

## ÍNDICE DE TEMPERATURA RESULTANTE (TR) NO ZONEAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO DO RIO GRANDE DO SUL

João Paulo Assis Gobo  
Universidade de São Paulo  
jpgobo@usp.br

Emerson Galvani  
Universidade de São Paulo  
egalvani@usp.br

### CLIMATOLOGIA: APORTES TEÓRICOS, METODOLÓGICOS E TÉCNICOS.

#### Resumo:

Mais do que qualquer outro elemento na Terra, o clima afeta a saúde humana de maneira decisiva. O homem responde às mudanças de tempo, sendo que várias doenças são induzidas pelo clima, bem como este determina o conforto fisiológico do homem através da temperatura, do vento e da umidade. Percebe-se, portanto, que o bem-estar de um indivíduo, do ponto de vista climático, está diretamente ligado às características ambientais em que este está inserido. Sendo assim, fatores geográficos como a altitude, a latitude, o tipo de solo, uso do solo, a continentalidade e a maritimidade determinam o clima de um determinado local e conseqüentemente a existência, ou não, de conforto térmico neste ambiente. Tendo em vista a interrelação homem x clima, a presente pesquisa realizou um zoneamento do conforto térmico para o Rio Grande do sul a partir da série de dados da 3<sup>o</sup> Normal Climatológica, utilizando-se do Índice de Temperatura Resultante (TR) para o cálculo do conforto. Os resultados apresentaram distintas zonas de conforto e desconforto térmico no território do Estado, as quais estão fortemente associadas com as condições do relevo deste.

**Palavras-Chave:** Conforto Térmico; Índice de Temperatura Resultante; Zoneamento.

#### Abstract:

More than any other element on earth, climate affects human health in a decisive manner. Mankind responds to the weather changes, and several diseases are induced by climate, as well as this determines the physiological comfort of man through the temperature, wind and humidity. It is clear, therefore, that an individual welfare, in terms of climate, is directly connected to the environmental characteristics in which it is inserted. Therefore, geographical factors such as altitude, latitude, soil type, land use, and the continentality maritimidade determine the climate of a particular place and hence the existence or not of thermal comfort in this environment. Considering the interrelation man x climate, this research conducted a zoning thermal comfort for the Rio Grande do Sul from the data series of the 3<sup>rd</sup> Normal Climatological, using the Resultant Temperature Index (RT) for the comfort calculation. The results showed distinct comfort zones and thermal discomfort in the State, which are strongly associated with the conditions of this relief.

**Key-Words:** Thermal Comfort, Temperature Index Resulting; Zoning.

## 1-INTRODUÇÃO

Para se realizar um estudo que envolva o conforto térmico deve-se ter como objetivo a obtenção de condições ambientais que proporcionem neutralidade térmica a um maior número de pessoas possíveis (Funari, 2006). Quando, a partir de uma condição de equilíbrio, o ambiente externo sofre uma mudança térmica, a energia interna do corpo tenderia a uma variação. No entanto, em função do sistema

termorregulador, o corpo tende a estabilizar-se com o meio com a finalidade de manter o equilíbrio térmico através de uma ação fisiológica (suor, por exemplo).

Quando esta ação não é capaz de manter a temperatura interna, atinge-se uma situação que pode ser prejudicial à saúde (Jabardo, 1984).

Tendo em vista a capacidade dos seres humanos se adaptarem fisiologicamente a determinados ambientes é que se procura analisar os meios pelos quais não sofrerão desequilíbrio térmico e manterão seu corpo em neutralidade térmica, alcançando, com isso, situação de conforto.

O conforto térmico é definido pela norma da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) como “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. Assim, conforto térmico é um conceito subjetivo, depende da pessoa (JABARDO, 1984).

Em seu trabalho Teoria e Clima Urbano, Monteiro (1976) chama atenção para o Sistema Clima Urbano que é caracterizado por vários graus de hierarquia funcional e diferentes níveis de resolução, estando esses últimos ligados à percepção humana. Dessa forma, o autor estabeleceu canais de percepção associados intimamente aos principais níveis de resolução dos sistemas, separando, assim, os grandes conjuntos de fenômenos dentro do universo climático.

Dentro dessa lógica, o referido autor define os seguintes canais de percepção: Canal conforto térmico - associado aos os componentes termodinâmicos do clima de forma integrada; Canal qualidade do ar – associado aos aspectos Físico-Químicos; e o Canal impacto meteórico – associado aos fenômenos hidrometeórico (Chuvas, neve, granizo) (MONTEIRO 1976).

A presente pesquisa, no entanto, tratará apenas do que se refere às componentes do canal do conforto térmico (Termodinâmico), que segundo Monteiro (1976) não só conduzem ao referencial básico para a noção do conforto térmico como são a constituição do nível fundamental de resolução climática para onde convergem e se associam todas as outras componentes.

O objetivo do presente trabalho é realizar o zoneamento do conforto térmico para o Rio Grande do Sul a partir da série de dados da terceira Normal Climatológica correspondente aos anos 1961 a 1990, fazendo uso de dados de temperatura e umidade relativa do ar e do índice de Temperatura Resultante.

## **2- REFERÊNCIAL TEÓRICO CONCEITUAL**

Por volta de 400 a.C já existia a ideia de adequação climática, sobre construir para garantir o Conforto Térmico. Vitruvius (século 1 aC) também escreveu acerca da necessidade de considerar o clima nos projetos de edifícios, para motivos de saúde e conforto. Porém, até a Revolução Industrial o Conforto Térmico não foi uma questão prática devido à falta de ferramentas a disposição para as medições e verificações deste (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1999).

Porém, a Tecnologia de aquecimento passou a melhorar a partir do final do século 18 e a refrigeração mecânica tornou-se uma possibilidade no início do século 20. Embora Heberden (início do

século 19) reconheceu que a temperatura do ar não fosse apenas a única variável determinante da sensação térmica, e que a umidade é um fator contribuinte, o primeiro estudo sério tratando de conforto (especialmente o efeito de temperaturas elevadas) foi realizada por Haldane na Inglaterra em 1905.

O impulso para as pesquisas em conforto vieram por meio da engenharia. No início dos anos 1920 Houghten e Yagloglou (1923) no ASHVE (American Laboratórios da Sociedade de Engenheiros de Aquecimento e Ventilação) tentaram definir a "zona de conforto".

Mas foi durante e após a 2ª Guerra Mundial que aumentaram as atividades de pesquisa e muitas disciplinas se envolveram no tema, além da engenharia, a fisiologia, medicina, geografia e climatologia trataram de estudar o Conforto Térmico em suas respectivas áreas.

Assim, na explicação de conforto térmico, normalmente um ponto de partida é o equilíbrio térmico do corpo. Uma pessoa se encontra confortada termicamente, quando todo o calor produzido, ou ganho pelo corpo humano, for igual à quantidade de calor perdido ao meio exterior, pelo mesmo corpo e na mesma proporção, afim de o corpo manter um balanço de energia. As sensações de conforto variam de pessoa para pessoa, portanto, pois cada pessoa reage de maneira diferente em relação ao estado do tempo e do clima (NEDEL, 2009).

O conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ), umidade relativa (UR), temperatura do ambiente ( $t_a$ ) e velocidade relativa do ar ( $v_r$ ) com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas.

Desta forma, o ponto de partida para o conhecimento do Conforto Térmico é a caracterização de modelos de conforto térmico que procuram montar um arcabouço teórico a cerca das variáveis envolvidas no estudo. Com a finalidade de quantificar o comportamento humano ante o ambiente térmico, de acordo com o modelo teórico em estudo, são definidos os índices que expressam esta relação de causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno.

Percebe-se, portanto, que o bem-estar de um indivíduo, do ponto de vista climático, está diretamente ligado às características ambientais em que este está inserido. Sendo assim, fatores geográficos como a altitude, a latitude, o tipo de solo, uso do solo, a continentalidade e a maritimidade determinam o clima de um determinado local e conseqüentemente a existência, ou não, de conforto térmico neste ambiente.

No caso do Rio Grande do Sul, não se verificam grandes contrastes entre as suas diferentes regiões no que diz respeito às condições meteorológicas prevalentes, que têm participação de diferentes sistemas atmosféricos quanto à sua gênese e região de origem, e a sucessão do tempo é muito bem definida quando comparada ao restante do Brasil (SARTORI, 1979).

Devido às características particulares de cada região do Estado, as diferenças térmicas e higrométricas entre elas podem se apresentar distintas, o que pressupõe que os índices de conforto térmico podem variar de acordo com a posição e os atributos geográficos de determinada região.

### 3- METODOLOGIA

Para se estabelecer um índice de conforto térmico em uma determinada região é necessário estipular uma classe de conforto adequada aos padrões climáticos do local determinado, bem como dos padrões fisiológicos e individuais de seus habitantes.

Um dos maiores problemas no uso de índices de conforto térmico é a falta de consenso entre os autores, sobre o que é a zona de conforto. Esta zona pode variar de acordo com a região, estação do ano e outros fatores ligados a cada indivíduo e, portanto subjetivos.

Na prática para se obter uma escala de faixas perfeita há necessidade de trabalhos (inclusive experimentos de laboratório), que considerem a atividade física, roupa, sexo, forma do corpo, gordura subcutânea, estado de saúde, alimentação e cor da pele (Carmona, 1984).

Para tal, utilizou-se das normais climatológicas do Estado do Rio Grande do Sul, obtidas através da Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias (FEPAGRO/RS), as quais foram submetidas ao cálculo do índice de Temperatura Resultante (Missenard, 1948):

$$TR = Ts - 0,4 (Ts - 10) (1 - UR / 100)$$

Em que,

TR = temperatura resultante (°C)

Ts = temperatura do ar (bulbo seco) (°C)

UR = umidade relativa do ar (%)

Em virtude da necessidade de se estabelecer uma classe adequada aos padrões climatológicos do Rio grande do Sul demandaria de um maior conhecimento de determinadas variáveis, o que ainda esta sendo realizado nesta pesquisa, optou-se por adotar para o Rio Grande do Sul a classificação estabelecida por Funari (2006), para o estado de São Paulo com base no Índice de Sensação Térmica. Porém o índice empregado no cálculo de conforto foi o índice de Temperatura Resultante, devido a este ter sido o de menor erro na obtenção dos resultados e o qual se dispunha de dados compatíveis tais como Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa do Ar.

A tabela a seguir (Quadro 1) permite visualizar as onze faixas de sensação Térmica, desenvolvidas por Funari (2006):

Quadro 1: Classes do Índice de Sensação Térmica

Classe	IST (Celsius)	Sensação térmica	Resposta fisiológica
1	Menor que 6,0	Resfriamento muito elevado	Estresse térmico pelo frio
2	6,0 a 8,9	Resfriamento elevado	Estremecimento forte
3	9,0 a 11,9	Frio	Estremecimento
4	12,0 a 14,9	Desconforto pelo frio	Vaso constrição
5	15,0 a 17,9	Leve desconforto pelo frio	Ligeiro resfriamento do corpo

6	18,0 a 20,9	Limite inferior –zona conforto	Conforto térmico
7	21,0 a 23,9	Centro zona de conforto	Conforto térmico
8	24,0 a 26,9	Limite superior – zona conforto	Conforto térmico
9	27,0 a 29,9	Leve desconforto pelo calor	Transpiração fraca - vasodilatação
10	30,0 a 32,9	Desconforto pelo calor	Transpiração intensa
11	maior que 33,0	Aquecimento elevado	Problemas de regulação

Em seguida foram determinados os índices de Temperatura Resultante para os dados das normais climatológicas do Rio Grande do Sul e estes foram espacializados no mapa do Estado de acordo com a classificação da tabela acima.

### 3- ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma análise mais didática dos resultados a figura 1 apresenta a compartimentação geomorfológica do Rio Grande do Sul, que é fortemente condicionada pela geologia regional, o pode ser dividida em cinco (5) regiões: Planalto da Bacia do Paraná, Planície Litorânea, Escudo Sul-Rio-grandense, Depressão Periférica Sul-Rio-grandense e Cuestas de Haedo. As altitudes máximas no Estado ultrapassam a cota de 1200 metros acima do nível do mar principalmente no limite com o Estado de Santa Catarina, no Planalto da Bacia do Paraná, e constitui-se num grande fator climático, principalmente no controle das precipitações e da temperatura (Figura 1).

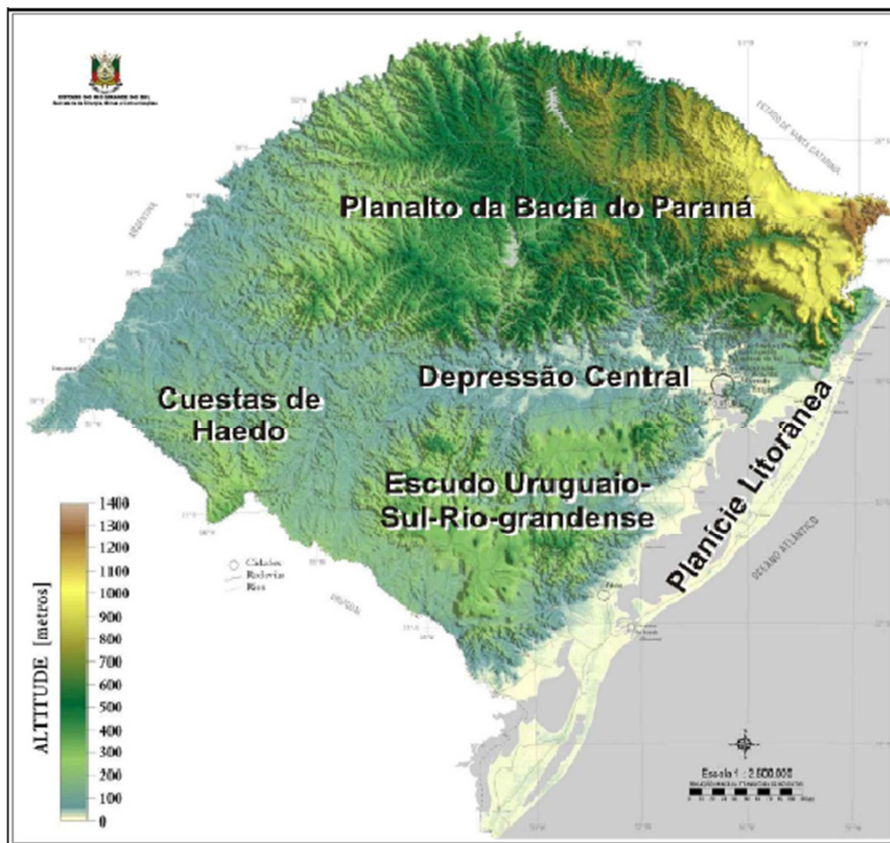


Figura 1: Altimetria e compartimentos geomorfológicos do Rio Grande do Sul.  
 Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (SEMA, 2010). Org: GOBO, J. P. (2011).

Analisando os mapas do zoneamento do conforto térmico para a série de normais climatológicas do Rio Grande do Sul, verifica-se um padrão de áreas de maior desconforto térmico nas regiões do vale do Rio Uruguai e da Depressão Periférica Sul-rio-grandense, onde os padrões de relevo caracterizam-se por regiões baixas, quase ao nível do mar, porém no interior do continente, onde as amplitudes térmicas são mais acentuadas e o aquecimento é mais intenso que nas demais áreas elevadas (Figura 2).

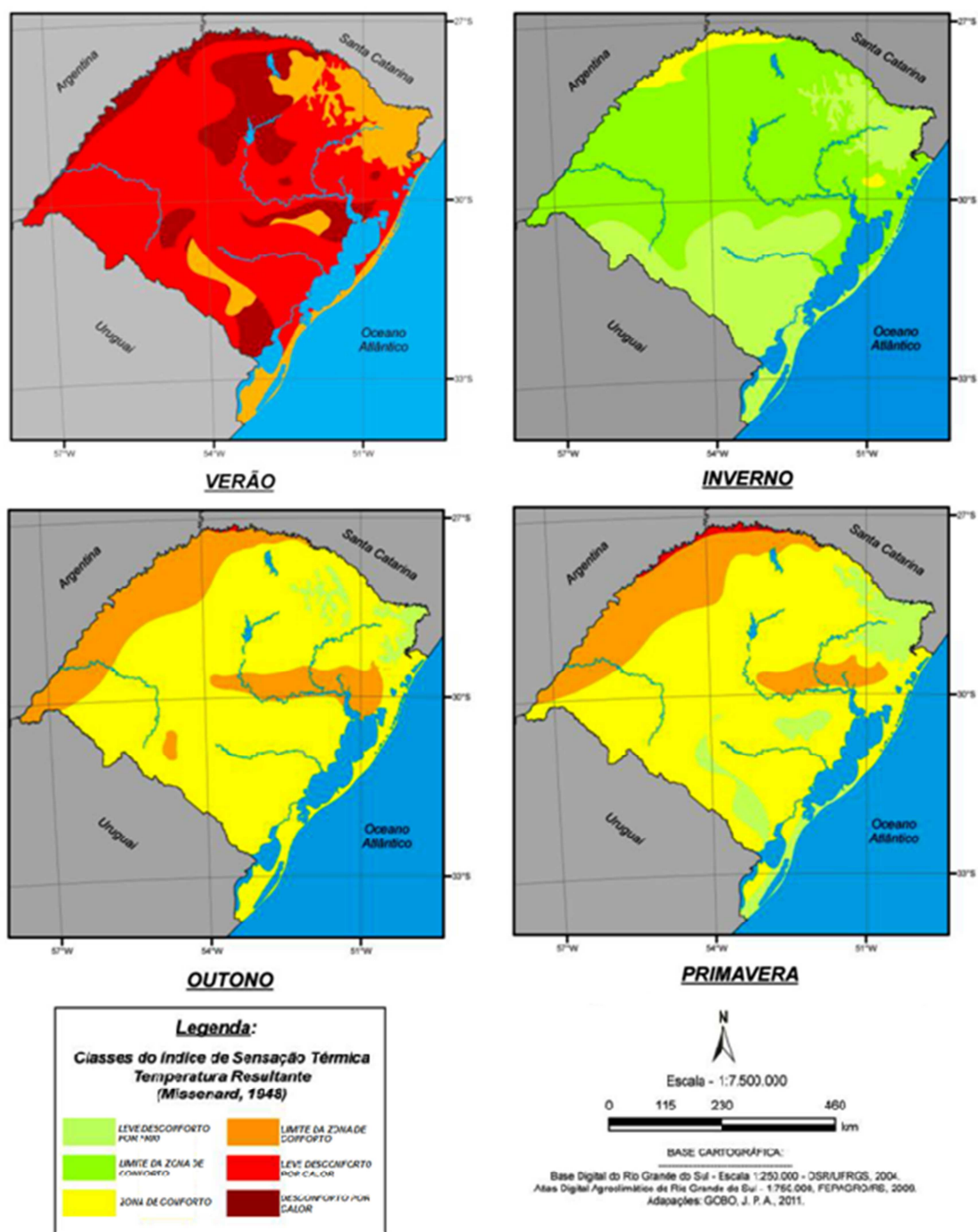


Figura 1: Zoneamento do Conforto Térmico para o Estado do Rio Grande do Sul com base nas Normais Climatológicas (FEPAGRO).

Fonte: FFEPAGRO/RS (1989)  
 Org: GOBO, J. P. (2011).

O padrão das classes de conforto no Rio Grande do Sul apresentam similares nos períodos de outono e primavera, fato este que se explica por estas estações serem de transição entre períodos frios e quentes.

O verão apresenta classes de desconforto por calor mais heterogeneamente espalhadas pelo estado, com exceção da serra e da região do Escudo Sul-riograndense, onde as altitudes são mais elevadas. As regiões de maior desconforto por calor ocorrem no Planalto Médio e novamente nas regiões do Vale do Rio Uruguai e da Depressão Central.

Na estação do inverno a espacialização do conforto é mais homogênea em todo o território gaúcho, sendo que praticamente todo o estado está dentro da faixa de limite inferior da zona de conforto e dentro da zona de conforto (classes 6 e 7, respectivamente). Isto só não se aplica novamente as regiões da Serra Geral do Escudo e da campanha gaúcha.

Ressalta-se que neste estudo foram utilizadas apenas 6 classes das 11 apresentadas por Funari (2006). Fato este que se deu por o Rio Grande do Sul apresentar médias mensais e anuais de temperatura mais baixas que São Paulo, fazendo com que alguns extremos das classes não apresentem-se nos mapas analisados.

#### **4- CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Na aplicação dos índices de conforto térmico para os dados das normais climatológicas do Rio Grande do Sul, o índice de temperatura resultante (IR) foi o que apresentou a melhor distribuição espacial dos resultados.

Por fim, verificou-se que é perceptível uma relação entre as classes de conforto cartografadas e o relevo do estado, fato este notável quando se verificam as classes de desconforto por frio nas regiões mais elevadas como a da Serra Geral e faixas de desconforto por calor nas regiões mais baixas, tais como o Vale do Rio Uruguai e a Depressão Periférica. Porém, para o estudo e aplicação dos índices de conforto térmico em espaços abertos ainda é necessária uma maior revisão da literatura, a fim de se encontrar uma metodologia que possibilite a realização destes estudos levando em consideração toda a dinâmica climatológica envolvida neste tipo de análise, uma vez que se trabalha com áreas sem nenhuma restrição ou controle climático. No entanto, a elaboração de uma nova metodologia, baseada em análises mais aprofundadas a respeito dos índices de conforto térmico e do clima local do Rio Grande do Sul, pode ser uma solução para a resolução desta problemática.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASHRAE (American Society of Heating and Air Conditioning Engineers) Handbook Fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 1993. Cap. 8: Physiological principles for comfort and health, p.8.1- 8.32.

ASHRAE /IES 90.1-1989 Energy efficient design of new buildings except low-riseresidential buildings 1791 Tullie Circle, NE. Atlanta , GA 1989.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V., Thermal comfort. PLEA Notes, Brisbane (Australia), PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland, 1999.

CARMONA,L.S.; Human comfort in the urban tropics . pp.354-405. IN: **Technical Conference on the urban climatology and its applications with special regard to the tropical areas**. WMO - num. 652- 26-30-november-1984 México. 534 p.

FUNARI, F. L. O Índice de Sensação Térmica Humana em função dos tipos de tempo na Região Metropolitana de São Paulo. **Tese de Doutorado em Geografia Física**. Universidade de São Paulo, 2006.

HOUGHTEN, F.C.; YAGLOU, C.P. Determining lines the equal comfort , and Determination of the comfort zone. In: ASHVE Transactions, v.29 , 1923.

JABARDO, J. M. S. **Conforto térmico**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo,. v. 1. p. 21, 1984.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 181p. (Série Teses e Monografias, 25). 1976.

MISSENARD, H. **Equivalence Thermique dès Ambience**. Chaleur et Industrie, 24; p.159-183. 1948.

NEDEL, A.; GONÇALVES, F. L. T.; ALVES, M. R. C.; OYOLA, P. T., Evaluation of thermal simulation of households in the metropolitan region of São Paulo, Brazil. *Ecotoxicology (London)*, v. 18, p. 1143-1149, 2009.

SARTORI, M. G. B. O Clima de Santa Maria: do regional ao urbano. 1979. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Regiões Hidrográficas do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[www.sema.rs.gov.br](http://www.sema.rs.gov.br)> Acesso em: 19 de fev. 2010.