

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE TEMPERATURA EFETIVA COM VENTO (TE_v) NOS ESTUDOS DE CONFORTO TÉRMICO PARA O ESTADO 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:

A sensação de conforto térmico está associada com o ritmo de troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente. Para realizar um estudo que envolva o conforto térmico deve-se, portanto, ter como objetivo a obtenção de condições ambientais que proporcionem neutralidade térmica a um maior número de pessoas possíveis. A presente pesquisa visou avaliar as condições de conforto térmico para o Rio Grande do Sul através de um zoneamento a partir das médias mensais e sazonais de temperatura, da umidade relativa do ar e velocidade do vento para uma série de 30 anos de dados obtidos a partir do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para isto utilizou-se do Índice de Temperatura Efetiva com Vento (TE_v) para os cálculos do conforto térmico em um banco de dados referentes a série de 1981 a 2010 de 24 estações meteorológicas analisadas. Os resultados obtidos mostraram o predomínio das áreas de desconforto por frio nas regiões onde ocorre maior incidência de ventos no Estado, bem como naquelas onde o relevo é mais elevado. Evidenciou-se, no entanto, que o TE_v não é um índice adequado para ser utilizado em situações de verão e primavera, uma vez que este não representa adequadamente as reais condições de conforto e desconforto térmico ocasionadas por excesso de calor.

Palavras-Chave: Conforto Térmico; Índice de Temperatura Efetiva com Vento; Zoneamento.

Abstract:

The feeling of thermal comfort is associated with the rate of heat exchange between the human body and the environment. To conduct a study involving thermal comfort it is necessary therefore to be aimed at obtaining environmental conditions that provide thermal neutrality with a larger number of people as possible. This study aimed to evaluate the thermal comfort conditions to Rio Grande do Sul by a zoning based on monthly and seasonal temperature, relative humidity and wind speed averages for a series of 30 years of data from database of the National Institute of Meteorology (INMET). For this we used the Index of Effective Temperature with Wind (ET_v) for thermal comfort calculation in a database regarding the series from 1981 to 2010 from 24 weather stations analyzed. The results showed the predominance of discomfort areas for cold regions where there is a higher incidence of winds in the state, as well as those where the terrain is higher. It was evident, however, that ET_v is not a suitable index to be used during summer and spring conditions, since it does not accurately represent the actual conditions of thermal comfort and discomfort caused by excess heat.

Key-Words: Thermal Comfort, Index of Effective Temperature with Wind; Zoning.

1-INTRODUÇÃO

O clima interfere nos processos geomorfológicos, formação dos solos, o crescimento e o desenvolvimento das plantas, bem como influencia de maneira direta a vida do homem, determinando boa parte de suas atividades econômicas, moradia, vestuário, comércio, indústria, e demais atividades.

Sartori (2000) afirma que o clima é a mais importante influência do ambiente físico total sobre as atividades do ser humano. O tipo de vestuário usado, o tipo e quantidade de alimentos ingeridos, a característica das casas em que se vive, os meios de transporte e muitas outras características da vida diária são, de fato, afetados pelo tempo e clima.

O corpo humano reage diferentemente às variações bruscas de temperatura e procura se autorregular a fim de manter em equilíbrio a sua temperatura interna. Os mecanismos termorreguladores existem para manter estável a temperatura interna do corpo, pois com o ganho ou perda de calor pode ocorrer um aumento ou diminuição interna no organismo ocasionando danos à saúde ou até mesmo a morte do indivíduo (Gobo, et. al. 2008).

Vários são os fatores que condicionam a sensação de conforto térmico humano. Neste sentido Monteiro e Alucci (2007) destacam como principais: as variáveis individuais como tipo de atividade, vestuário, aclimação; e as variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade relativa do ar ou pressão parcial de vapor, temperatura média radiante das superfícies vizinhas e a velocidade do ar.

Ainda de acordo com Monteiro e Alucci (Op. Cit) a sensação de conforto térmico está associada com o ritmo de troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente. Neste sentido, o desempenho durante qualquer atividade deve ser otimizado, desde que o ambiente propicie condições de conforto e que sejam evitadas sensações desagradáveis, tais como: dificuldade de eliminar o excesso de calor produzido pelo organismo, perda exagerada de calor pelo corpo, e desigualdade de temperatura entre as diversas partes do corpo. Estas sensações são funções não só das condições ambientais, mas também da capacidade de aclimação ao meio ambiente, dos hábitos alimentares, das atividades, da altura, do peso, do tipo de roupa de cada indivíduo, e até mesmo da idade e sexo.

Para realizar um estudo que envolva o conforto térmico deve-se, portanto, ter como objetivo a obtenção de condições ambientais que proporcionem neutralidade térmica a um maior número de pessoas possíveis. Para tanto, o sistema termorregulador do corpo humano tende a manter constante a energia interna, associada a sua temperatura interior (FUNARI, 2006). Quando, a partir de uma condição de equilíbrio, o ambiente externo sofre uma mudança térmica, a energia interna do corpo tenderia a sofrer uma variação. No entanto, em função do sistema termorregulador, o corpo tende a estabilizar-se com o meio a fim 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 de os seres humanos se adaptarem fisiologicamente a determinados ambientes é que se procura analisar os melhores pelos quais não sofrerão desequilíbrio térmico e manterão seu corpo em neutralidade térmica, alcançando, com isso, situação de conforto.

Assim, a presente pesquisa avaliou as condições de conforto térmico nas escalas regional e sub-regional no Rio Grande do Sul, segundo as médias mensais e sazonais de temperatura, da umidade relativa do ar e velocidade do vento, a fim de estabelecer as áreas de ocorrência ou não de conforto térmico.

2- REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL

Os primeiros trabalhos da relação clima-homem foram baseados no próprio clima como principal fator desencadeador ou inibidor das doenças mais conhecidas e, eram tratados no ramo da Geografia Médica.

Rosen (1979) cita os povos primitivos como Caldeus (4000 a.C), Babilônios (2200 a.C), Assírios (1500 a.C) e Egípcios (3000 – 1000 a.C) como os primeiros praticantes do que viria a se estabelecer como bioclimatologia. De certa forma esses povos utilizavam-se de horóscopos astrológicos e símbolos do zodíaco para determinar o tratamento de enfermidades.

Porém foram os gregos que mais avançaram nos estudos da bioclimatologia humana. Anaximenes (Filósofo Grego, 6° sec. a.C) resumiu os efeitos das mudanças físico-químicas entre o homem e o clima ou o tempo, concluindo que a concentração ou diluição do ar afetava todos os seres vivos (HUNTINGTON, 1934).

Mais recentemente, em meados do século XX quando os estudos da bioclimatologia já firmavam-se bastante consolidados em áreas como a Geografia, a Medicina, a Meteorologia, a Arquitetura e a Biologia.

Sorre (1951), ao discorrer sobre os complexos patogênicos, considera a atmosfera como um “meio microbiano”, uma vez que esta pode ser meio de transmissão de elementos patogênicos sem que haja a intervenção de um vetor. O autor leva em conta também a presença de gases tóxicos e de elementos em suspensão no meio atmosférico, que, segundo ele, devem ser estudados a fim de que se possa estabelecer as devidas correlações entre o clima e as doenças nos seres humanos.

Nos estudos de bioclimatologia humana a termorregulação e o balanço energético são peças chaves para o entendimento da relação homem x ambiente. O corpo humano produz continuamente calor e este calor metabólico pode ser de dois tipos: metabolismo basal e metabolismo muscular.

O calor produzido deve ser dissipado para o meio, ou uma mudança na temperatura do corpo irá ocorrer. A temperatura corporal profunda é de cerca de 37°C, ao passo que a temperatura da pele pode variar entre 31°C e 34°C sob condições de conforto.

Segundo Crichfield (1960) o equilíbrio de calor do corpo humano pode ser expresso pela equação:

$$M + R - C - E = 0$$

Onde,

M = calor metabólico C = condução

E = evaporação. R = radiação

Esta equação deverá ter resultado zero.

Assim, o sucesso do funcionamento dos organismos vivos depende do seu relacionamento com o ambiente externo.

Neste caso, tratando-se mais especificamente da presente pesquisa, esta relação entre o conforto e o ambiente externo é tratada na forma de um zoneamento do conforto térmico para o estado do Rio Grande do Sul, a partir das médias mensais e sazonais de temperatura, da umidade relativa do ar e velocidade do vento.

O zoneamento bioclimático do ponto de vista da arquitetura e do conforto, permite identificar áreas geográficas com condições climáticas similares, onde o projeto arquitetônico, mediante a aplicação de estratégias de condicionamento natural, pode promover conforto térmico aos seus usuários, reduzir a demanda da de energia para calefação ou refrigeração e evitar impactos prejudiciais a saúde humana (EVANS, 2003).

No entanto, nas ciências agronômicas o zoneamento é explorado com maior enfoque e frequência. Porém, o zoneamento com finalidade de uso para as atividades agrícolas possui algumas classificações quanto ao objetivo proposto e resultados alcançados. Pereira; Angelocci; Sentelhas (2000), e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010), estabeleceram que o zoneamento voltado para as atividades agrícolas podem ser divididos em quatro categorias: Zoneamento Agroclimático; Zoneamento Agrícola; Zoneamento Agroecológico ou Edafoclimático; Zoneamento de Riscos Climáticos.

Quando se trata de zoneamento do Conforto Térmico, propriamente dito, são poucos os trabalhos que se dedicam a esta problemática, uma vez que o conforto térmico, por ser um conceito subjetivo, isto é, depende da pessoa, torna-se uma característica ambiental difícil de ser analisada.

3-MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa foram utilizados dados meteorológicos referentes à temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, para uma série de tempo de 30 anos, correspondentes aos anos compreendidos entre 1981 a 2010.

Os dados utilizados foram coletados de 23 redes de estações meteorológicas, sendo estas de responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Figura 1 e Quadro 1).

Após a obtenção das médias mensais e sazonais de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, os dados foram submetidos ao cálculo do Índice de Temperatura Efetiva com Vento - TE_v (SUPING *et. al.*, 1992) com uso da seguinte fórmula:

$$TE_v = 37 - \frac{(37 - T)}{[0,68 - 0,0014RH + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}]} - 0,29T(1 - \frac{RH}{100})$$

Em que:

T é a temperatura do ar em °C;

RH é a umidade relativa em %;

v é a velocidade do vento em m/s (medida a 10 metros de altura);

TE_v é a temperatura efetiva em função do vento em °C.

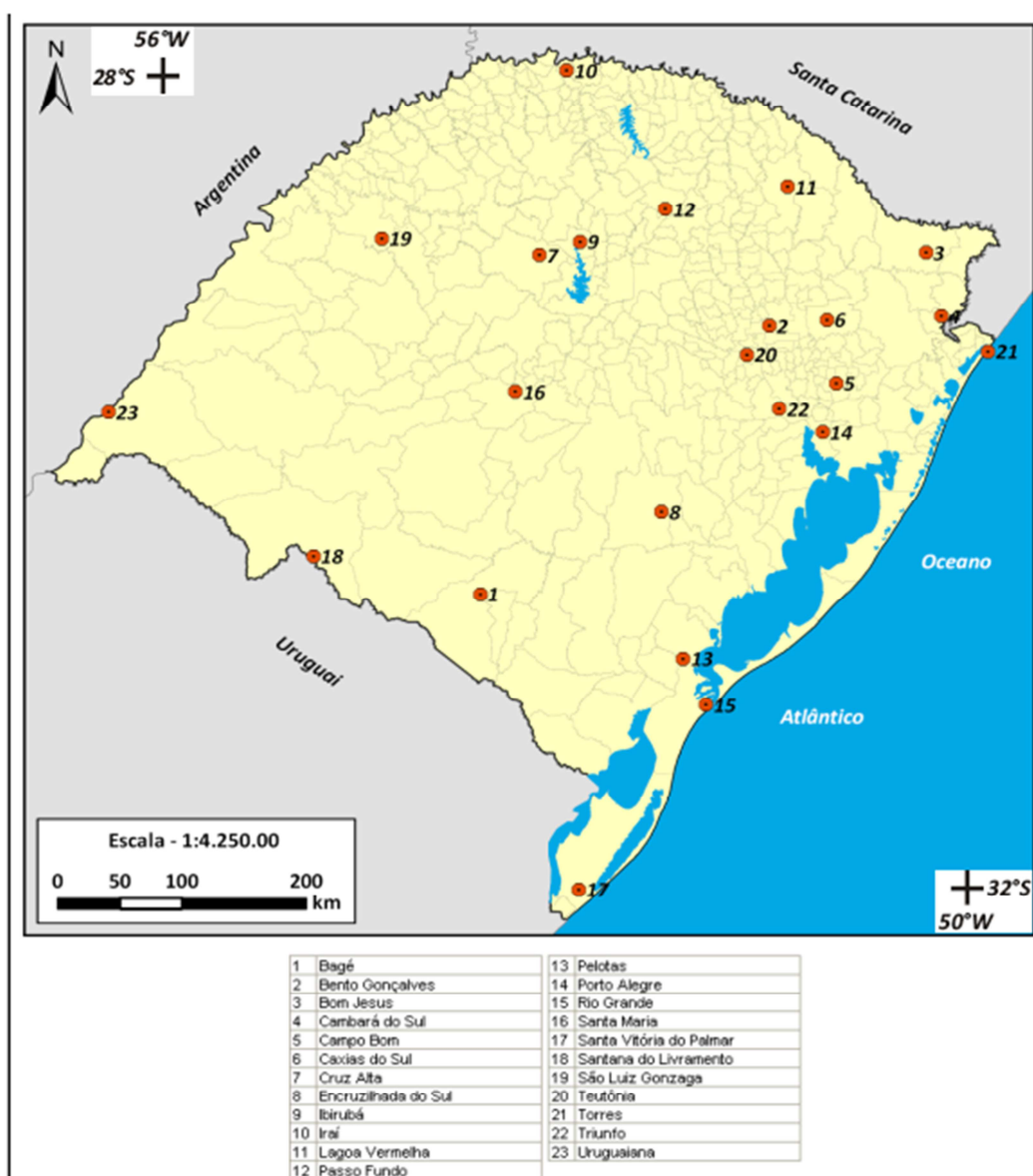


Figura 1: Mapa de localização da rede estações meteorológicas do INMET utilizadas na pesquisa.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2011).

Org.: GOBO. J. P. A. (2011).

Quadro 1 – Localização das Estações Meteorológicas do INMET.

Estações Meteorológicas	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Série	Fonte
Bagé	31°20'S	54°06'W	242,31m	1981 - 2010	INMET - EMBRAPA
Bento Gonçalves	29°09'S	51°31'W	640m	1981 - 2010	INMET - EMBRAPA
Bom Jesus	28°40'S	50°26'W	1047,5m	1981 - 2010	INMET
Cambará do Sul	29°03'S	50°08'W	905m	1998 - 2010	INMET - FEPAGRO
Campo Bom	29°41'S	51°03'W	25,8m	1990 - 2010	INMET

Caxias do Sul	29°10'S	51°12'W	759,6m	1981 - 2010	INMET
Cruz Alta	28°38'S	53°36'W	472,5m	1981 - 2010	INMET - FEPAGRO
Encruzilhada do Sul	30°32'S	52°31'W	427,75m	1981 - 2010	INMET - FEPAGRO
Ibirubá	28°39'S	53°07'W	394,7m	1981 - 2010	INMET
Iraí	27°11'S	53°14'W	247,1m	1981 - 2010	INMET
Lagoa Vermelha	28°13'S	51°30'W	840m	1981 - 2010	INMET
Passo Fundo	28°13'S	52°24'W	684,05m	1981 - 2010	INMET - EMBRAPA
Pelotas	31°47'S	52°25'W	13m	1981 - 2010	INMET
Porto Alegre	30°03'S	51°10'W	46,97m	1981 - 2010	INMET
Rio Grande	32°02'S	52°06'W	2,46m	1981 - 2010	INMET - FEPAGRO
Santa Maria	29°42'S	53°42'W	95m	1981 - 2010	INMET - FEPAGRO
Santa Vitória do Palmar	33°31'S	53°21'W	24,01m	1981 - 2010	INMET
S. do Livramento	30°50'S	55°36'W	328m	1981 - 2010	INMET - FEPAGRO
São Luiz Gonzaga	28°24'S	55°01'W	245,11m	1981 - 2010	INMET
Teotônia	29°27'S	51°48'W	63,22m	1998 - 2010	INMET
Torres	29°21'S	49°43'W	4,66m	1981 - 2010	INMET
Triunfo	29°52'S	51°23'W	42,5m	1981 - 2010	INMET
Uruguaiana	29°45'S	57°05'W	62,31m	1981 - 2010	INMET - FEPAGRO

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2011).
Org.: Gobo, J. P. A. (2012).

Em virtude de o Rio Grande do Sul não possuir uma classificação das zonas de conforto térmico adequadas aos padrões climáticos do Estado, a presente pesquisa utilizou-se das classes de Temperatura Equivalente Percebida (TEP) adaptadas por Monteiro e Alucci (2009) para espaços urbanos abertos na cidade de São Paulo (Quadro 2).

Por fim, os dados foram espacializados no mapa do Rio Grande do Sul representativos das quatro estações do ano e da série de 30 anos.

Quadro 2 - Classes de Conforto Térmico adaptadas a pesquisa

Faixas Interpretativas para a Temperatura Equivalente Percebida – TEP	Sensação
> 42	MUITO CALOR
34 – 42	CALOR
27 – 34	POUCO CALOR
19 – 27	NEUTRALIDADE
12 – 19	POUCO FRIO
4 – 11	FRIO
< 4	MUITO FRIO

Fonte: Monteiro e Alucci (2009).
Org.: GOBO, J. P. A. (2012)

3-ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma análise mais didática dos resultados a figura 2 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 2).

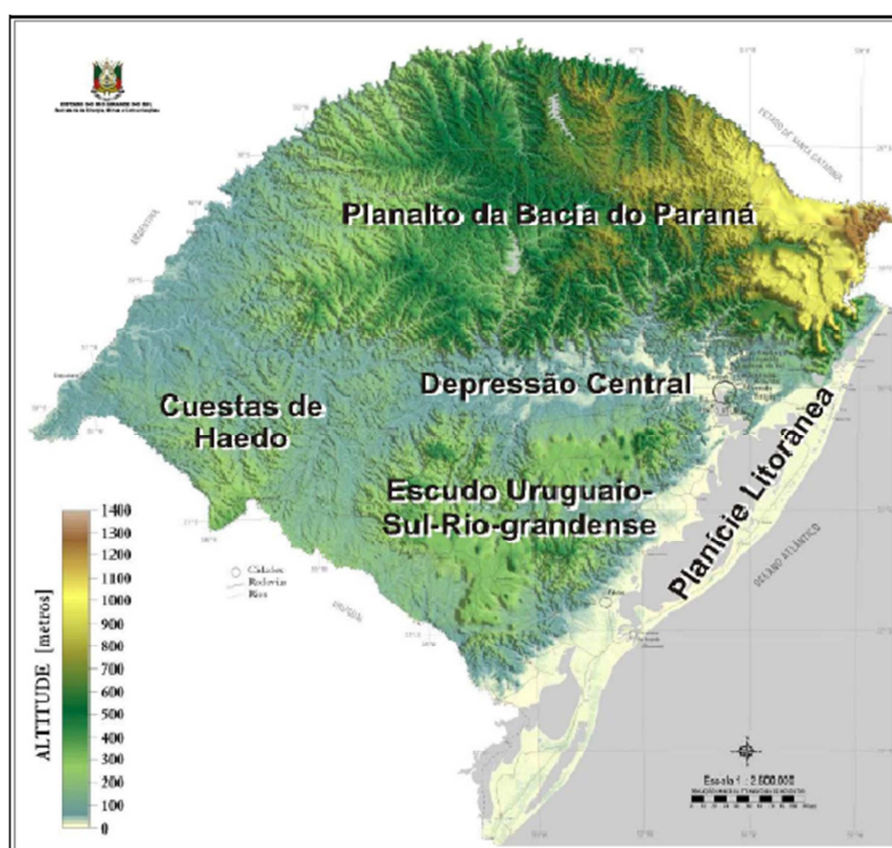


Figura 1: Altimetria e compartimentos geomorfológicos do Rio Grande do Sul.
Fonte: Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (SEMA, 2010). Org: GOBO, J. P. (2011).

De acordo com o mapa da série de 30 anos (anual), a maior parte do Estado está inserida na classe de “Pouco Frio”, homogeneizando praticamente toda a região da depressão periférica riograndense, parte do planalto meridional, do litoral norte e da campanha gaúcha.

Ao se tratar do zoneamento os dados de TE_v para os verões da série de 30 anos, verificou-se que praticamente todo o Estado encontra-se inserido dentro da classe de desconforto térmico por pouco frio, porém a região noroeste, próxima a fronteira com a Argentina, no vale do Rio Uruguai, mostrou valores de TE_v dentro dos limites de neutralidade (entre 19°C e 27°C) (Figura 3).

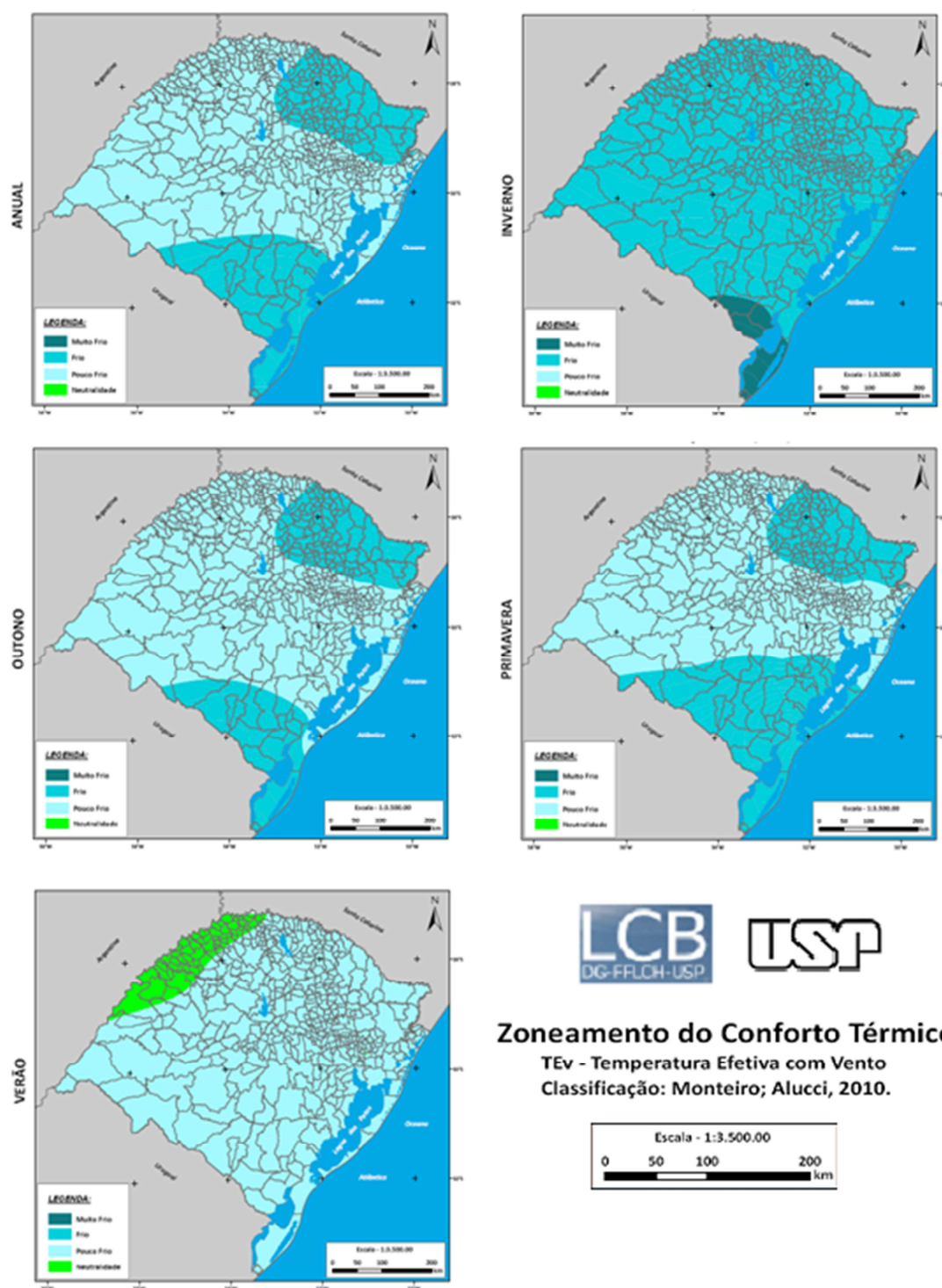


Figura 3: Zoneamento do Conforto Térmico sazonal e anual para o Rio Grande do Sul.
Org.: GOBO, J. P. A. (2012).

O zoneamento do conforto térmico para os meses de outono da série de 30 anos assemelha-se bastante com o da série dos 30 anos (anual). É possível notar que não há nenhuma região do Estado classificada dentro da zona de neutralidade ou acima dela. As regiões nordeste, correspondentes a serra gaúcha, e do extremo sul encontram-se inseridas dentro da classe de desconforto por frio, enquanto, novamente, a maior parte do Rio Grande do Sul classifica-se na zona de pouco frio.

No zoneamento do conforto térmico para os meses de inverno da série de 30 anos que os valores de TEv apresentaram-se mais reduzidos classificando praticamente todo o Estado dentro da zona de Frio, com exceção do extremo sul que, mais uma vez mostrou os valores mais baixos de TEv, sendo classificado na zona de desconforto por muito frio, com valores de TEv inferiores a 4,5°C.

Para os meses de primavera da série de 30 anos estudada o zoneamento do conforto térmico mostrou semelhança com os mapas de zoneamento dos meses de outono e com o da série de 30 anos, uma vez que há apenas duas zonas classificadas, sendo estas de desconforto por frio, referente às regiões nordeste e o extremo sul, e desconforto por pouco frio na qual estão inseridas a maior parte das regiões o Estado. É possível verificar, também, que o desconforto por frio no extremo sul apresentou maior abrangência em relação aos zoneamentos do outono e da série completa de 30 anos.

Por fim, pode-se afirmar que o TEv não é um índice adequado para ser utilizado em situações de verão e primavera, uma vez que este não representa adequadamente as reais condições de conforto e desconforto térmico ocasionadas por excesso de calor.

Sendo assim, seria necessário, para uma análise mais concreta a respeito das atuais condições de conforto no Estado, a introdução de um Índice de Conforto Térmico específico para os meses mais quentes do ano, contendo, neste índice, apenas os atributos temperatura e umidade relativa do ar, uma vez que a velocidade do vento é desprezível a partir de determinados valores altos de temperatura e mascara os resultados do conforto.

4-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos do conforto térmico em escala regional, do ponto de vista Geográfico, ainda é um tema pouco explorado e, portanto, a análise realizada na presente pesquisa tratou-se apenas de um ensaio a respeito do método utilizado.

No Zoneamento do conforto térmico para a série de 30 anos, o desconforto por frio foi predominante em praticamente todas as regiões do Estado em quase todas as estações do ano, sendo que a única situação de conforto verificada deu-se no zoneamento dos verões da série.

No que se refere à análise integrada dos atributos climáticos, há o predomínio das áreas de desconforto por frio nas regiões onde ocorre maior incidência de ventos no Estado durante as situações de inverno outono e primavera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRITCHFIELD, HOWARD J. General Climatology. New York: Prentice Hall, 1960.

EVANS, J. M., Evaluating comfort with varying temperatures: a graphic design tool. Energy And Building, Buenos Aires, n. 35, p.87-93, 2003.

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.

GOBO, J. P. A.; MONTEBLANCO, F. L.; SARTORI, M. G. B. . As Condições Termo-Higrométricas e o Desconforto Ambiental em Casas Noturnas de Santa Maria-RS. **Geografia. Ensino & Pesquisa**, v. 12, p. 4721-4734, 2008.

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

HUNTINGTON, E. Civilization and climate. New Haven, Yale University press, 1934.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2011. São Paulo, SP, 2011. Disponível em: <www.inmet.gov.br>. Acesso em: 21 de novembro, 2011.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Zoneamento Agrícola de Risco Climático: Instrumento de Gestão de Risco Utilizado pelo Seguro Agrícola do Brasil. Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso em: 20 de jan. 2010.

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

MONTEIRO, L. M. ; ALUCCI, M. P., Territorios y espacios urbanos sustentables: confort ambiental en espacios abiertos. *Ambiente Construído (Online)*, v. 3, p. 1-26, 2009.

MONTEIRO, L. M. ; ALUCCI, M. P., Comparação cruzada entre pesquisas laboratoriais e de campo em conforto térmico em espaços urbanos abertos.. *Ambiente Construído (Online)*, v. 10, p. 79-101, 2010.

ROSEN, S. Weathering. New York, M. Evans, 1979.

SARTORI, M. G. B.; Clima e Percepção. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas (**Tese de Doutorado**). São Paulo, 2000.

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> Acesso em: 19 de fev. 2010.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. Meteorologia Agrícola. 3. ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 172 p.

SORRE, M. Geografia (Tradução Januário F. Megele) São Paulo: Ática, 1984.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L.; Study of the Relationships Between Weather Conditions and the Marathon Race, and of Meteorotropic Effects on Distance Runners. International Journal of Biometeorology. Vol. 36, N° XX, 1992, pp. 63– 68.