

ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO PARA OVINOS⁽¹⁾

ORLANDO RUS BARBOSA⁽²⁾ e ROBERTO GOMES DA SILVA⁽³⁾

RESUMO: Foram observados 137 ovinos, sendo 50 animais corriedale, 41 suffolk e 46 ideal, com idades de 12 a 84 meses, distribuídos nos dois locais: Jaboticabal, SP (21°15' de latitude, 48°18' de longitude e 595m de altitude) e Cidade Gaúcha, PR (23°22' de latitude, 52°56' de longitude e 550m de altitude). Em Jaboticabal foram utilizados 30 animais corriedale, machos castrados, 20 suffolk e 26 ideal, fêmeas. Em Cidade Gaúcha, 20 animais corriedale, 21 suffolk e 20 ideal, fêmeas. As variáveis consideradas foram a temperatura do ar (Ta), pressão de vapor do ar (e), a velocidade do vento (v) e a carga térmica radiante (CTR), e as variáveis fisiológicas: temperatura retal (Tr), temperatura da epiderme (Te), temperatura do interior do velo (Tiv), temperatura da superfície do velo (Tsv) e frequência respiratória (Fr). Os animais foram observados expostos ao sol e à sombra, de manhã (8h30) e à tarde (13 horas), mantidos em baias ou piquetes com ou sem cobertura. Um índice de conforto térmico foi desenvolvido para avaliar as condições ambientais para as raças ovinas. A nova equação do índice de conforto térmico é $ICT = 0,6678 Ta + 0,4969 e + 0,5444 tg + 0,1038 v$, onde Ta é a temperatura do ar (°C), e é a pressão de vapor d'água (kPa), tg é a temperatura do globo (°C), e v é a velocidade do vento (m.s⁻¹). O índice foi comparado com o THI (índice de temperatura-umidade) e o BGHI (índice umidade termômetro de globo), apresentando correlações elevadas para a temperatura retal (r= 0,475) e frequência respiratória (r= 0,619). Três raças ovinas (Corriedale, Suffolk e Ideal) foram avaliadas sob valores de ICT de 20 a 50.

Termos para indexação: frequência respiratória, índice de conforto térmico, ovinos, temperatura retal.

Thermal comfort index for sheep

SUMMARY: It was observed 137 sheep (50 corriedale, 41 suffolk and 46 ideal) 12 to 84 months old, in two locations: at Jaboticabal, SP ((21°15' S, 48°18' W and 595m high), 30 castrated corriedale males, 20 suffolk and 26 ideal females were used, and at Cidade Gaúcha, PR (23°22' S, 52°56' W and 550m high), 20 corriedale, 21 suffolk and 20 ideal were used, all of them females. The following environmental variables were considered: environmental temperature (Et), air vapour pressure (e), relative humidity (Rh), wind speed (w) and radiant heat load (Rhl); physiological variables were: rectal temperature (Tr), skin temperature (Te), inner woolcoat temperature (Tiv), back surface temperature (Tsv) and respiratory rate (Fr). The animals were

- (1) Parte da tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/Jaboticabal, pelo primeiro autor, para obtenção do título de Doutor em Zootecnia, Área de Concentração: Produção Animal. Recebido para publicação em março de 1995
- (2) Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR
- (3) Departamento de Melhoramento Genético Animal, UNESP/Jaboticabal, SP

observed under shade and under direct sunlight, at 8:30 AM and at 13:00 PM. A thermal comfort index was developed to evaluate environmental conditions for sheep breeding. The new index equation is $TCI = 0.66778 Ta + 0.4969 e + 0.5444 tg + 0.1038 w$, where Ta is the air temperature ($^{\circ}C$), e is the partial vapour pressure (kPa), Tg is the globe temperature ($^{\circ}C$), and w is the wind speed ($m.s^{-1}$). The index is compared to the THI (temperature-humidity index) and to BGHI (Black-globe humidity index), presenting high correlations with rectal temperature ($r = 0.475$) and respiration rate ($r = 0.619$). Three sheep breeds (Corriedale, Polwarth and Suffolk) were evaluated under TCI values from 20 to 50.

Index term: rectal temperature, respiration rate, sheep, thermal comfort index.

INTRODUÇÃO

O estresse calórico é um importante fator que limita o desenvolvimento dos animais em geral e, em particular, os ovinos quanto à obtenção do seu melhor potencial genético de produção.

O estresse calórico é um estado fisiológico causado por uma combinação de condições ambientais que causam a efetiva temperatura do ambiente ser mais elevada que a variação da temperatura da zona de conforto do animal. Os quatro elementos ambientais que mais afetam a temperatura são: temperatura do ar, umidade do ar, radiação e vento. A exata combinação desses elementos na qual se inicia o estresse calórico é difícil - se não impossível - de se especificar. Uma dada combinação pode ser favorável ou desfavorável, dependendo do animal e das condições particulares na qual ele se encontra.

Apesar disso, vários índices foram desenvolvidos para prever o conforto térmico dos animais domésticos e o homem. Em geral, esses índices consideram apenas dois fatores: temperatura do ar e umidade do ar.

O mais conhecido desses índices é o Índice Temperatura-Umididade (THI) proposto por THOM (1958) para o conforto humano, $THI = ta + 0,36 td + 41,5$, onde ta é a temperatura do bulbo seco ($^{\circ}C$) e td é a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}C$).

O THI foi usado por vários autores para descrever o conforto térmico dos animais domésticos, especialmente bovinos (CARGILL e STEWART, 1966 e JOHNSON et al., 1963). Esses autores observaram que os valores de THI entre 72 e 75 são valores críticos para a produção de leite.

Poucas informações existem sobre o uso do THI para ovinos. SIQUEIRA et al. (1990) observaram ovinos merino australiano, ideal, corriedale, romney marsh e ile de france em uma câmara climática, obtendo valores de THI de 71 a 95.

De acordo com HAHN (1985) um valor de THI de 70 ou menos mostra uma condição normal; um valor entre 71 e 78 é crítico; entre 79 e 83 existe um perigo e acima de 83 uma condição de emergência está presente. Esses valores podem ser válidos para animais domésticos em geral.

Entretanto, a equação do THI não leva em conta os efeitos da radiação e do vento. Durante os períodos de estresse, um animal ao sol está exposto a uma carga de calor radiante maior que a sua produção de calor metabólico (BOND *et al.*, 1967). Vários trabalhos tem mostrado que a temperatura retal e a frequência respiratória de animais ao sol são significativamente maiores que aqueles à sombra.

Por outro lado, um vento de 2,2 a 4,5 $m.s^{-1}$ pode melhorar a produção de vacas leiteiras sob temperaturas ambientes elevadas (THOMPSON, 1974). Consideráveis dados experimentais tem mostrado relação estatisticamente significativas entre a velocidade do vento e as medidas de desempenho dos animais.

BUFFINGTON et al (1981) apresentou uma modificação para a equação do THI, considerando o efeito da radiação e da velocidade do vento. Eles substituíram na fórmula do THI a temperatura do globo no lugar da temperatura do ar, sendo: $BGHI = tg + 0,36 td + 41,5$, onde BGHI é o Índice de Umidade-Termômetro de globo, e tg é a temperatura do globo ($^{\circ}C$).

Esses autores compararam o BGHI e o THI e concluíram ser este índice de maior eficácia como indicador de conforto animal que o THI sob condições ambientais estressantes de calor, quando os animais estão expostos à radiação solar. Quando expostos a pequenos ou moderados níveis de radiação, o BGHI e o THI podem ser igualmente efetivos como indicadores de conforto animal.

Nos últimos anos, métodos multivariados tem sido extensivamente utilizados para descrever os fenômenos biológicos. Entre esses métodos, a análise de componente principal está relacionado com a colocação de estrutura de variância e covariância através de uma nova combinação linear das variáveis originais, que explica as maiores variações dos dados. As combinações não correlacionadas com a maior variância são chamadas de componentes principais.

O objetivo do presente trabalho foi primeiro pesquisar uma simples função das variáveis ambientais utilizando análise de componentes principais, para desenvolver um índice de conforto para ovinos; segundo, avaliar o índice estimado, juntamente com o BGHI e o THI; terceiro, avaliar três raças de ovinos sob diferentes combinações de condições ambientais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram observados 137 ovinos adultos (50 Corriedale, 41 Suffolk e 46 Ideal) de ambos os sexos e idade de 12 a 84 meses, em temperatura ambiente variando de 16°C a 32°C, ao sol e à sombra, na cidade de Jaboticabal, SP (21°15' de latitude S, 48°18' de longitude W e 595 m de altitude) e Cidade Gaúcha, PR (23°22' de latitude S, 52°56' de longitude W e 550 m de altitude).

Todos os animais foram observados várias vezes, 12 a 32, sob diferentes combinações de variáveis ambientais, e apenas em dia de sol. Em cada observação, as medidas foram efetuadas às 8h30 e 13h00 para 5 características, permanecendo no local (sol e sombra) durante 6 horas, e então medidos novamente. As variáveis consideradas foram: temperatura retal (Tr), temperatura da epiderme (Te), temperatura do interior do velo (Tiv), temperatura da superfície do velo (Tsv) e a frequência respiratória (Fr).

Todas as temperaturas foram obtidas com um termômetro digital. A temperatura da superfície do velo foi medida protegendo a ponta do termômetro do calor radiante com um disco de isopor, para com isso medir apenas o calor existente na superfície do velo.

A Fr foi medida pela contagem dos movimentos dos flancos, com o auxílio de um cronômetro, durante 15 segundos, multiplicando-se o resultado por 4.

As seguintes variáveis ambientais foram consideradas: temperatura do ar (Ta), pressão de vapor d'água (e), temperatura do globo (Tg) e velocidade do vento (v).

A Ta e e foram obtidos nos locais de medidas com um psicrômetro não ventilado. A velocidade do vento foi medida por meio de um catatermômetro, o qual é muito sensível para pequenos deslocamentos de ar conforme SILVA e BRASIL (1986). Para obtenção da Tg foi utilizado um globo de Vernon de 0,15 m de diâmetro, colocado 0,5 m acima do solo no mesmo local dos animais. A temperatura do globo foi medida também para estimar a carga térmica radiante (CTR), conforme SILVA (1989), usando a seguinte fórmula:

$$CTR = 1,053 hc(Tg - Ta) + \sigma Tg^4 \quad (W.m^{-2}),$$

onde $hc = 2,533333 k Re^{0,6} Pr^{1/3}$, para convecção forçada;

$= (k/0,15)(2 + 0,43 Gr^{0,25} Pr^{0,25})$, para convecção natural;

$$Re = \text{Número de Reynolds} = 0,15vv^{-1}$$

$$Pr = \text{Número de Prandtl} = \rho cvk^{-1}$$

$$Gr = \text{Número de Grashof} = 0,033099 v^{-2} Ta^{-1} (Tg - Ta)$$

$$Tg, Ta = \text{temperatura do globo e do ar (}^{\circ}\text{C)}$$

k, ρ , v, c = características atmosféricas do ar à temperatura Ta; condutividade térmica ($W.m^{-1}.^{\circ}\text{C}$); densidade ($kg.m^{-3}$); viscosidade cinemática ($m^2.s^{-1}$) e calor específico ($J.kg^{-1}.^{\circ}\text{C}$).

$$\sigma = \text{constante de Stefan-Boltzman} = 5,6697 \times 10^{-8} W.m^{-2}.^{\circ}\text{K}^4$$

Para obtenção do índice de conforto térmico, foi assumido que os elementos climáticos como a ta, umidade, radiação e vento não podem ser avaliados separadamente com respeito aos seus efeitos nas respostas fisiológicas dos animais. Estes elementos agem conjuntamente e uma dada resposta fisiológica é uma função de suas ações combinadas.

É possível sintetizar as informações de diversas variáveis em um único valor, por meio de uma análise de componentes principais, como é descrito por JOHNSON e WICHERN (1988). Assim, o valor que resume as informações, y_i , é uma função linear das variáveis, e é expressado como

$$y_i = e_i' x$$

onde x é o vetor-coluna das medidas feitas nas variáveis e e_i é o i-ésimo autovetor obtido a partir do

i-ésimo autovalor da matriz, **R**. Esses autovalores, λ_i , são estimados considerando-se a restrição de que $|R - \lambda_i I|$.

Os autovetores são obtidos a partir da relação $Re_i = \lambda_i e_i$, devendo cada vetor e_i satisfazer a condição de que $e_i^T e_i = 1$.

A magnitude do valor do j-ésimo elemento do vetor e_i mede a importância da j-ésima variável para a constituição do i-ésimo componente principal, independente das outras variáveis. Em particular, esse j-ésimo elemento é proporcional ao coeficiente da correlação entre y_i e o j-ésimo elemento do vetor x .

O índice escolhido deve ser o vetor e_1 , ou seja, o autovetor que corresponde à maior raiz, λ_1 , a qual por sua vez está associada às maiores variâncias

$$E = \begin{bmatrix} 0,667765 & -0,090069 & -0,050825 & 0,737148 \\ 0,496910 & -0,253519 & 0,708458 & -0,432262 \\ 0,544429 & 0,160890 & -0,640109 & -0,517663 \\ 0,103765 & 0,949595 & 0,292784 & 0,292784 \end{bmatrix}$$

As colunas da matriz **E** são os autovetores, cujos elementos são os coeficientes dos quatro componentes principais. Por exemplo, o primeiro componente principal é:

$$y_1 = e_1^T x$$

Então, obtemos finalmente o Índice de Conforto Térmico:

$$ICT = 0,6678Ta + 0,4969e + 0,5444Tg + 0,1038v.$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 estão presentes as médias e variação da espessura do velo, juntamente com o fluxo de calor estimado pela condução através do velo, sendo o fluxo de calor condutivo estimado por: $H_k = kd^{-1}(T_e - T_s)$, $W.m^{-2}$, onde d é a espessura do velo (cm), k a condutividade térmica da lã, assumindo como $0,064 W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ (BLAXTER et al., 1959), T_e a temperatura da epiderme ($^{\circ}C$) e T_s a temperatura da superfície do velo ($^{\circ}C$).

Quadro 1. Médias e amplitude da espessura do velo (cm) e o fluxo de calor condutivo ($W.m^{-2}$), nas raças Corriedale, Ideal e Suffolk

Raças	Espessura do velo(cm)		Fluxo de calor condutivo($W.m^{-2}$)
	Média	Amplitude	
Corriedale	6,4	2,5 a 11,0	3,10
Ideal	5,3	3,7 a 8,0	4,70
Suffolk	6,0	4,0 a 8,5	4,48

O quadro 2 mostra os coeficientes de correlação entre as quatro variáveis ambientais(matriz **R**), baseada em 4472 observações. Os autovalores estimados de **R** foram:

$$\lambda = [2,008071 \ 1,007587 \ 0,810786 \ 0,173556]$$

e os respectivos autovetores:

$$E = [e_1 \ e_2 \ e_3 \ e_4]$$

Quadro 2. Coeficientes de correlação entre as 4 variáveis ambientais (matriz **R**), estimado de 4472 observações

Componentes	Ta	e	Tg	v
Temperatura do ar, Ta	0,946	0,704	0,771	0,147
Pressão de vapor d'água, e	-0,090	-0,254	0,161	0,953
Temperatura do globo, Tg	-0,046	0,638	-0,576	0,264
Velocidade do vento, v	0,307	-0,180	-0,216	0,018

O segundo componente principal, y_2 , avalia principalmente o efeito da velocidade do vento; o terceiro, y_3 , está associado com os efeitos da pressão de vapor d'água e a radiação. O primeiro componente principal, y_1 , explica sozinho 50,2% da variância total, ($\lambda_1 = 2,008071$).

A eficiência dos componentes principais como índice de conforto térmico pode ser apreciado através de seus coeficientes de correlações com as respostas dos animais. Estas correlações são mostradas no quadro 3.

Quadro 3. Correlações entre os componentes principais (baseados em 4 variáveis ambientais e os índices THI e BGHI para fins de comparação) e cinco variáveis medidas em ovinos de 3 raças

Variáveis nos animais	Y1	Y2	Y3	Y4	THI	BGHI
Temperatura retal	0,475	0,118	-0,437	0,019	0,469	0,444
Temperatura da epiderme	0,687	0,345	-0,695	0,248	0,464	0,688
Temperatura do interior do velo	0,725	0,420	-0,755	-0,406	0,466	0,808
Temperatura da superfície do velo	0,758	0,333	-0,829	-0,406	0,466	0,808
Frequência respiratória	0,619	0,203	-0,548	0,031	0,631	0,584

Para fins de comparação, os valores de THI e BGHI foram, também, estimados com os componentes principais, para todas as 4472 observações dos animais.

Os dados do quadro 3 mostram que a melhor função é y_1 , seguido pelo BGHI. O primeiro componente principal é mais fortemente correlacionado com a temperatura retal e a frequência respiratória ($r=0,475$ e $r=0,619$, respectivamente) que o BGHI ($r=0,444$ e $r=0,584$, respectivamente). Em consequência, pode-se aceitar esse índice como tão bom ou melhor que os usuais THI e BGHI, com a vantagem de poder ser estimado especialmente para um determinado ambiente, confirmando que a radiação e o vento são fatores importantes para estes animais.

BUFFINGTON et al. (1981) determinaram valores baixos de R^2 correlacionando a temperatura retal e a frequência respiratória para THI (0,27 e 0,31, respectivamente), e para BGHI (0,34 e 0,48), respectivamente.

mente em vacas leiteiras. Estes autores consideram o BGHI como superior ao THI.

Embora o primeiro componente principal, estimado como descrito acima, tenha mostrado ser um bom índice para conforto térmico de ovinos, este índice pode ser melhor calculado para determinada região ou macroregião, devido a relação entre as variáveis ambientais ser, provavelmente, diferente de uma região para outra. Índices para regiões específicas podem resultar em maior precisão na avaliação do ambiente em respeito aos animais.

A regressão da temperatura retal sobre o ICT (Figura 1), mostrou um efeito linear significativo ($P < 0,05$) para a raça Suffolk e quadrático ($P < 0,05$) para as raças Corriedale e Ideal. Nota-se que a raça Ideal manteve a homeotermia média de $39,2^\circ\text{C}$ até um valor $\text{ICT} = 35$; acima deste valor a T_r aumentou, porém lentamente, atingindo $39,8^\circ\text{C}$ para o $\text{ICT} = 50$.

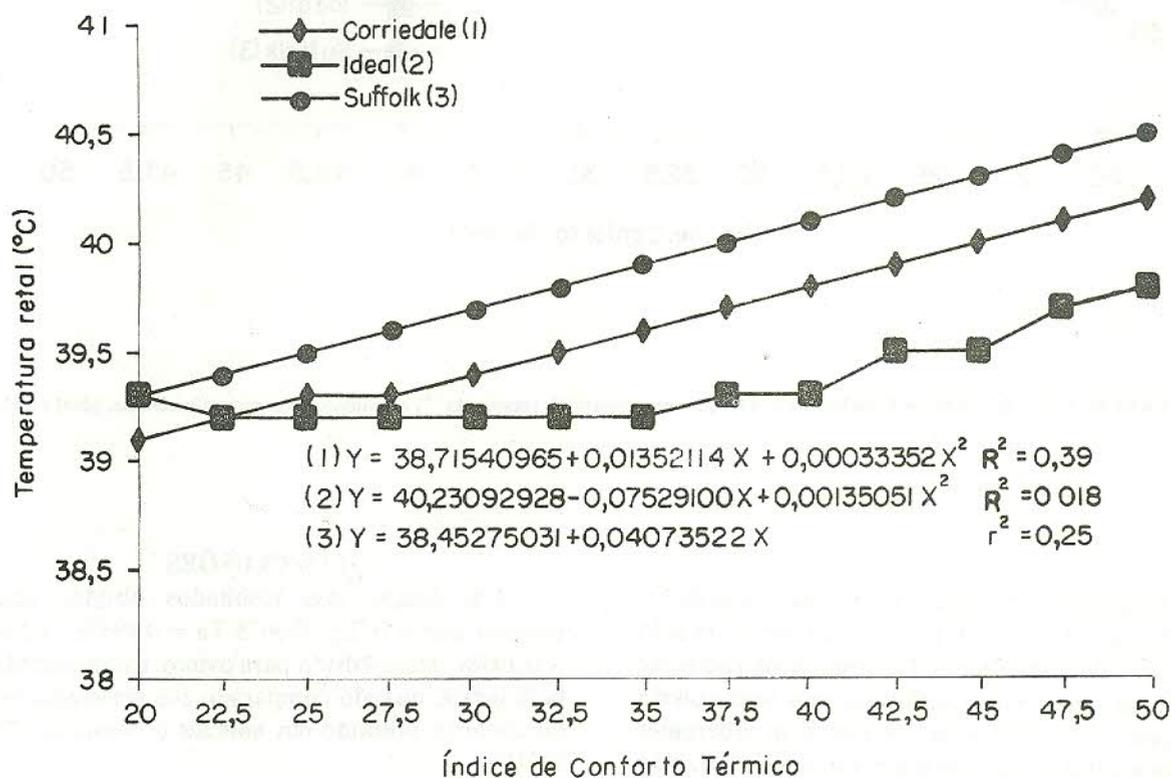


Figura 1. Efeito do Índice de Conforto Térmico sobre a temperatura retal ($^\circ\text{C}$) nos animais das raças Corriedale, Ideal e Suffolk

Por outro lado, as raças Suffolk e Corriedale aumentaram sua T_r de uma maneira similar a partir de um índice ICT= 20, atingindo, a T_r , o valor de 40°C para ICT= 37,5 na raça Suffolk e para ICT= 45 na raça Corriedale.

Como é mostrado na Figura 2, a raça Ideal tendeu a usar mais o mecanismo termolítico respiratório, que as outras duas raças. Quando o ICT foi menor que 30, a frequência respiratória da raça Ideal foi mantida abaixo de $92 \text{ resp. min}^{-1}$; porém aumentou rapidamente entre o ICT= 35 ($110 \text{ resp. min}^{-1}$) e ICT= 50 ($234 \text{ resp. min}^{-1}$).

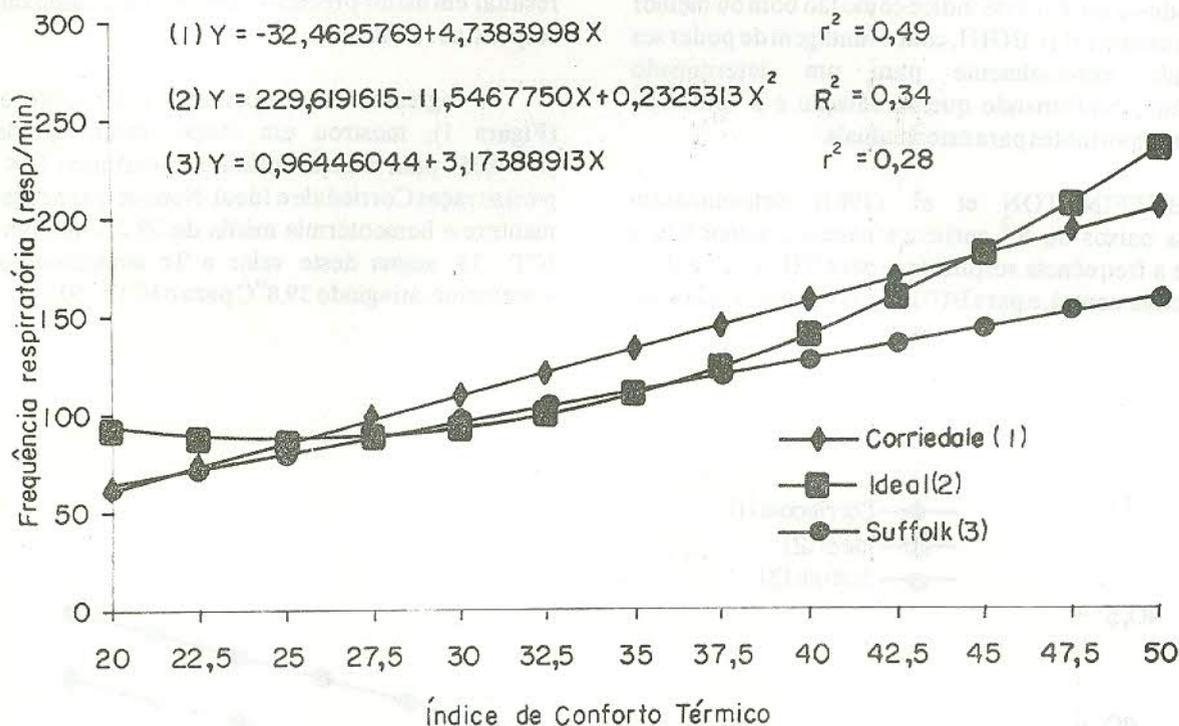


Figura 2. Efeito do Índice de Conforto Térmico sobre a frequência respiratória (resp. min^{-1}) nos animais das raças Corriedale, Ideal e Suffolk

A raça Suffolk apresentou o nível mais baixo de F_r , para todos os valores de ICT, apesar de sua T_r ter sido maior que as das outras raças. Tal desempenho pode ser atribuído ao fato de a raça Suffolk ter sido desenvolvida para condições ambientais médias bem diferentes daquelas mantidas nos ambientes estudados, exigindo esforços na termorregulação, ao contrário das raças Ideal e Corriedale que foram desenvolvidas a partir do Merino, uma raça tolerante ao calor. A raça Ideal, especialmente constituída em sua maior parte por sangue Merino, conservou a adaptabilidade desta às condições de temperaturas elevadas, desde que a umidade relativa seja baixa.

CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos pode-se concluir que o $\text{ICT} = 0,6678 T_a + 0,4969e + 0,5444 T_g + 0,1038v$, desenvolvido para ovinos, é considerado um bom índice, quando comparado aos principais índices de conforto utilizado em animais domésticos (THI e BGHI).

Sob condições ambientais dos Estados de São Paulo e Paraná, valores tão altos como ICT= 43 são também encontrados durante o verão. Estas condições parecem ser estressantes para animais da raça Suffolk, porém ovinos das raças Corriedale e, especialmente a Ideal, mostraram ser mais tolerantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAXTER, K.L. et al. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. III. The metabolism and thermal exchanges of sheep with fleeces. *J. Agric. Sci., London*, v.52, p.41-49, 1959.
- BOND, T.E. et al. Solar atmospheric and terrestrial radiation received by shaded and unshaded animals. *Trans. of the ASAE, St. Joseph*, v.10, p.622-625, 1967.
- BUFFINGTON, D.E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trans. of the ASAE, St. Joseph*, v.24, n.03, p.711-714, 1981.
- CARGILL, B.F., STEWART, R.E. Effect of humidity on total heat and total vapor dissipation of Holstein cows. *Trans. of the ASAE, St. Joseph*, v. 9, p.702-706, 1966.
- HAHN, G.L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: YOUSEF, M.K. *Stress Physiology in Livestock. Vol II. Ungulates*. Boca Raton: CRC Press, Inc., 1985. p. 151-174.
- JOHNSON, H.D. et al. Temperature and water consumption of Holstein cattle. *Columbia*, 1963. (Bulletin, 846)
- JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W. *Applied multivariate statistical analysis*. 2^a ed. Princeton: Prentice Hall International, D.W. 1988. 607 p.
- SILVA, R.G., BRASIL, D.F. Calibração de catatermômetro para avaliação de pequenos deslocamentos de ar. *Ci. Zootec.*, v.1, p. 1-3, 1986.
- SILVA, R.G. Equações para estimativas da Carga Térmica Radiante através do globo de Vernon. 2^o Workshop de Bioclimatologia. Jaboticabal, 1989. s.n.p.
- SIQUEIRA, E.R. et al. Efecto de la lana y del sol sobre algunos parámetros fisiológicos en ovejas de razas Merino Australiano, Corriedale, Romney Marsh e Ile de France. *Inf. Tec. Econ. Agr., Zaragoza*, v..89A, n.2, p.124-131, 1993.
- THOM, E.C. Cooling degree-days. *Air Cond Heat. Ventil.*, s.l.p., v.55, p.65, 1958.
- THOMPSON, P.D. Discussion on the influence of environmental factors on health of livestock. In: *PROCEEDING INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENTAL SYMPOSIUM*, St. Joseph, 1974. p.21-30.