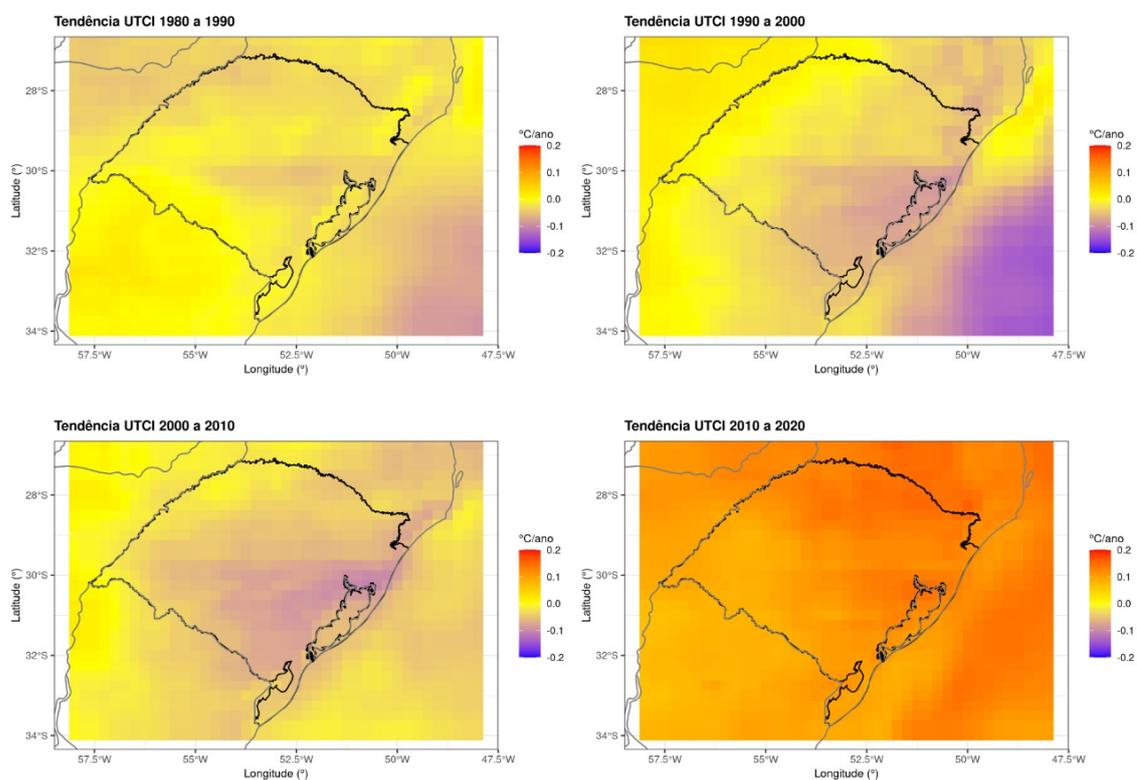
Fonte: Autoria Própria.

Uma das descobertas desse estudo é que no geral está ficando cada vez mais quente. Em algumas regiões como a campanha e fronteira oeste esse aumento, apresentando um aumento de $0,4^{\circ}C$ UTCI durante os 40 anos, sendo menor que na região noroeste e a região costeira da lagoa dos patos, onde o aumento chega a $1^{\circ}C$ UTCI. Por mais que tenha tido um aumento pequeno em números, mas ainda é um efeito significativo para o clima no RS.

4.3.2 Tendência do UTCI a cada década

Após o entendimento geral da tendência, foi feita a análise a cada 10 anos, para ver em qual época teve a maior mudança, sendo representada pela figura 16:

Figura 16 – Tendência do UTCI a cada década.



Fonte: Autoria Própria.

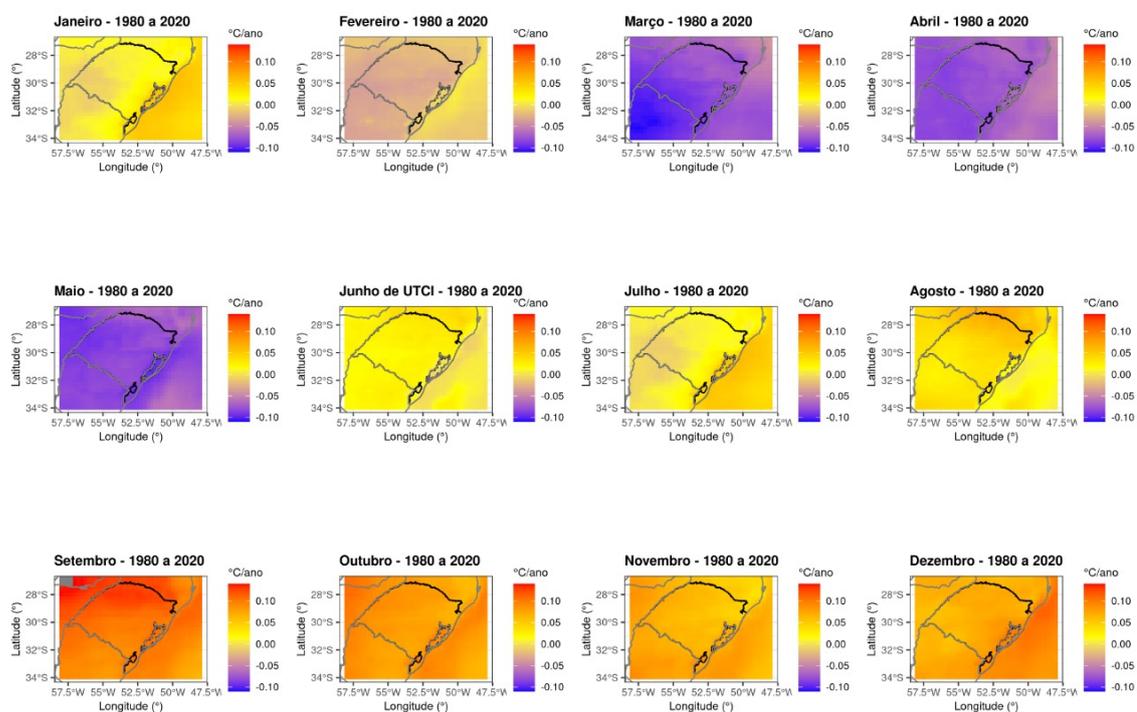
Um fato interessante é de que a tendência do conforto térmico de 1980 a 2010 é que o clima no Estado não mudou nada e inclusive chegou a diminuir de temperatura em algumas regiões, principalmente da região costeira e campanha.

Porém de 2010 a 2020 foi onde teve a maioria das mudanças, chegando a mudar 2 °C durante esses 10 anos. A peculiaridade é que isto foi uma mudança em todo o território do Estado, não podendo ser algo específico das cidades como a urbanização, poluição e indústrias, visto que isso só afetaria no microclima, e assim teria-se pontos com valores de UTCI altos no mapa, e não um incremento total do território do Estado. Tendo que ser algo relacionado a como o planeta Terra tem alterado nesse período.

4.3.3 Tendência do UTCI mensal durante os 40 anos

Por fim, foi feita a análise da tendência mensal durante os 40 anos, sendo possível a análise de como cada estação do ano está mudando, sendo representada pela figura 17:

Figura 17 – Tendência mensal do UTCI durante os 40 anos.



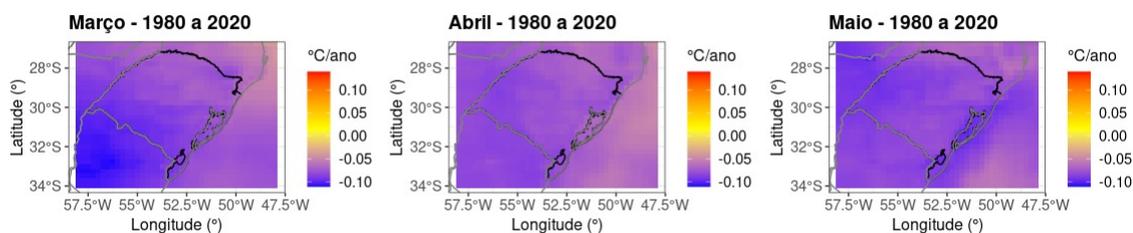
Fonte: Autoria Própria.

A figura 17 apresenta os resultados mais significativos da pesquisa, porque temos as estações onde naturalmente são mais amenas (outono e primavera), sendo as que possuem as maiores variações anuais.

4.3.3.1 Tendência nos outonos

A seguir é apresentado qual é a tendência do outono durante os 40 anos analisados, sendo representada pela figura 18:

Figura 18 – Tendência do UTCI durante os outonos.



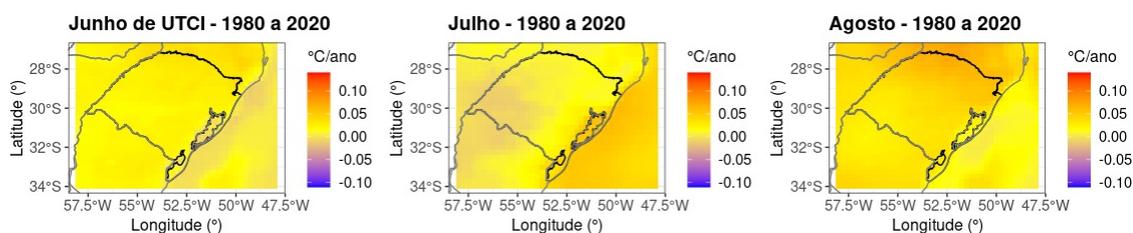
Fonte: Autoria Própria.

A estação de outono é o resultado mais interessante de toda a pesquisa, porque segundo os mapas de tendência, os meses que compõem o outono estão com a tendência de ficarem mais frios ao invés de mais quentes, apresentando em todo o mapa valores negativos de UTCI, com o mês de março para região da campanha totalizando a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante os 40 anos.

4.3.3.2 Tendência nos invernos

A seguir é apresentado qual é a tendência do inverno durante os 40 anos analisados, sendo representada pela figura 19:

Figura 19 – Tendência do UTCI durante os invernos .



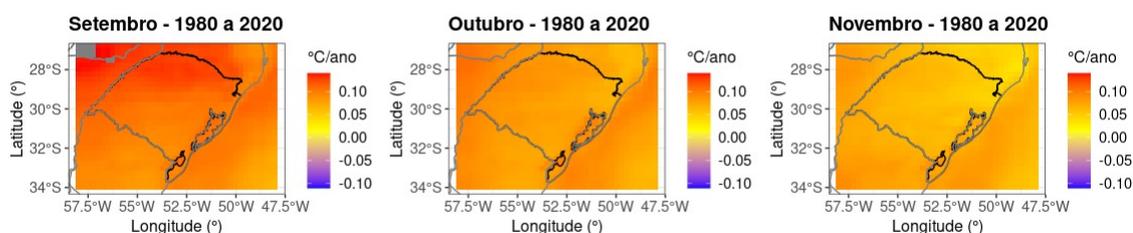
Fonte: Autoria Própria.

Para a estação de inverno, segundo os mapas de tendência, essa estação apresenta um leve aumento no valor de UTCI durante os 40 anos, com o mês de agosto apresentando o maior aumento, sendo assim a estação que obteve as menores mudanças.

4.3.3.3 Tendência nos primaveras

A tendência da primavera durante os 40 anos analisados é representada pela figura 20:

Figura 20 – Tendência do UTCI durante os primaveras.



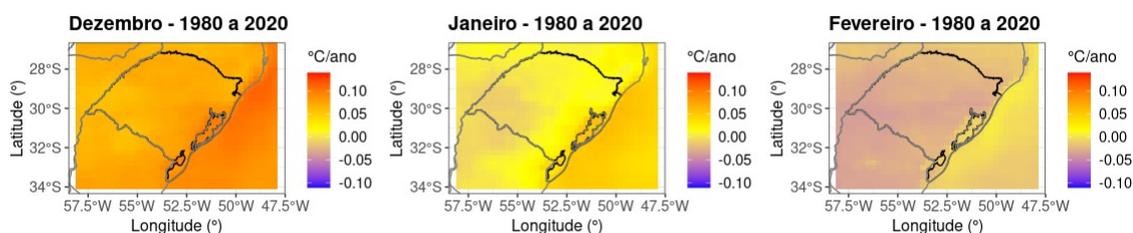
Fonte: Autoria Própria.

A estação da primavera teve resultados esperados, apresentando uma tendência no aumento nos valores do UTCI, sendo o mês de setembro com o maior aumento, chegando a valores de $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ de incremento durante os 40 anos.

4.3.3.4 Tendência nos verões

Por fim, a tendência do verão durante os 40 anos analisados está representada pela figura 21:

Figura 21 – Tendência do UTCI durante os verões.



Fonte: Autoria Própria.

Para a estação de verão, segundo os mapas, a tendência é de que o mês de dezembro aumente o valor do UTCI e o mês de fevereiro diminua o valor do UTCI, e janeiro não apresentou nem aumento nem declínio. No geral, a estação de verão não teve grandes mudanças.

4.3.4 Discussão sobre as tendências

Após a visualização dos mapas da tendência do UTCI, apresentados anteriormente, conclui-se que:

- A tendência geral nos últimos 40 anos, foi a de que os valores de UTCI estão aumentando, impactando no desconforto térmico sentido, principalmente nas estações onde naturalmente é mais quente (primavera e verão).
- Grande parte do aumento dessa tendência veio nos últimos 10 anos do estudo, fato esse que não pode estar ligado apenas ao avanço do próprio RS. Esse aumento está relacionado com todo o globo, já que estudos mostram que os maiores aumentos de temperatura vieram a partir de 2000, explicando o grande aumento desproporcional com os outros 30 anos.
- A tendência é de que os outonos estão ficando mais frios, enquanto que as primaveras estão ficando mais quentes. Entende-se, por isso, que, em algum momento no futuro, o ano não apresentará mais 4 estações bem definidas (outono, inverno, primavera e verão), e sim 2 estações, sendo uma caracterizada pelo calor e a outra pelo frio.

5 CONCLUSÃO

O clima do RS tem sofrido com o aquecimento global, com um avanço mais expressivo nos últimos 10 anos, e segundo estudos, a emissão de dióxido de carbono do globo é maior que os processos naturais conseguem absorver. Caso isso não seja resolvido e a emissão continue a aumentar, a tendência é de que o aumento de temperatura continue influenciando diretamente no conforto térmico do RS, além de aumentar as chances de acontecerem eventos extremos, como secas e temporais.

Porém, por mais que a temperatura aumente consideravelmente com o passar dos anos, ainda teremos períodos de frio e calor cada vez mais intensos. Assim, é imprescindível que se busquem alternativas para solucionar e/ou ao menos amenizar a influência climática na vida das pessoas. As soluções arquitetônicas propostas ainda terão que prevenir esses aumentos de temperatura dos períodos de calor e as baixas temperaturas nos períodos de frio. Desenvolver métodos sustentáveis para amenizar esse problema é uma solução. Construções mais ventiladas, com isolamento, maneiras de obter ganho solar, áreas com cobertura verde, os materiais e os tipos de estruturas utilizados nas construções, são exemplos que devem ser estudados e aprimorados para que se obtenha cada vez mais conforto e satisfação das pessoas e conseqüentemente uma melhor qualidade de vida.

É imprescindível trabalhar com a ventilação e iluminação natural, observar a orientação solar, adotar estratégias de ventilação cruzada, bem como com o uso adequado de materiais que auxiliem na inércia térmica e com elementos compositivos pontuais, como vegetação interna, espelhos d'água, entre outros.

A variável UTCI utiliza variáveis climáticas (temperatura do ar, vento, umidade, radiação), sendo assim, ela não é capaz de representar 100% como é o clima presenciado em ambientes urbanos, visto que nesses ambientes se tem uma grande produção de calor (carros, edifícios, indústrias), e materiais como concreto, asfalto e vidro com altos valores de inércia térmica, por fim, ainda se tem os efeitos gerados pelas ilhas de calor. Com isso, presume-se que o desconforto térmico por calor em ambientes urbanos seja mais alto que os valores apresentados nesse estudo.

Portanto, através das análises dos dados apresentados no presente trabalho, conclui-se que somente com um bom planejamento dos elementos e ambientes urbanos será possível reduzir o impacto das constantes e profundas alterações climáticas, para permitir uma melhor qualidade de vida para as futuras gerações.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

Após todo esse estudo feito com os valores de UTCI, sugiro que seja feito um estudo que relacione o aumento do UTCI com o aumento populacional do Rio Grande do Sul.

Também seria interessante analisar qual é a influência os efeitos do El Niño e da La

Niña sobre ps valores de UTCI, e caso haja, correlacionar os maiores e menores valores com os anos desses tais fenômenos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. R.; BARDUCO, G. L. Análise da influência da continentalidade e maritimidade em municípios brasileiros localizados em uma mesma latitude. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, v. 14, p. 1–10, 2011.

ASHRAE, A. et al. Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy. **Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, 2010.

ASSIS, E. S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista de Urbanismo e Arquitetura**, v. 7, n. 1, 2006.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. et al. Thermal comfort. In: PLEA SL. [S.l.], 1997.

BARTHOLOMEI, C. L. B. Influencia da vegetaf; ao no conforto termico urbano e no ambiente construido. 2003.

BŁAŻEJCZYK, K. et al. An introduction to the universal thermal climate index (utci). **Geographia Polonica**, IGiPZ PAN, v. 86, n. 1, p. 5–10, 2013.

CHEN, L.; NG, E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. **Cities**, Elsevier, v. 29, n. 2, p. 118–125, 2012.

DEAR, R. D. Thermal comfort in practice. **Indoor air**, v. 14, n. s 7, p. 32–39, 2004.

Estado do Rio Grande do Sul. **Atlas sócio-econômico do estado do Rio Grande do Sul**. [S.l.]: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria de Coordenação e Planejamento, 2006.

FANGER, P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. **Occupational and Environmental Medicine**, BMJ Publishing Group Ltd, v. 30, n. 4, p. 313–324, 1973.

FERREIRA, D. G.; FERREIRA, C. M. O.; ASSIS, E. Classificação de rugosidade em tecido urbano. parte ii: aplicação em caso de estudo-cidade de belo horizonte, mg. In: **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. [S.l.: s.n.], 2010.

FIALA, D. et al. Utc-fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. **International journal of biometeorology**, Springer, v. 56, n. 3, p. 429–441, 2012.

FROTA, A. B. **Manual de conforto térmico**. [S.l.]: Studio Nobel, 2006.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. [S.l.]: Oficina de textos, 2011.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente construído**, v. 6, n. 4, p. 51–81, 2006.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of climate**, v. 11, n. 11, p. 2863–2880, 1998.

HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Wiley Online Library, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.

JENDRITZKY, G.; DEAR, R. de; HAVENITH, G. UtcI—why another thermal index? **International journal of biometeorology**, Springer, v. 56, n. 3, p. 421–428, 2012.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. Desempenho térmico de edificações. **Universidade Federal**, 2000.

LAMBERTS, R. et al. Conforto e stress térmico. **LabEEE, UFSC**, 2011.

LAN, L. et al. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. **Indoor air**, Wiley Online Library, v. 21, n. 5, p. 376–390, 2011.

NAPOLI, C. D. et al. ERA5-heat: A global gridded historical dataset of human thermal comfort indices from climate reanalysis. **Geoscience Data Journal**, Wiley Online Library, v. 8, n. 1, p. 2–10, 2021.

OLESEN, B. W. **Thermal comfort**. [S.l.]: Bruel & Kjaer, 1982. v. 2.

ORMANDY, D.; EZRATTY, V. Thermal discomfort and health: protecting the susceptible from excess cold and excess heat in housing. **Advances in Building Energy Research**, Taylor & Francis, v. 10, n. 1, p. 84–98, 2016.

PHILANDER, S. El Niño and La Niña. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 42, n. 23, p. 2652–2662, 1985.

SUL, R. G. do. Secretaria dos transportes. **Plano Estadual de Logística e Transportes do Rio Grande do Sul (PELT-RS)—Termo de referência. 2012a. Disponível em: <<http://www.pelt-rs.seinfra.rs.gov.br/images/pdf/relatoriop8.pdf>>. Acesso em, v. 1, 2017.**

THORSSON, S. et al. Mean radiant temperature—a predictor of heat related mortality. **Urban Climate**, Elsevier, v. 10, p. 332–345, 2014.

VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. [S.l.]: Editora da UFRGS, 2012.