



## MODELAGEM FUZZY EM PARÂMETROS DE BEM-ESTAR HUMANO

Leonardo SCHIASSI\*, Nathaly Santos Marques MELO, Guilherme Farias TAVARES,  
Ícaro Pereira de SOUZA, Handrey Borges ARAÚJO, Carolina DELLA GIUSTINA

Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil

\*E-mail: [leoschiassi@yahoo.com.br](mailto:leoschiassi@yahoo.com.br)

Recebido em 15/07/2013; Aceito em 16/10/2013.

**RESUMO:** Diante das preocupações com o ambiente de trabalho e consequentemente com o bem-estar dos trabalhadores, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a utilização da modelagem matemática *fuzzy*, na avaliação da salubridade de trabalhadores agrícolas, relacionada ao ambiente térmico e acústico. Para tanto, foram consideradas como variáveis de entrada do sistema, o índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG, °C) e o nível de ruído (dB(A)), tendo como variável de saída o índice de bem-estar humano (IBEH). O método de inferência utilizado foi o de Mandani e na defuzzificação, utilizou-se o método do centro de gravidade. Foram utilizadas 25 regras para representar estes dados, sendo que para cada regra foi atribuído peso igual a 1. Os resultados indicam que o modelo matemático teve uma metodologia satisfatória, podendo auxiliar na tomada de decisões e análises cotidianas.

**Palavra-chave:** salubridade, ambiente de trabalho, sistemas inteligentes.

### FUZZY MODELING IN HUMAN WELL-BEINGPARAMETERS

**ABSTRACT:** *Given the concerns about the work environment and consequently the well-being of workers, this study aimed to evaluate the use of fuzzy mathematical modeling in assessing of the farm workers health, related to thermal and acoustic environment. So, were considered as input variables of the system, the wet bulb globe temperature index (WBGT, °C) and noise level (dB (A)), and the output variable was the human well-being index (HWBI). The inference method used was the Mandani and in the defuzzification, we used the center of gravity method. Twenty five rules have been used to represent these data, and for each rule were assigned a weight equal 1. The results indicate that the mathematical model has a satisfactory methodology to assist in the making decision and daily analysis.*

**Keywords:** salubrity, work environment, intelligent systems.

### 1. INTRODUÇÃO

O meio físico no qual se efetua um trabalho é considerado nas análises ergonômicas. O ruído, as vibrações, o calor, o frio, os gases, a poeira, dentre outros fatores, quando excedem certos limites podem provocar doenças ou alterar o bem-estar do trabalhador (ALVES et al., 2002). As situações que envolvem esses fatores são constantemente encontradas em agroindústrias, merecendo estudos para avaliar e quantificar seus níveis, melhorando as condições de trabalho e a saúde do homem.

Existem determinados desconfortos que afetam o trabalhador, causando doenças ocupacionais, além de danos irreversíveis à saúde e, consequentemente, influenciam o sistema produtivo e geram perdas econômicas. Segundo Fanger (1970), o conforto térmico é uma condição da mente que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico, sendo assim a maioria dos trabalhadores possuem rendimento baixo, quando submetidos a temperaturas extremas.

No Brasil, para a avaliação da exposição ao calor, a Norma Regulamentadora 15 (NR-15), no seu anexo n° 03

(Limites de tolerância para exposição ao calor), indica o uso do índice de bulbo úmido e termômetro de globo – IBUTG, °C (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – MTE, 1990).

Os aparelhos usados na avaliação do IBUTG foram os termômetros de bulbo úmido natural, de globo e de mercúrio comum. As medições foram efetuadas no local onde permaneceu o trabalhador, na região próxima ao centro do tórax.

Outras variáveis têm sido estudadas como forma complementar àquelas relacionadas ao ambiente térmico, tal como os níveis de pressão sonora ao qual o trabalhador está sendo submetido durante a atividade (BAESSO et al., 2008; MION et al., 2009).

A Norma NBR-10.152 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1990) intitulada níveis de ruído para conforto acústico fixa limites de ruído visando o conforto ambiental. Para a avaliação da insalubridade por ruído em locais de trabalho, a consolidação das leis do trabalho, na Portaria 3.214, NR-15 e NHO 01 (FUNDACENTRO, 1999), estabelece os limites de exposição ao ruído para trabalhadores brasileiros.

Para melhor análise desses índices e quantificar a interação destas variáveis no bem-estar humano, é necessário à utilização de modelos computacionais, onde a representação matemática é a base para solução dos problemas. Neste sentido, o método *fuzzy* é introduzido para dar suporte à decisão, sendo capaz de executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base de conhecimento.

A matemática *fuzzy* é utilizada para avaliar os parâmetros entre esses índices, traduzindo em termos matemáticos a informação imprecisa, expressa por um conjunto de regras linguísticas, onde a fuzificação nos remete a variáveis calculadas em valores numéricos, para variáveis calculadas em valores linguísticos.

De acordo com Pereira et al. (2008), o grau de explicação do sistema *fuzzy* relaciona-se diretamente com a quantidade de regras do mesmo. Para isso é necessário o auxílio de técnicos e especialistas para a construção de uma base de regras, composta por respostas que estes profissionais fornecem em função das características das variáveis de entrada (CREMASCO et al., 2010).

A lógica *fuzzy* é caracterizada inicialmente pela definição das variáveis de entrada e saída, e suas funções de pertinência associadas, estabelecendo a criação de algoritmos genéticos, que são capazes de imitar parte do raciocínio humano (ZADEH, 1965).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho desenvolver um modelo matemático *fuzzy*, para representar e quantificar o bem-estar dos trabalhadores em ambientes insalubres.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O modelo *fuzzy* desenvolvido teve por objetivo gerar um sistema de tomada de decisões sobre o bem-estar de trabalhadores agrícolas. Para que isso fosse possível, vários parâmetros foram cuidadosamente avaliados, uma vez que o sistema *fuzzy* depende de uma robusta base de conhecimento para satisfazer os resultados esperados pelo usuário.

Para o desenvolvimento do sistema *fuzzy*, foram utilizadas duas variáveis de entrada, o índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG, °C) e o nível de ruído (dB(A)). Com base nessas variáveis de entrada, o sistema *fuzzy* estimou o índice de bem-estar humano (IBEH) como a variável de saída.

Nesta análise, utilizou-se o método de inferência de Mamdani, que traz como resposta um conjunto *fuzzy* originado da combinação dos valores de entrada com os seus respectivos graus de pertinência, através do operador mínimo, e, em seguida, pela superposição das regras por meio do operador máximo. A defuzificação foi feita utilizando o método do Centro de Gravidade (Centroide ou Centro de Área), que considerou todas as possibilidades de saída, transformando o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico (LEITE et al., 2010).

### 2.1. Variáveis de entrada

Num ambiente térmico as variações de temperatura estão relacionadas como a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa e radiação solar, assim, optou-se em utilizar como variável de entrada o IBUTG (°C), por ser um índice que engloba os

principais fatores relacionados à sobrecarga térmica. Segundo norma do ministério do trabalho (MTE, 1990), a Equação 1 representou ambientes internos ou externos sem carga solar. Em função do IBUTG, os limites de tolerância para o regime do trabalho intermitente foram definidos conforme a Tabela 1.

$$IBUTG = 0,7 tbn + 0,3 tg \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: *tbn* = temperatura de bulbo úmido natural, em °C; *tg* = temperatura de globo, em °C.

Tabela 1. Limites de tolerância para a exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente, com períodos de descanso no próprio local de trabalho (IBUTG, °C).

Regime de trabalho (min. trab./min. descanso)	Tipo de atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	≤ 30,0	≤ 26,7	≤ 25,0
45/15	30,1-30,6	26,8-28,0	25,1-25,9
30/30	30,7-31,4	28,1-29,4	26,0-27,9
15/45	31,5-32,2	29,5-31,1	28,0-30,0
Exposição não permitida <sup>1</sup>	> 32,2	> 31,1	> 30,0

<sup>1</sup>Não é permitida a exposição sem alguma medida de controle.

Fonte: (MTE, 1990).

Para a variável nível de ruído (dB(A)), foram utilizados dados da literatura, em que diversos autores classificaram os intervalos de ruído de acordo com sua influência no conforto humano conforme Tabela 2. Logo, foram definidos cinco conjuntos para essa variável.

Tabela 2. Intervalos de níveis de ruído utilizados para o desenvolvimento dos conjuntos *fuzzy*.

Nível de ruído (dB(A))	Classificação
0 - 40	Nenhum efeito <sup>1</sup>
40 - 55	Pequeno desconforto <sup>2</sup>
55 - 70	Estresse leve e desconforto <sup>3</sup>
70 - 100	Desgaste do organismo <sup>3</sup>
100 - 140	Danos no aparelho auditivo <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Robin (1987); <sup>2</sup>Pimentel; Álvares (2004); <sup>3</sup>Organização Mundial da Saúde - OMS (2001).

Os intervalos admitidos para as variáveis de entrada foram graficamente representados pelas curvas de pertinência trapezoidais, por representarem melhor o comportamento dos dados de entrada e por serem as mais usadas de acordo com a literatura (SCHIASSI et al., 2008; BARIN et al., 2010). As curvas de pertinência estão apresentadas na Figura 1.

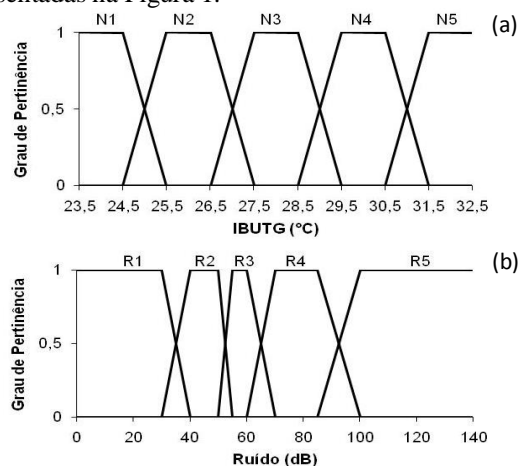


Figura 1. Funções de pertinência para as variáveis de entrada: a) IBUTG (°C) e b) nível de ruído (dB).

## 2.2. Variável de saída

A variável de saída índice de bem-estar humano (IBEH) permite a indicação direta do nível de bem-estar experimentado pelos trabalhadores. Seus conjuntos estabelecem intervalos no domínio de  $[0,1]$  e foram classificados segundo o mesmo conceito apresentado por Yanagi Junior et al. (2012) e Schiassi et al. (2012) para predição da salubridade em ambientes de trabalho. Desta forma, os seguintes conjuntos *fuzzy* foram especificados, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Intervalo dos conjuntos *fuzzy* para a variável índice de bem-estar humano (IBEH).

Conjuntos <i>fuzzy</i>	Intervalo
Muito ruim	$[0; 0,25]$
Ruim	$[0; 0,50]$
Médio	$[0,25; 0,75]$
Bom	$[0,50; 1,0]$
Muito bom	$[0,75; 1,0]$

Os intervalos admitidos para a variável de saída estão graficamente representados pelas curvas de pertinência triangulares conforme Figura 2, por representarem melhor a variação dos dados (YANAGI JUNIOR *et al.*, 2012).

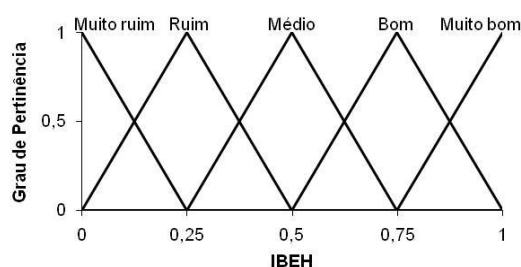


Figura 2. Funções de pertinência para a variável de saída índice de bem-estar humano (IBEH).

## 2.3. Sistema de regras

O sistema de regras *fuzzy* (Tabela 4) foi criado em forma de sentença linguísticas com base na literatura e por meio do auxílio de especialistas. De acordo com as combinações dos dados de entrada foram definidas 25 regras e para cada regra foi atribuído um fator de ponderação igual a 1 (FERREIRA *et al.*, 2007).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando sistemas computacionais são criados com o intuito de dar suporte a decisões, faz-se necessário adotar medidas que analisem o poder descritivo do novo sistema. Tais medidas servem, por exemplo, para avaliar a eficiência de um sistema em gerar respostas sobre a classificação de bem-estar que estejam muito próximas da realidade. Desta forma, quando um sistema de modelagem matemática é desenvolvido, é importante que se avalie o poder classificatório do sistema, neste caso, o poder em se classificar o ambiente termo-acústico para trabalhadores.

Para análise do sistema *fuzzy* desenvolvido, foi utilizado gráfico tridimensional, sendo essa a forma mais conhecida de representação dos resultados simulados em modelos *fuzzy* (OWADA *et al.*, 2007; PEREIRA *et al.*, 2008). A superfície ilustrada na Figura 3 mostra as variações de IBEH para as diversas combinações de IBUTG e nível de ruído.

Tabela 4. Composição do sistema de regras utilizadas na inferência *fuzzy* em função das características: índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG, °C) e nível de pressão sonora (ruído, dB(A)).

Regra	
1	Se (IBUTG é N1) e (ruído é R1) Então (IBE é Muito bom)
2	Se (IBUTG é N1) e (ruído é R2) Então (IBE é Muito bom)
3	Se (IBUTG é N1) e (ruído é R3) Então (IBE é Bom)
4	Se (IBUTG é N1) e (ruído é R4) Então (IBE é Médio)
5	Se (IBUTG é N1) e (ruído é R5) Então (IBE é Ruim)
6	Se (IBUTG é N2) e (ruído é R1) Então (IBE é Muito bom)
7	Se (IBUTG é N2) e (ruído é R2) Então (IBE é Bom)
8	Se (IBUTG é N2) e (ruído é R3) Então (IBE é Médio)
9	Se (IBUTG é N2) e (ruído é R4) Então (IBE é Ruim)
10	Se (IBUTG é N2) e (ruído é R5) Então (IBE é Muito ruim)
11	Se (IBUTG é N3) e (ruído é R1) Então (IBE é Bom)
12	Se (IBUTG é N3) e (ruído é R2) Então (IBE é Médio)
13	Se (IBUTG é N3) e (ruído é R3) Então (IBE é Ruim)
14	Se (IBUTG é N3) e (ruído é R4) Então (IBE é Muito ruim)
15	Se (IBUTG é N3) e (ruído é R5) Então (IBE é Muito ruim)
16	Se (IBUTG é N4) e (ruído é R1) Então (IBE é Médio)
17	Se (IBUTG é N4) e (ruído é R2) Então (IBE é Ruim)
18	Se (IBUTG é N4) e (ruído é R3) Então (IBE é Muito ruim)
19	Se (IBUTG é N4) e (ruído é R4) Então (IBE é Muito ruim)
20	Se (IBUTG é N4) e (ruído é R5) Então (IBE é Muito ruim)
21	Se (IBUTG é N5) e (ruído é R1) Então (IBE é Ruim)
22	Se (IBUTG é N5) e (ruído é R2) Então (IBE é Muito ruim)
23	Se (IBUTG é N5) e (ruído é R3) Então (IBE é Muito ruim)
24	Se (IBUTG é N5) e (ruído é R4) Então (IBE é Muito ruim)
25	Se (IBUTG é N5) e (ruído é R5) Então (IBE é Muito ruim)

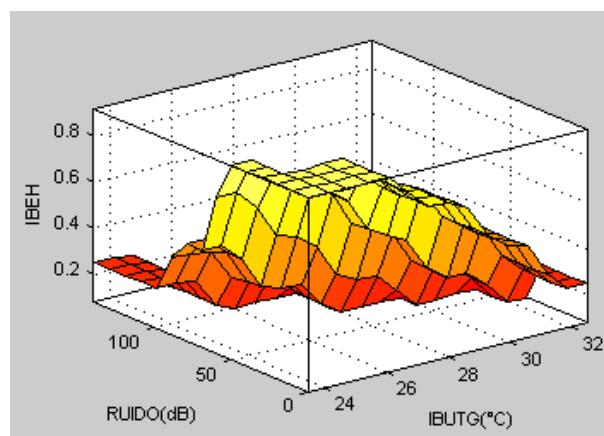


Figura 3. IBEH simulado em função das variáveis de entrada: nível de ruído (dB(A)) e IBUTG (°C).

Pode-se observar pelas simulações, os pontos em que o IBEH é alto ( $\geq 0,5$ ), evidenciando ambientes onde a situação laboral do trabalhador se encontra em conforto, fazendo com que toda sua atenção esteja voltada para o exercício da atividade. Os pontos onde o IBEH é baixo ( $\leq 0,2$ ) estão diretamente relacionados aos ambientes insalubres, fazendo com que ocorra maior desgaste físico e psicológico do trabalhador e aumentando, assim, as chances de erros e riscos de acidentes de trabalho.

A Figura 4 apresenta uma simulação dos níveis de IBEH em função de cada combinação dos valores de IBUTG e ruído, sendo que o método estatístico utilizado na interpolação dos dados foi o polinomial local, segundo Jakob; Young (2006), indica quando as variáveis apresentam uma curta variação da tendência, sendo este um método de interpolação determinístico moderadamente rápido, pois suaviza os dados.

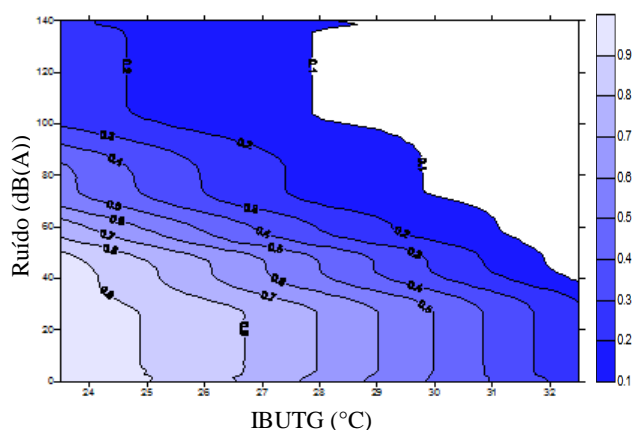


Figura 4. Variação do IBEH em função das diversas combinações de IBUTG e ruído.

De posse dessas simulações, pode-se inferir sobre a salubridade do ambiente de trabalho e propor medidas de controle, visando o conforto do trabalhador. Tais medidas podem ser: aumento do tempo de descanso; manejo do horário de trabalho, dando preferência para as horas do dia em que a temperatura está mais baixa; uso de roupas apropriadas para diminuir a sensação térmica e aumentar a reflexão da radiação solar além do uso de protetores auriculares. O aumento do tempo de descanso como forma de reduzir o efeito do ruído e de temperatura sobre humanos foi reportado por Gosling; Araújo (2008).

Em pesquisa avaliando o ambiente térmico e acústico em galpão de frangos de corte, Damasceno (2008) obteve valores médios diários de 25,5 °C e 63,1 (dB(A)) para IBUTG e ruído, respectivamente. Para esse ambiente, o modelo *fuzzy* proposto o classifica como salubre, apresentando uma classificação “médio” para os parâmetros de avaliação *fuzzy*, que podem variar de muito ruim (pior situação de salubridade) até muito bom (melhor situação de salubridade). Ainda em ambientes de trabalho agrícola, Yanagi Junior *et al.* (2012), avaliando ambiente de ruído em máquinas agrícolas obtiveram valores de IBUTG de 21,8 °C e ruído de 94,3 (dB(A)), para esta situação o modelo *fuzzy* classificou o ambiente, segundo os parâmetros utilizados, como “ruim”, sendo que nesta situação deve-se adotar medidas urgentes para redução do ruído e adequação ao IBUTG permitido para o regime de trabalho utilizado.

Estes resultados comprovam a capacidade do modelo proposto em ponderar a interação de diferentes variáveis no conforto térmico e acústico de trabalhadores. Sendo válido ressaltar que este modelo pode ser usado para quantificar o bem-estar humano em quaisquer ambientes de trabalho, nos quais o trabalhador esteja sujeito às variáveis consideradas.

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo *fuzzy* proposto permite estimar o índice de salubridade de trabalhadores, com base nas normativas de bem-estar vigente, considerando a influência de cada variável de entrada no conforto do trabalhador.

Este sistema pode ainda auxiliar na tomada de decisões quanto ao controle do ambiente de trabalho, evitando assim danos à saúde do trabalhador.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e CNPq pelo auxílio financeiro ao projeto.

#### 6. REFERÊNCIAS

ALVES, J. U. et al. Avaliação do ambiente de trabalho na propagação de *Eucalyptus* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 481-486, set./dez. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10152: Níveis de ruídos para conforto acústico. São Paulo: ABNT, 1990. 4p.

BAESSO, M. M. et al. Avaliação do nível de ruído emitido por um conjunto trator-pulverizador com e sem assistência de ar. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 4, p. 400-407, out./dez. 2008.

BARIN, A. et al. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica fuzzy. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, n. 5, p.477-486, out./nov. 2010.

CREMASCO, C. P. et al. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 21-39, jan./mar. 2010.

DAMASCENO, F. A. **Bem-estar do animal e do trabalhador em galpões avícolas climatizados**. 2008. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**. Copenhagen: Danish Technical, 1970. 244p.

FERREIRA, L. et al. Development of algorithm using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows: Part I. **Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal**, Hokkaido, v. 9, p. 1-16, dez. 2007.

FUNDACENTRO. **NHO/01: Avaliação da exposição ocupacional ao ruído**. São Paulo: Fundacentro, 1999. 37p.

GOSLING, M.; ARAÚJO, G. C. D. Saúde física do trabalhador rural submetido a ruídos e à carga térmica: um estudo em operadores de tratores. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 275-286, jul./set. 2008.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15, 2006, Caxambú, Minas Gerais. **Anais...** Caxambu: ABEP. 2006. p.

LEITE, M. S. et al. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 147-158, mar./abr. 2010.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (TEM). Portaria 3.214 de jul. 1990. **Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR-15): atividades e operações insalubres**. Brasília. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15>>. Acesso em: junho 2013.

MION, R. L. et al. Avaliação dos níveis de ruído de um conjunto mecanizado trator e semeadora adubadora pneumática. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 87-92, mar./abr. 2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Occupational and community noise**. Geneva: World Health Organization, 2001. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs258/en/>>. Acesso em: 20 Fev. 2002.

OWADA, A. N. et al. Estimativa do bem-estar de frangos de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 611-618, set./dez. 2007.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624-634, jul./set. 2008.

PIMENTEL, S. F.; ÁLVARES, P. A. S. **A poluição sonora urbana no trabalho e na saúde**. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/lpf>. Acesso: jan. 2004.

ROBIN, P. **Segurança e ergonomia em maquinaria agrícola**. São Paulo: IPT, 1987. 24 p.

SCHIASSI, L. et al. Fuzzy modeling applied to the welfare of poultry farms workers. **Dyna**, Medellín, n. 174, p. 127-135, ago. 2012.

SCHIASSI, L. et al. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 181-191, mar./abr. 2008.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.423-434, mar./abr. 2012.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Journal Information and Control**, Cambridge, n. 8, p. 338-353, dez. 1965.