



LEONARDO SCHIASSI

**MODELAGEM FUZZY E GEOESTATÍSTICA
NA AVALIAÇÃO DA SALUBRIDADE DE
TRABALHADORES**

LAVRAS - MG

2011

LEONARDO SCHIASSI

**MODELAGEM FUZZY E GEOESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DA
SALUBRIDADE DE TRABALHADORES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração Modelagem e Avaliação de Sistemas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. Jackson Antônio Barbosa

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Schiassi, Leonardo.

Modelagem fuzzy e geoestatística na avaliação da salubridade de
trabalhadores / Leonardo Schiassi. – Lavras : UFLA, 2011.

94 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Ambiência humana. 2. Modelagem matemática. 3. Máquinas
agrícolas. 4. Ergonomia. 5. Krigagem. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 003.35131

LEONARDO SCHIASSI

**MODELAGEM FUZZY E GEOESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DA
SALUBRIDADE DE TRABALHADORES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração Modelagem e Avaliação de Sistemas, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2011.

Dr. Alessandro Torres Campos	UFLA
Dr. Jackson Antônio Barbosa	UFLA
Dr. Tadayuki Yanagi Junior	UFLA
Dr. Renato Ribeiro de Lima	UFLA
Dra. Cecília de Fátima Souza	UFV

Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

LAVRAS - MG

2011

Aos meus pais, Adão Schiassi e Irene Vieira Schiassi, por tudo que me ensinaram e pelo orgulho que tenho em tê-los como exemplo de vida, trabalho e honestidade

OFEREÇO

Aos meus irmãos, familiares e amigos, pelo incentivo, apoio e confiança, sempre acreditando e desejando meu sucesso.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus irmãos, Marcelo, Marlene, Nenê, Marcília, Moacir e Jú, pelo constante apoio, amizade e incentivo.

Aos meus cunhados, Rosa, João Bosco, Roselene, Wagner e Raquel, pela cooperação e amizade.

Ao professor e orientador Dr. Tadayuki Yanagi Junior, pelos ensinamentos, amizade e oportunidades.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia da UFLA, em especial aos professores Dr. Renato Ribeiro de Lima e Dr. Jackson Antônio Barbosa, pela colaboração nas análises dos dados e disponibilidade de materiais para as coletas de campo.

Aos amigos, Lucas, Patrícia e Gabriel pela grande ajuda nas coletas de campo.

Ao amigo Diogo Francisco Rossoni, pela colaboração nas análises estatísticas.

Aos amigos do grupo de pesquisa em Construções e Ambiência, Gleice, Gregory, Priscilla e Luiz Henrique.

*O Senhor é o meu pastor; nada me faltará.
Deitar-me faz em pastos verdejantes;
Guia-me mansamente a águas tranquilas;
Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum,
porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.*

SALMO 23

BIOGRAFIA

Leonardo Schiassi, filho de Adão Schiassi e Irene Vieira Schiassi, nasceu na cidade de Paraguaçu, MG, em 05 de julho de 1982. Estudou nas escolas estaduais Pedro Leite e Padre Piccinini em Paraguaçu. Formou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), MG, em dezembro de 2008. Em março de 2009, iniciou o Mestrado em Engenharia de Sistemas, realizando seus estudos na área de Modelagem de Sistemas Biológicos.

RESUMO

O objetivo principal dessa pesquisa foi a avaliação do bem-estar de operadores de máquinas agrícolas com relação aos ambientes térmico e acústico considerando o regime de trabalho e o tipo de atividade desenvolvida. Para tanto, foram coletados dados de temperatura do ar, temperatura de globo negro, umidade relativa e nível de ruído em quatro diferentes máquinas agrícolas. Visando obter uma ferramenta matemática para classificar o ambiente de trabalho, foi desenvolvida uma modelagem utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*, na qual o conforto é classificado com base na interação entre as variáveis térmicas, acústicas, tipo de atividade e tempo de descanso ao qual o trabalhador está sendo submetido. Para testar o sistema desenvolvido foram utilizados dados experimentais, realizando simulações para prever o índice de bem-estar e o tempo de descanso ideal para cada equipamento avaliado. Em seguida, foi realizada a caracterização da variabilidade espacial do nível de ruído por meio da geoestatística, possibilitando assim definir pontos com diferentes níveis de ruído para a área amostral. A modelagem proposta pode ser usada para determinação do nível de bem-estar de operadores de máquinas agrícolas, auxiliando na tomada de decisões quanto ao regime de trabalho e uso de equipamentos de segurança, sendo que o uso da geoestatística possibilitou verificar a distribuição espacial dos níveis de ruído para cada equipamento e sua influência no bem-estar de trabalhadores.

Palavras-chave: Ambiência humana. Modelagem matemática. Máquinas agrícolas. Ergonomia. Krigagem.

ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the well-being of agricultural machine operators with respect to thermal and acoustic environments considering the work arrangements and the activity type. For that, data of air temperature, black globe temperature, relative humidity and noise level were measured for four different agricultural machinery. Seeking a mathematical tool to classify the work environment, a mathematical model based on fuzzy sets theory was developed, where comfort is classified based on the interaction among thermal, acoustic, activity type and rest periods parameters to which the worker is being submitted. Experimental data were used to test the system, running simulations to predict the well-being index and the ideal rest time for each equipment evaluated. Then, the characterization of spatial variability of the noise was performed through geostatistics, allowing set the points with different noise levels from the sample area. The proposed model can be used to determine the level of well-being for agricultural machine operators, assisting in decisions making regarding the arrangements of work and use of safety equipment, and the use of geostatistics allowed to verify the spatial distribution of noise levels for each equipment and its influence on the workers welfare.

Keywords: Human environment. Mathematical modeling. Agricultural machines. Ergonomics. Kriging.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

PRIMEIRA PARTE

Figura 1	Desenvolvimento computacional fuzzy.....	27
Gráfico 1	Níveis de pressões sonoras aproximadamente entre o limiar da audibilidade e da dor, e as correspondentes pressões sonoras.....	24
Gráfico 2	Representação de uma função de pertinência triangular.....	23
Gráfico 3	Exemplo de representação do conjunto fuzzy com respectiva modelagem.....	25
Gráfico 4	Exemplo de um semivariograma. Adaptado de Camargo (1998).....	29

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Gráfico 1	Funções de pertinência para as variáveis: (a) IBUTG (°C), (b) nível de ruído (dB(A)), (c) grau de metabolismo ($W m^{-2}$) e (d) tempo de descanso (%). Pertinence functions for the variables: (a) WBGTI (°C), (b) noise level (dB(A)), (c) metabolic rate ($W m^{-2}$) and (d) rest time (%).....	50
Gráfico 2	Funções de pertinência para a variável de saída índice de bem-estar humano (IBEH). Pertinence functions for the output variable human well-being index (HWBI).....	51
Gráfico 3	IBEH simulado em função das variáveis de entrada: a) IBUTG (°C) e descanso (%), b) ruído (dB(A)) e IBUTG (°C), c) metabolismo ($W m^{-2}$) e IBUTG (°C), d) descanso (%) e ruído (dB(A)), e) descanso (%) e metabolismo ($W m^{-2}$), f) ruído (dB(A)) e metabolismo ($W m^{-2}$). HWBI simulated in the function of combinations of input variables: a) WBGTI (°C) and rest time (%), b) noise (dB(A)) and WBGTI (°C), c) metabolic rate ($W m^{-2}$) and WBGTI (°C), d) rest time (%) and noise (dB(A)), e) rest time (%) and metabolic rate ($W m^{-2}$), f) noise (dB(A)) and metabolic rate ($W m^{-2}$).....	55
Gráfico 5	IBEH simulado em função das variáveis de entrada: a) metabolismo ($W m^{-2}$) e descanso (%) e b) metabolismo ($W m^{-2}$) e ruído (dB(A)). HWBI simulated as a function of combinations of the input variables: a) metabolic rate ($W m^{-2}$) and rest time (%), b) metabolic rate ($W m^{-2}$) and noise (dB(A)).....	57

Gráfico 6	Comparação dos dados de ruído com os valores de tempo de descanso simulado e limite máximo de ruído permitido pela norma para (a) trator e (b) motosserra. Comparison of noise data with values of the simulated rest time and maximum noise allowed by the standard for (a) tractor and (b) chainsaw	61
Gráfico 7	Comparação dos dados de ruído com os valores de tempo de descanso simulado e limite máximo de ruído permitido pela norma para a) roçadora e b) derrçadora. Comparison of noise data with values of the simulated rest time and maximum noise allowed by the standard for a) brushcutter and b) harvester	62
ARTIGO 2		
Gráfico 1	Croqui da área experimental. Lay-out of the experimental área.....	77
Gráfico 2	Semivariogramas para a função gaussiana dos dados de ruído para os equipamentos: (a) derrçadora, (b) motosserra, (c) roçadora e (d) trator. Semivariograms for the gaussian function of the noise data for the equipments: (a) harvester (b) chainsaw, (c) brushcutter and (d) tractor ...	83
Gráfico 3	Distribuição espacial dos níveis de ruído (dB(A)) para os equipamentos: (a) derrçadora, (b) motosserra, (c) roçadora e (d) trator. Spatial distribution of noise level (dB(A)) for the equipments: (a) harvester, (b) chainsaw, (c) brushcutter and (d) tractor	85
Gráfico 4	Distribuição espacial dos níveis de ruído (dB(A)) para os equipamentos: a) roçadora e b) trator. Spatial distribution of noise level (dB(A)) for the equipments: a) brushcutter and b) tractor	86

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1	Limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de trabalho (IBUTG, °C).....	21
----------	--	----

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1	Limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de trabalho (IBUTG, °C). Tolerance limits for heat exposure, under intermittent work regime with rest periods at the own workplace (WBGTL, °C)	47
Tabela 2	Intervalos de níveis de ruído utilizados para desenvolvimento dos conjuntos fuzzy. Ranges of noise levels used for development of fuzzy sets	48
Tabela 3	Taxas metabólicas por tipo de atividade. Metabolic rates by type of activity	48
Tabela 4	Conjuntos fuzzy para as variáveis de entrada. Fuzzy sets for input variables	49
Tabela 5	Intervalo dos conjuntos fuzzy para a variável índice de bem-estar humano (IBEH). Range of fuzzy sets for the variable human well-being index (HWBI)	51
Tabela 6	Predição fuzzy para o tempo de descanso nas máquinas: trator (T), motosserra (M), roçadora (R) e derriçadora (D) com diferentes distâncias de coletas. Fuzzy prediction for the rest time on the machines: tractor (T), chainsaw (M), brushcutter (R) and harvester (D) with different collect distances	59

ARTIGO 2

Tabela 1	Mínimo, máximo, média, desvio padrão e erro padrão para os valores de ruído (dB(A)) nos equipamentos avaliados. Minimum, maximum, mean, standard deviation and standard error for noise levels (dB(A)) in equipment evaluated	80
----------	--	----

Tabela 2	Estimativas para os parâmetros do semivariograma experimental para a variável nível de ruído nos equipamentos avaliados. Parameters estimates of the experimental semivariogram for the variable noise level on the equipment evaluated	81
----------	--	----

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

IBUTG	Índice de bulbo úmido e temperatura de globo (°C)
T _{bu}	Temperatura de bulbo úmido (°C)
T _{gn}	Temperatura de globo negro (°C)
T _{bs}	Temperatura de bulbo seco (°C)
IBEH	Índice de bem-estar humano

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO GERAL	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	O ambiente e o homem	19
2.1.1	Ambiente térmico	19
2.1.2	Ambiente acústico	22
2.2	Sistemas <i>fuzzy</i>	23
2.2.1	Estrutura	23
2.2.2	Aplicação	27
2.3	Geoestatística	28
2.3.1	Semivariograma	28
2.3.1.1	Modelos teóricos de semivariograma	30
2.3.2	Krigagem	31
3	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	33
3.1	Objetivos gerais	33
3.2	Objetivos específicos	33
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	35
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	39
	ARTIGO 1 Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do nível de salubridade em atividades agrícolas	39
1	INTRODUÇÃO	42
2	MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1	Variáveis de entrada	46
2.2	Variáveis de saída	50
2.3	Sistema de regras	51
2.4	Avaliações a campos	52
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.1	Desenvolvimento do modelo	54
3.2	Teste do modelo <i>fuzzy</i>	58
4	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	66
	ARTIGO 2 Variabilidade espacial do nível de ruído em máquinas agrícolas visando a salubridade de trabalhadores	71
1	INTRODUÇÃO	74
2	MATERIAIS E MÉTODOS	76
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80

4	CONCLUSÕES.....	88
	REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO GERAL

Estudos envolvendo a segurança no trabalho vêm tomando maiores proporções devido à busca pelo aumento das fronteiras comerciais exigidas pelo mercado externo e à adequação das atividades através das normas regulamentadoras do ministério do trabalho em função das questões trabalhistas.

Existem determinados desconfortos que afetam o trabalhador, causando doenças ocupacionais além de danos irreversíveis à saúde e, conseqüentemente, influenciam o sistema produtivo gerando perdas aos produtores.

Os principais desconfortos sofridos pelos trabalhadores nas agroindústrias são os desconfortos térmico e acústico, sendo que a influência e intensidade de cada um destes fatores afetando o trabalhador irá variar com o tipo de atividade desenvolvida, além da idade, sexo e adaptação prévia ao ambiente de trabalho.

A avaliação da exposição a temperaturas excessivas é de grande importância para que se possa garantir o conforto térmico do trabalhador. Com relação aos trabalhadores da agroindústria, de maneira geral, estes estão expostos a riscos para a sua integridade física e psicológica e isto pode implicar em seu afastamento da empresa por períodos de tempo consideráveis, prejudicando a si próprio e gerando prejuízos também para as empresas.

Além da exposição ao calor, a permanência de pessoas em níveis de ruído elevados pode causar comprometimentos orgânicos diversos, como hipertensão arterial, estresse, aumento da tensão muscular e incapacidade de concentração. Também é responsável por distúrbios auditivos temporários e permanentes.

Visando quantificar a interação dessas variáveis no conforto do trabalhador, pode-se lançar mão de técnicas de modelagem computacional. Tais métodos, conhecidos como sistemas especialistas inteligentes, são capazes de

executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base de conhecimento, sendo que os mais utilizados e testados são a lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais.

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, ou segundo a tradução, a teoria dos conjuntos nebulosos, desenvolvida por Lofti A. Zadeh em 1965 (ZADEH, 1965), consiste em uma revolução da teoria dos conjuntos clássicos, permitindo a introdução de graus de incerteza ao lidar com conjuntos. Utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy* pode-se quantificar a interação entre duas ou mais variáveis na avaliação do bem-estar em ambientes de trabalho.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo *fuzzy* para avaliar o bem-estar de trabalhadores agrícolas e utilizar técnicas de geoestatística para caracterizar a estrutura e a magnitude de dependência espacial dos dados de ruído em ambientes de trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial bibliográfico será abordado o tema bem-estar humano, em especial os efeitos dos ambientes térmico e acústico no conforto de trabalhadores agrícolas, além de um breve estudo sobre a metodologia *fuzzy* e geoestatística.

2.1 O ambiente e o homem

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). 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.

2.1.1 Ambiente térmico

As condições climáticas têm grande efeito sobre o desempenho do trabalhador. Quando o clima é desfavorável, ocorrem indisposição e fadiga, diminuindo a eficiência e aumentando os números de acidentes (GRANDJEAN, 1982).

Visando quantificar a influência do ambiente térmico no bem-estar do trabalhador vários pesquisadores propuseram índices, dentre os quais pode-se destacar: índice biofísico (OLGYAY, 1963) e índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG). Para a avaliação da exposição ao calor, a legislação brasileira de atividades e operações insalubres (NR-15, 1990),

Portaria 3.214 de 08 de junho de 1990, do ministério do trabalho e emprego, em seu anexo 3 (Limites de tolerância para exposição ao calor), indica o uso do IBUTG, sendo esse um dos índices mais utilizados no mundo (DAMASCENO, 2008).

O IBUTG foi desenvolvido pela marinha americana como parte de um estudo que relacionou os danos causados pelo calor nos treinamentos militares. Esse índice é recomendado por organizações internacionais por criar critérios de exposição de trabalhadores a ambientes quentes e é adotado como padrão da ISO 7243. Porém, segundo Epstein e Moran (2006), a limitação inerente ao IBUTG está na sua aplicabilidade a um grande número de cenários e ambientes, devido ao inconveniente de medir a temperatura de globo negro (t_{gn}). A t_{gn} é medida por um sensor de temperatura localizado no centro de um globo de cobre (diâmetro: 150 mm), pintado de preto fosco.

O IBUTG é determinado considerando-se os ambientes internos ou externos sem carga solar (Equação 1) e ambientes externos com carga solar (Equação 2). Funciona, também, como um indicador que engloba os principais fatores causadores da sobrecarga térmica (alta temperatura, calor radiante e alta umidade relativa do ar) e também, os principais fatores atenuadores da mesma (ventilação do ambiente, baixa umidade relativa do ar e baixa temperatura) fornecendo uma escala de tempo de trabalho e de repouso para uma determinada situação (COUTO, 1995).

O IBUTG é calculado por:

- a) Ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$IBUTG = 0,7 t_{bu} + 0,3 t_{gn} \quad (1)$$

b) Ambientes externos com carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7 t_{\text{bu}} + 0,1 t_{\text{bs}} + 0,2 t_{\text{gn}} \quad (2)$$

em que,

t_{bu} : temperatura de bulbo úmido (°C);

t_{gn} : temperatura de globo negro (°C) e

t_{bs} : temperatura de bulbo seco (°C).

As medições devem ser efetuadas no local onde permanece o trabalhador, na região próxima ao centro do tórax. Em função do IBUTG obtido, o regime de trabalho intermitente está definido na Tabela 1.

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

Regime de trabalho	Tipo de atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitida a exposição sem a adoção de alguma medida de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

Fonte: NR-15 (1990)

2.1.2 Ambiente acústico

O som é a variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo e ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa, ou seja, que na maioria das vezes pode ser classificado como um som indesejável. A unidade de potência do som é o decibel (dB) e equivale dizer que 1 dB é a mínima variação da potência sonora detectável pelo sistema auditivo humano (BISTAFA, 2006).

Diferente de outros tipos de poluição, a poluição sonora não deixa traços visíveis de sua influência no ambiente. Essa é, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas. Além disso, o ruído é um dos agentes físicos nocivos mais comuns encontrados em ambientes de trabalho (NASCIMENTO et al., 2007). Segundo Nääs, Miragliotta e Baracho (2001), a ocorrência de perda auditiva acontece em função de fatores relacionados às características individuais do trabalhador exposto ao ruído, ao meio ambiente ou ao próprio agente agressivo, ou seja, o som.

No Gráfico 1 estão representados os níveis de pressões sonoras compreendidos entre o limiar da audibilidade e o limiar da dor, e as correspondentes pressões sonoras. Pela mesma Figura, pode-se observar a vantagem de se trabalhar com níveis de pressão sonora, ou seja, escala logarítmica, resultando em uma faixa mais facilmente manipulável (0 a 140 dB). Outra vantagem do nível logarítmico está associada ao fato de o sistema auditivo só detectar variações de níveis de pressão sonoras superior a 1 dB, aproximadamente.

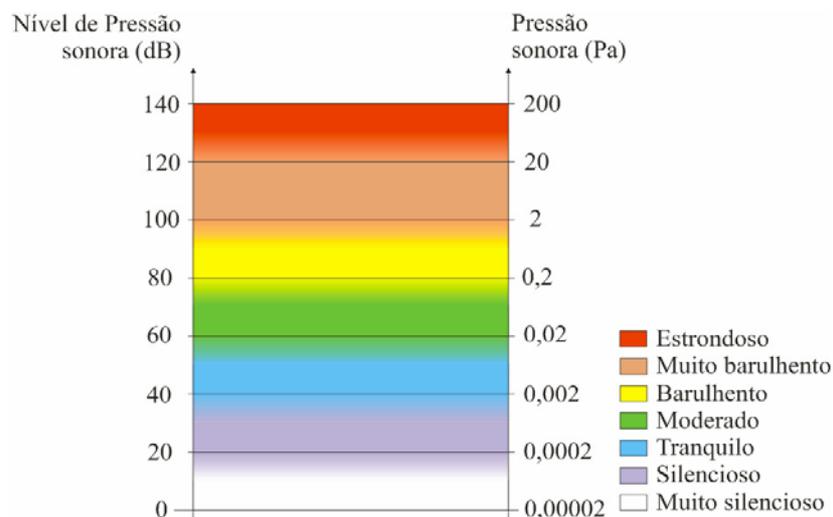


Gráfico 1 Níveis de pressões sonoras aproximadamente entre o limiar da audibilidade e da dor, e as correspondentes pressões sonoras. Adaptado de Bistafa (2006)

2.2 Sistemas *fuzzy*

Sistemas *fuzzy*, baseados na lógica *fuzzy*, são sistemas capazes de trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil implementação computacional. Na década de 1990, com o uso intensivo dos novos recursos computacionais foi possível a criação de técnicas de modelagem e o desenvolvimento de sistemas especialistas inteligentes capazes de executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base de conhecimento.

2.2.1 Estrutura

Um conjunto *fuzzy* é representado por uma função de pertinência de forma arbitrária, sendo que as mais utilizadas são as triangulares, trapezoidais e

gaussianas (ORTEGA, 2001). O Gráfico 2 ilustra uma função de pertinência triangular, na qual $\mu_A(X)$ representa o grau de pertinência da variável em estudo X no conjunto *fuzzy* A .

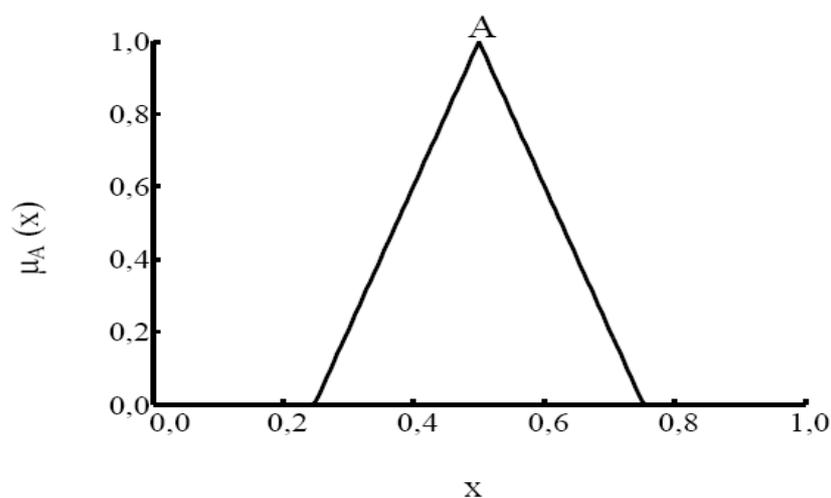


Gráfico 2 Representação de uma função de pertinência triangular

As curvas de pertinência triangulares são as mais usadas e representam adequadamente o comportamento dos dados de entrada, de acordo com a literatura (AMENDOLA; MOLLO NETO; CRUZ, 2005; FERREIRA et al., 2007; SCHIASSI et al., 2008; YANAGI JUNIOR et al., 2006).

Um sistema *fuzzy* é constituído por variáveis de entrada e saída. Para cada variável são atribuídos conjuntos *fuzzy* que caracterizam tais variáveis, sendo que, para cada conjunto *fuzzy*, é criada uma função de pertinência. Em seguida, é realizada a inferência *fuzzy* que consiste na construção do sistema de regras, caracterizando as variáveis de entrada e saída com seus respectivos conjuntos *fuzzy*. O sistema de regras pode ser construído com base em bancos de dados e opiniões de especialistas. Cada regra é composta por conectivos lógicos (se, e, ou, então), como por exemplo:

Regra: **SE** x é A **E** y é B **ENTÃO** z é C

em que: A, B e C são conjuntos *fuzzy*.

Como exemplo de conjunto *fuzzy* (Gráfico 3) é apresentado a seguir a classificação de uma pessoa como jovem de acordo com a idade fornecida. Nesse exemplo o universo de discurso é a idade, o termo linguístico é o jovem e a variável utilizada é a idade (x). A partir daí, é possível verificar o quanto uma pessoa é considerada jovem ou não, de acordo com a função característica adotada.

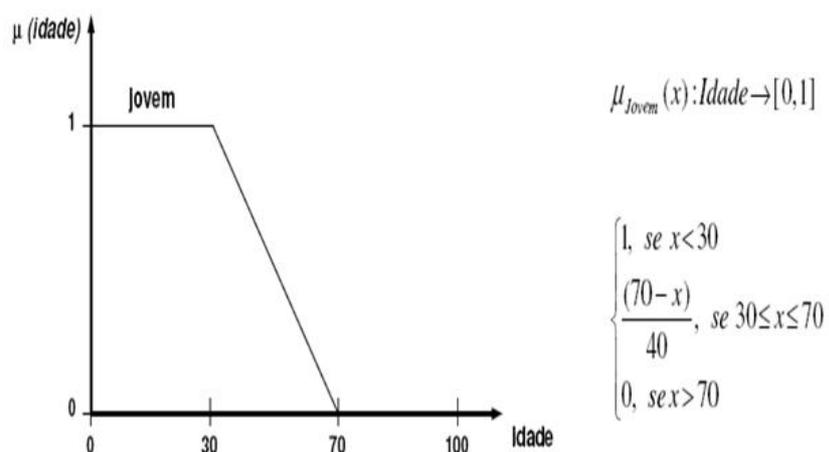


Gráfico 3 Exemplo de representação do conjunto *fuzzy* com respectiva modelagem

O Gráfico 3 apresenta uma região de transição gradual entre o intervalo $[30, 70]$. Este trecho caracteriza a região duvidosa do conjunto. Analisando o conjunto, para valores de x (idade) menores que 30 anos a pessoa é considerada jovem. Para valores de x maiores que 70 anos a pessoa é considerada não jovem. Para o valor de x localizado de 30 a 70 anos, a pessoa recebe um grau de

pertinência (valor real entre 0 e 1) que indica o quanto ela está próximo de ser considerada como jovem. O valor do grau de pertinência é fornecido pela função de pertinência. Se o valor do nível de certeza estiver próximo de 1, maior é a certeza de ela ser classificada como jovem.

A função de pertinência representa a associação do termo lingüístico ao conjunto *fuzzy*. Por exemplo, ao atribuir um valor igual a 20 anos, a pessoa é considerada como jovem. Para um valor igual a 72 anos, a pessoa é considerada como não jovem. Para um valor igual a 40 anos a pessoa tem um grau de pertinência igual a 0,75. Este valor representa que a pessoa está mais próxima da região jovem. Para um valor igual a 55 anos o grau de pertinência é de 0,375 indicando que a pessoa está muito mais próxima da região não jovem. Portanto o número encontrado pela função de pertinência quantifica os atributos físicos da realidade. Isso faz com que uma informação duvidosa se torne uma informação mais adequada para a linguagem natural, ou seja, associado à imprecisão.

Segundo Mendel (1995), para o desenvolvimento computacional de um sistema *fuzzy*, pode-se utilizar um *software* que possa realizar todos os procedimentos necessários para a sua construção, sendo que a avaliação computacional é caracterizada pelas etapas de fuzificação (transforma as variáveis de entrada em funções de pertinência), inferência (realiza o raciocínio *fuzzy* com base num sistema de regras, promovendo a saída *fuzzy*) e defuzificação (realiza a tradução do valor lingüístico em valor numérico), conforme ilustrado na Figura 1.

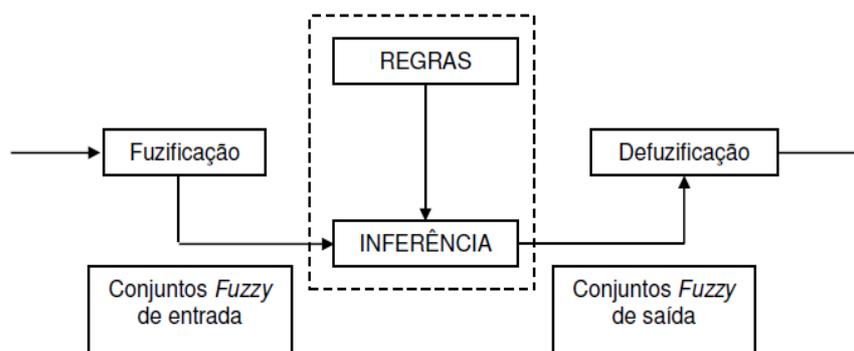


Figura 1 Desenvolvimento computacional *fuzzy*

2.2.2 Aplicação

A metodologia *fuzzy* tem sido utilizada em várias áreas como análises de dados, sistemas especialistas, controle e otimização, controle de aeronaves e biomedicina (LOPES, 1999; ORTEGA, 2001; RIBACIONKA, 1999; WEBER; KLEIN, 2003). Na área de ambiência animal, várias aplicações indicam o seu potencial de uso, como estudos de conforto térmico em aves (AMENDOLA; MOLLO NETO; CRUZ, 2005; GATES; CHAO; SIGRIMIS, 2001; OLIVEIRA; AMENDOLA; NÄÄS, 2005; YANAGI JUNIOR et al., 2006) e suínos (QUEIROZ; NÄÄS; SAMPAIO, 2005). Além dessas, também foi aplicado na detecção de cio em vacas leiteiras (FERREIRA et al., 2007; FIRK et al., 2003).

A aplicação da lógica *fuzzy* na avaliação do ambiente de trabalho se torna necessária e válida no sentido de quantificar o bem-estar do trabalhador e, ao mesmo tempo, o nível de salubridade do ambiente de trabalho. Sendo assim, esta metodologia se apresenta como uma ferramenta confiável na pré-determinação do conforto no ambiente de trabalho, auxiliando na redução dos erros e aumentando a segurança e saúde dos trabalhadores.

2.3 Geoestatística

As técnicas geoestatísticas podem ser usadas para descrever e modelizar padrões espaciais (variografia), para prever valores em locais não amostrados (krigagem), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância de krigagem) e para otimizar malhas de amostragem (ANDRIOTTI, 2003).

Segundo Cressie (1993), apesar de toda complexidade formal, a geoestatística é baseada, fundamentalmente, em apenas dois conceitos: o semivariograma e a krigagem. O primeiro tem o papel de descrever a estrutura da variabilidade espacial, e o segundo possui a função de prever, não-tendenciosamente e com variância mínima, os valores não medidos (LAMPARELLI; ROCHA; BORGHI, 2001). Ainda de acordo com estes autores, a krigagem se distingue de outros métodos de interpolação por ser um método que utiliza um modelo empírico da continuidade espacial existente, com base na distância ou direção das amostras, expresso pelo semivariograma.

2.3.1 Semivariograma

Segundo Silva (1988), um dos métodos mais antigos de se estimar a dependência, no espaço ou no tempo, de amostras vizinhas é por meio da autocorrelação espacial das amostras, caracterizada pela dependência espacial. O semivariograma representa graficamente o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimação de valores em locais não amostrados, através da técnica de krigagem. O semivariograma clássico é estimado por (Equação 3):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

em que $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . O semivariograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(h)$ versus h .

O Gráfico 4 ilustra um semivariograma empírico com características muito próximas do ideal. O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$ decresçam à medida que h decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que $\hat{\gamma}(h)$ aumente com a distância h .

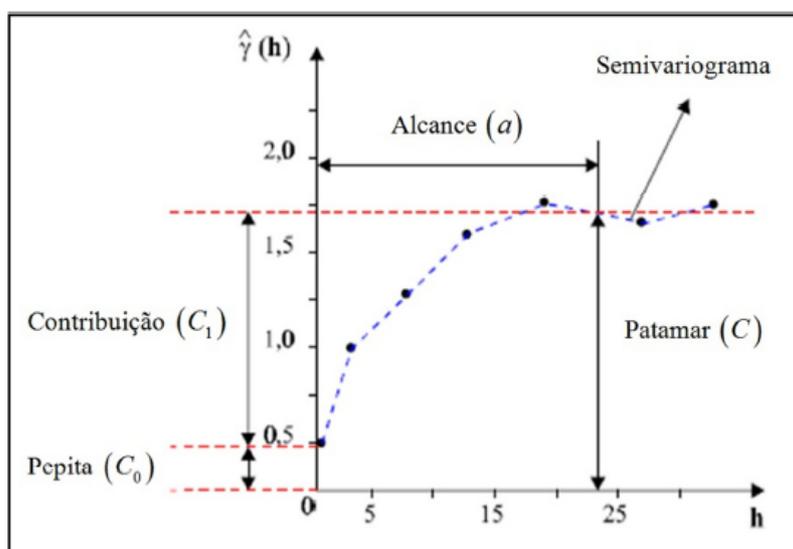


Gráfico 4 Exemplo de um semivariograma. Adaptado de Camargo (1998)

Através do semivariograma devem-se obter os parâmetros da estrutura de dependência espacial, úteis no processo de predição geoestatística. Conforme representado no Gráfico 4, esses parâmetros são:

Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente, então, além do alcance considera-se que não exista dependência espacial.

Patamar (C): é o valor da semivariância correspondente ao alcance (a), isto é, $\hat{\gamma}(a) = C$.

Efeito pepita (C_0): teoricamente $\hat{\gamma}(0) = 0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\hat{\gamma}(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que a menor distância entre as amostras.

Contribuição (C_I): é a diferença entre o patamar (C) e o efeito pepita (C_0).

2.3.1.1 Modelos teóricos de semivariograma

A sensibilidade dos semivariogramas para detectar a variabilidade espacial das amostras está diretamente ligada ao melhor ajuste de modelo teórico ao semivariograma empírico. Modelos teóricos de semivariogramas são superpostos à seqüência de pontos obtidos no semivariograma empírico, de modo que a curva que melhor se ajusta aos pontos representa a magnitude, o alcance e a intensidade da variabilidade espacial da variável estudada. Alguns modelos teóricos mais utilizados de semivariograma, segundo definição de Journel e Huijbregts (2003), são os modelos esférico (Equação 4), exponencial (Equação 5) e gaussiano (Equação 6).

a) Modelo esférico (Sph);

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , \quad |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1,5 \left(\frac{|h|}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & , \quad 0 < |h| \leq a \\ C_0 + C_1 & , \quad |h| > a \end{cases} \quad (4)$$

b) Modelo exponencial (Exp);

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , \quad |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) \right] & , \quad |h| \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

c) Modelo gaussiano (Gaus):

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , \quad |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|^2}{a}\right) \right] & , \quad |h| \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

2.3.2 Krigagem

Na maioria das vezes, o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de dependência espacial, desejando-se também prever valores em pontos não amostrados. O interesse pode ser em um ou mais pontos específicos da área, ou obter uma malha de pontos interpolados que permitam visualizar o comportamento da variável na região, por meio de um mapa de isolinhas ou de superfície (SILVA, 2006).

A interpolação espacial é o processo de predição de uma variável em posições não amostradas, usando a informação de uma amostra (VALÊNCIA;

MEIRELLES; BETTINI, 2004). A krigagem é o método de interpolação da geoestatística, que utiliza a dependência espacial expressa no semivariograma entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. Estas duas características fazem da krigagem um interpolador ótimo (BURGESS; WEBSTER, 1980).

A condição de não tendenciosidade significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto seja nula, e a condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor estimado e o medido, essas diferenças devem ser mínimas.

Segundo Vieira (2000), para a aplicação da krigagem, assume-se que sejam conhecidas as realizações $z(x_1)$, $z(x_2)$..., $z(x_n)$ da variável $Z(x)$, nos locais x_1, x_2, \dots, x_n , que o semivariograma da variável já tenha sido determinado e que o interesse seja estimar um valor z^* na posição x_0 . O valor estimado $z^*(x_0)$ é dado por:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (7)$$

em que, $Z(x_0)$ é a média móvel ponderada; N é o número de valores medidos; λ_i são os pesos associados a cada valor medido e $Z(x_i)$, são os valores medidos.

3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

3.1 Objetivos gerais

Diante das incertezas sobre o conforto de trabalhadores da agroindústria, objetivou-se com a presente pesquisa, analisar a potencialidade de uso de sistemas inteligentes *fuzzy* (Capítulo 2) para prever o bem-estar humano e desenvolver mapas de distribuição de nível de ruído nas máquinas avaliadas (Capítulo 3) utilizando geoestatística.

3.2 Objetivos específicos

- a) desenvolver e analisar as respostas de um sistema *fuzzy*, utilizando inferência tipo Mamdani e defuzzificação pelo Centro de Gravidade (Capítulo 2) para a predição do bem-estar de trabalhadores;
- b) desenvolver mapas do comportamento espacial de ruído nos equipamentos, avaliando assim o nível de salubridade nestes ambientes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do alto grau de mecanização que as atividades agrícolas estão sendo submetidas, torna-se necessário avaliar a influência desses equipamentos e do ambiente circundante no bem-estar do trabalhador.

Tendo em vista o conforto do trabalhador e conseqüentemente, a produção, modelos matemáticos podem ser criados para a predição do nível de salubridade no ambiente de trabalho, além da possibilidade de mapeamento dos pontos de maior desconforto para o homem.

Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema *fuzzy* com base em quatro variáveis de entrada: índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG, °C), nível de ruído (dB(A)), taxa de metabolismo ($W m^{-2}$) e tempo de descanso (%), sendo que este modelo foi testado com dados de campo, visando seu ajuste às mais variadas situações de trabalho, tendo como resposta o índice de bem-estar humano (IBEH).

Mapas de krigagem foram desenvolvidos, visando o conhecimento do comportamento espacial dos níveis de ruído, o que auxilia na avaliação da salubridade nos ambientes avaliados.

O modelo *fuzzy* desenvolvido, bem como os mapas de krigagem obtidos, podem ajudar a avaliar e controlar o ambiente de trabalho em atividades agrícolas, visando o conforto e saúde do trabalhador e evitando perdas de produtividade.

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.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165 p.

AMENDOLA, M.; MOLLO NETO, M.; CRUZ, V. F. Using fuzzy sets to analyze environmental condition in order to improve animal productivity. **Biomatemática**, Campinas, n. 15, p.29-40, 2005.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 368 p.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: II block kriging. **Journal of Soil Science**, Baltimore, v. 31, n. 2, p.333-341, 1980.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. [S. l.: s. n.], 1998. cap. 5. Disponível em:
<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2008.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho: o manual técnico da máquina humana**. Belo Horizonte: Ergo, 1995. 353 p.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: J. Wiley, 1993. 900 p.

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

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, Tel Aviv, v. 44, n. 3, p.388-398, 2006.

FERREIRA, L. et al. Development of algorithm using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows: Part I. **Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal**, Manuscript IT 06 004, Beijing, v. 9, p.1-16, 2007.

FIRK, R. et al. Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases. **Livestock Production Science**, v. 82, n. 1, p.97-103, jul. 2003.

GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.31, n. 1, p.61-74, mar. 2001.

GRANDJEAN, E. **Fitting the task to the man: an ergonomic approach**. London: Taylor & Francis, 1982. 379 p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 2003. 600 p.

LAMPARELLI, A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, R. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118 p.

LOPES, G. T. **Proposta de um controlador ótimo de altura da plataforma de corte de colhedoras**. 1999. 155 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial. **IEEE**, v. 83, n. 3, p.345-377, mar. 1995.

NÄÄS, I. A.; MIRAGLIOTTA, M. Y.; BARACHO, M. S. Níveis de ruídos na produção de matrizes pesadas - Estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 2, maio/ago. 2001.

NASCIMENTO, R. G. et al. Avaliação da poluição sonora na Unicamp. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, Campinas, v. 3, n. 1, p.60-64, fev. 2007.

NORMAS Regulamentadora de segurança e saúde no trabalho (NR-15): atividades e operações insalubres. Brasília, 1990. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15>>. Acesso em: set. 2007.

OLGYAY, V. **Design with climate**: bioclimatic approach to architectural Regionalism. New Jersey: Princeton University, 1963. 190 p.

OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 300-307, maio/ago. 2005.

ORTEGA, N. R. S. **Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina**. 2001. 152 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2001.

QUEIROZ, M.; NÄÄS, I. A.; SAMPAIO, C. Estimating thermal comfort of piglets considering ammonia concentration. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, Manuscript IT 05 004/BC 05 005, Beijing, v. 7, p.1-10, 2005.

RIBACIONKA, F. **Sistemas computacionais baseados em lógica fuzzy**. 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Mackenzie, São Paulo, SP, 1999.

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

SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 1988.

SILVA, P. M. O. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG**. 2006. 155 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006.

VALÊNCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. P.; BETTINI, C. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. p. 37-56.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

WEBER, L.; KLEIN, P. A. T. **Aplicações de lógica fuzzy em software e hardware**. Canoas: ULBRA, 2003. 112 p.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. v. 1, p.1-4. 1 CD-ROM.

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

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

**METODOLOGIA FUZZY APLICADA À AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE
SALUBRIDADE EM ATIVIDADES AGRÍCOLAS**

Leonardo Schiassi¹, Tadayuki Yanagi Junior², Lucas Henrique P. Abreu³,
Jackson Antônio Barbosa⁴, Alessandro Torres Campos⁴

¹Doutorando em Eng. Agrícola. Universidade Federal de Lavras. leoschiassi@yahoo.com.br

²Professor Associado. Universidade Federal de Lavras. yanagi@deg.ufla.br

³Graduando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras.

⁴Professor Adjunto. Universidade Federal de Lavras.

METODOLOGIA FUZZY APLICADA À AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SALUBRIDADE EM ATIVIDADES AGRÍCOLAS

RESUMO

Diante do alto grau de mecanização a que as atividades agrícolas estão sendo submetidas, objetivou-se com esta pesquisa, desenvolver um modelo *fuzzy* capaz de avaliar e classificar o nível de salubridade em diversos ambientes de trabalho. O modelo desenvolvido tem como variáveis de entrada: o índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG, °C), nível de ruído (dB(A)), taxa de metabolismo ($W m^{-2}$) e tempo de descanso (%) e, como variável de saída, o índice de bem-estar humano (IBEH). O método de inferência utilizado foi o de Mandani e na defuzificação utilizou-se o método do centro de gravidade. O sistema de regras foi desenvolvido com base nas combinações das variáveis de entrada. Foram definidas 400 regras com pesos iguais a um, sendo que na elaboração das regras, um especialista da área foi consultado. Foram utilizados dados de campo visando testar o sistema desenvolvido e os resultados mostraram que a modelagem proposta é uma ferramenta promissora na determinação do índice de bem-estar de trabalhadores, sendo que, diante de um cenário pré-definido do ambiente térmico e acústico, foi possível determinar o grau de bem-estar humano e o tempo de descanso ideal para cada equipamento avaliado.

Palavras-chave: Bem-estar humano. Modelagem matemática. Sistemas inteligentes.

FUZZY METHODOLOGY APPLIED TO EVALUATION OF THE SALUBRITY LEVEL IN AGRICULTURE ACTIVITIES

ABSTRACT

Given the high degree of mechanization to which agricultural activities are being submitted, the objective of this research was to develop a fuzzy model able to evaluate and classify the salubrity level in different work environments. The model developed has as input variables: wet bulb globe temperature index (WBGTI, °C), noise level (dB(A)), metabolic rate ($W m^{-2}$) and rest time (%) and the correspondent output variable was the human well-being index (HWBI). The inference method used was Mandani and for the defuzification the method of central gravity was used. The system of rules was developed based on combinations of input variables. Four hundred rules were defined, with a weighting factor equal to one, and in the development of rules, a specialist was consulted. Field data were used in order to test the system and the results showed that the proposed model is a promising tool in determining the well-being index of workers, and that, given a pre-defined scenario of thermal and acoustic environment, it was possible to determine the degree of human well-being and the ideal rest time for each equipment evaluated.

Keywords: Human well-being. Mathematical modeling. Intelligent systems.

1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos, o bem-estar dos trabalhadores passou a ser uma das preocupações nas indústrias e agroindústrias para o adequado desempenho das atividades. Ambientes insalubres além de causar extenuação física e nervosa nos trabalhadores, provoca também queda no rendimento e afastamentos por problemas de saúde.

Existem determinados desconfortos que afetam o trabalhador, causando doenças ocupacionais, além de danos irreversíveis à saúde e, conseqüentemente, influenciam o sistema produtivo gerando perdas econômicas.

Dentre as fontes causadoras de estresse nos trabalhadores de agroindústrias destaca-se a exposição ao calor, ruído, vibração e iluminação, sendo que a intensidade e tempo de exposição a cada um desses fatores afetam seu desempenho. Outros fatores são idade, sexo e adaptação prévia ao ambiente de trabalho (CARVALHO, 2009).

Segundo EPSTEIN & MORAN (2006), o calor excessivo, além de provocar desconforto, pode afetar o desempenho e o comportamento das pessoas, causando mal-estar, inquietações e perda de concentração. A forma mais comum de quantificar ou medir a sensação de calor que sentimos é através da temperatura do ambiente, o que nem sempre é a melhor. Devido ao desconforto e às vezes ao risco que o excesso de calor pode causar, vários indicadores de estresse térmico foram criados.

No Brasil, para a avaliação da exposição ao calor, a NR-15 (1990), no seu anexo nº 03 (Limites de tolerância para exposição ao calor), indica o uso do índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG, °C).

Recentemente, 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, 2008; MION, 2009).

A Norma NBR-10.152 (NB-95, 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, estabelece os limites de exposição ao ruído para trabalhadores brasileiros.

Visando quantificar a interação dessas variáveis no conforto do trabalhador pode-se lançar mão de técnicas de modelagem computacional. Tais métodos, conhecidos como sistemas especialistas inteligentes, são capazes de executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base de conhecimento. Os sistemas mais utilizados e testados são a lógica *fuzzy* e redes neurais artificiais.

A teoria dos conjuntos *fuzzy*, ou segundo a tradução, a teoria dos conjuntos nebulosos, consiste em uma revolução da teoria dos conjuntos clássicos, permitindo a introdução de graus de incerteza ao lidar com conjuntos.

A metodologia *fuzzy* tem sido utilizada em várias áreas, como bem-estar animal (PANDORFI et al., 2007), análises de custo de produção (NÄÄS et al., 2010), sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica (ALMEIDA & KAGAN, 2010), detecção de câncer (SILVEIRA et al., 2008) e detecção de cio em vacas leiteiras (FERREIRA et al., 2007; BRUNASSI et al., 2010).

Tendo em vista a avaliação do ambiente, onde a interação entre as variáveis estudadas influenciam o bem-estar do trabalhador, a aplicação da lógica *fuzzy* é uma alternativa interessante. Ela possibilita a classificação do ambiente de trabalho evitando situações de insalubridade e danos à saúde do trabalhador.

De posse da interação entre as variáveis estudadas há a possibilidade de uma quantificação mais próxima da realidade do desconforto sofrido pelos

trabalhadores. Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um modelo *fuzzy* para predizer o nível de salubridade de ambientes, auxiliando na redução das perdas e evitando a exposição excessiva do trabalhador ao ambiente insalubre.

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 definidas como variáveis de entrada: o índice de bulbo úmido e temperatura de globo (IBUTG, °C), nível de ruído (dB(A)), grau de metabolismo ($W m^{-2}$) e porcentagem de descanso (%) em relação ao tempo trabalhado, sendo 8 horas o limite máximo de jornada de trabalho estabelecido pela legislação brasileira. Com base nas variáveis de entrada, o sistema *fuzzy* prediz o índice de bem-estar humano (IBEH), onde o bem-estar do trabalhador é quantificado e classificado de acordo com o grau de salubridade ao qual o indivíduo está sendo submetido (OWADA et al., 2007; SCHIASSI et al., 2008).

Na 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 (LEITE et al., 2010). A defuzificação foi feita utilizando o método do Centro de Gravidade (Centróide ou Centro de Área), que considera todas as possibilidades de saída, transformando o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico (LEITE et al., 2010).

2.1 Variáveis de entrada

Considerando que as principais variáveis que influenciam o ambiente térmico, nos mais variados ambientes de trabalho são temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa e radiação solar, optou-se em utilizar como variável de entrada o IBUTG (°C), que é calculado utilizando-se essas variáveis. Foram consideradas cinco faixas de classificação, sendo que esses limites foram definidos conforme norma regulamentadora NR-15 (1990), que contém as estimativas das taxas de metabolismo por tipo de atividade.

O IBUTG pode ser calculado para ambientes internos ou externos sem carga solar (Equação 1) e para ambientes externos com carga solar (Equação 2). Os valores de IBUTG são obtidos por:

Ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7 t_{\text{bn}} + 0,3 t_{\text{gn}} \quad (1)$$

Ambientes externos com carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7 t_{\text{bn}} + 0,1 t_{\text{bs}} + 0,2 t_{\text{gn}} \quad (2)$$

em que,

t_{bn} : temperatura de bulbo úmido (°C),

t_{gn} : temperatura de globo negro (°C) e

t_{bs} : temperatura de bulbo seco (°C).

Os aparelhos usados na avaliação do IBUTG são termômetro de bulbo úmido natural, termômetro de globo e termômetro de mercúrio comum. As medições devem ser efetuadas no local onde permanece o trabalhador, na região próxima ao centro do tórax.

Em função do IBUTG obtido, os limites de tolerância para o regime de trabalho intermitente é definido conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 Limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de trabalho (IBUTG, °C). **Tolerance limits for heat exposure, under intermittent work regime with rest periods at the own workplace (WBGTI, °C)**

Regime de trabalho	Tipo de atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitida a exposição sem alguma medida de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

Fonte: NR-15 (1990)

Para o desenvolvimento dos conjuntos *fuzzy* para variável nível de ruído (dB(A)) foram utilizados dados da literatura, onde diversos autores classificam intervalos de ruído de acordo com sua influência no conforto humano (Tabela 2). Sendo assim definidos cinco conjuntos para essa variável.

Tabela 2 Intervalos de níveis de ruído utilizados para desenvolvimento dos conjuntos *fuzzy*. **Ranges of noise levels used for development of fuzzy sets**

Nível de ruído (dB(A))	Classificação	Fonte
0 – 40	Nenhum efeito	ROBIN (1987)
40 - 55	Pequeno desconforto	PIMENTEL & ÁLVARES (2004)
55 - 70	Estresse leve e desconforto	Organização Mundial da Saúde (2001)
70 - 100	Desgaste do organismo	Organização Mundial da Saúde (2001)
100 - 140	Danos no aparelho auditivo	ROBIN (1987)

Para a variável de entrada grau de metabolismo (W m^{-2}) foram usadas quatro faixas de classificação, classificadas conforme metodologia proposta por COUTO (1987) (Tabela 3), como consumo energético para atividades de repouso, leve, moderada e pesada.

Tabela 3 Taxas metabólicas por tipo de atividade. **Metabolic rates by type of activity**

Tipo de atividades	Metabolismo (W m^{-2})
Repouso	
Sentado em repouso	100
Leve	
Sentado, com movimento de braços e tronco	125
Sentado, com movimentação de braços e pernas	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços	150
Moderado	
Sentado, com movimentos vigorosos de braços e pernas	180
De pé, trabalho moderado, em máquina ou bancada, com alguma movimentação	220

“Tabela 3, conclusão”

Em movimento, trabalho moderado de levantar, empurrar	300
Pesado	
Trabalho pesado	440
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos	550

Fonte: Couto (1987)

O tempo de descanso (%) foi dividido em quatro faixas classificado segundo a NR-15. Os conjuntos *fuzzy* das variáveis de entrada são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 Conjuntos *fuzzy* para as variáveis de entrada. **Fuzzy sets for input variables**

Variáveis	Conjuntos <i>fuzzy</i>	
IBUTG (°C)	N1	[23,5; 25,5]
	N2	[24,5; 27,5]
	N3	[26,5; 29,5]
	N4	[28,5; 31,5]
	N5	[30,5; 32,5]
Ruído (dB(A))	R1	[0; 40]
	R2	[30; 55]
	R3	[50; 70]
	R4	[60; 100]
	R5	[85; 140]
Metabolismo (W m ⁻²)	M1	[100; 145]
	M2	[115; 210]
	M3	[175; 510]
	M4	[350; 640]
Tempo de descanso (%)	T1	[0; 25]
	T2	[0; 50]
	T3	[25; 75]
	T4	[50; 75]

Os intervalos admitidos para as variáveis de entrada estão graficamente representados pelas curvas de pertinência trapezoidais e triangulares, por

representarem melhor o comportamento dos dados de entrada e por serem as mais usadas de acordo com a literatura (SCHIASI et al., 2008; BARIN et al., 2010). As curvas de pertinência estão apresentadas na Figura 1.

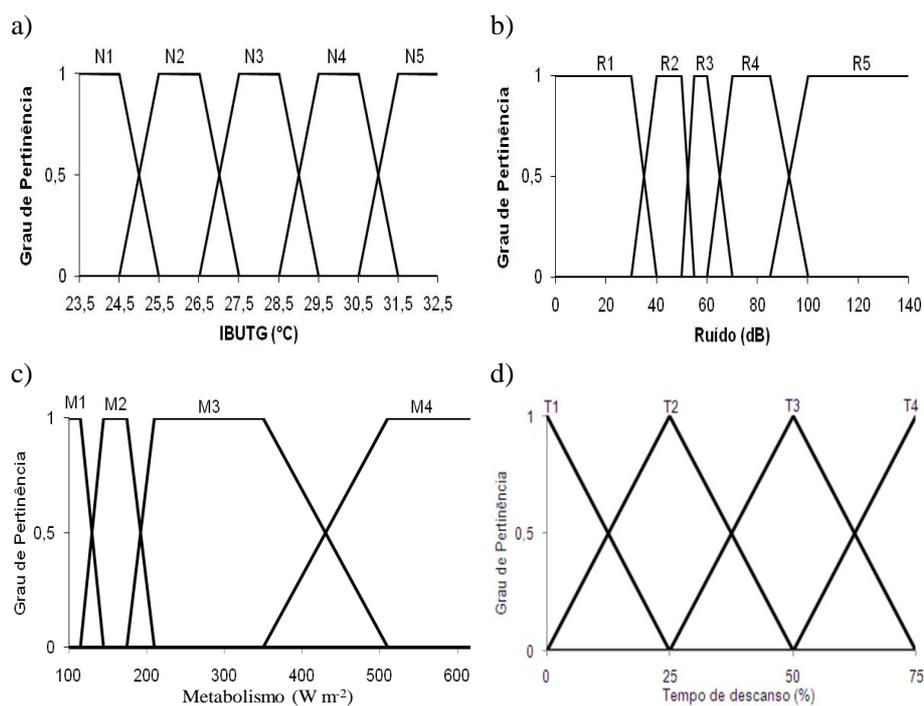


Gráfico 1 Funções de pertinência para as variáveis: a) IBUTG ($^{\circ}C$), b) nível de ruído (dB(A)), c) grau de metabolismo ($W m^{-2}$) e d) tempo de descanso (%). **Pertinence functions for the variables: a) WBGTI ($^{\circ}C$), b) noise level (dB(A)), c) metabolic rate ($W m^{-2}$) and d) rest time (%)**

2.2 Variável de saída

A variável de saída 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 OWADA et al. (2007) para galpão de frangos de corte. Dessa forma, os seguintes conjuntos *fuzzy* para IBEH foram especificados, conforme apresentado na Tabela 5 e ilustrado na Figura 2, considerando-se curvas de pertinência do tipo triangular.

Tabela 5 Intervalo dos conjuntos *fuzzy* para a variável índice de bem-estar humano (IBEH). **Range of fuzzy sets for the variable human well-being index (HWBI)**

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]

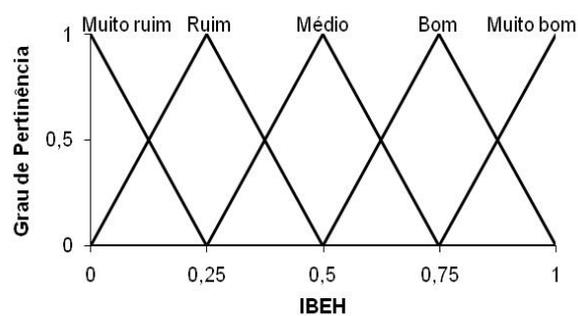


Gráfico 2 Funções de pertinência para a variável de saída índice de bem-estar humano (IBEH). **Pertinence functions for the output variable human well-being index (HWBI)**

2.3 Sistema de regras

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).

Assim, o sistema de regras *fuzzy* foi criado com base na literatura e por meio do auxílio de especialistas, em forma de sentenças linguísticas. De acordo com as combinações dos dados de entrada foram definidas 400 regras e para cada regra foi atribuído um fator de ponderação igual a 1 (FERREIRA et al., 2007).

2.4 Avaliações a campo

Dados de ruído e IBUTG foram coletados avaliando diferentes tipos de máquinas agrícolas, com o objetivo de testar o sistema *fuzzy* desenvolvido.

O experimento foi realizado no município de Lavras, Minas Gerais, com coordenadas geográficas de 21°14' S de latitude, 45°00' W de longitude, 918,8 m de altitude. Os dados foram coletados em área livre de obstáculos, com dimensões de 45,0 x 90,0 m, todo o entorno vegetado com bambu da espécie *Bambusa vulgaris* e solo coberto com grama batatais.

As máquinas avaliadas foram: trator agrícola, motor modelo AGCO Sisu Power potência máxima de 62,5 KW em rotação de 2200 rpm e 3 cilindros aspirados; motosserra agropecuária, motor com potência máxima de 2,6 KW em rotação de 13500 rpm e 50,2 cm³ de cilindrada; roçadora costal motorizada, motor com potência máxima de 2,0 KW em rotação de 12000 rpm e 39 cm³ de cilindrada; derriçadora portátil, motor com potência máxima de 1,3 KW em rotação de 12300 rpm e 30,8 cm³ de cilindrada.

Os dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo negro, utilizados nos cálculos de IBUTG, foram coletados por sensores registradores (precisão de $\pm 3\%$) fixados próximo ao operador,

enquanto que as leituras dos níveis de ruído foram realizadas na altura média do ouvido do operador e em circunferências equidistantes 2 metros até o limite da área amostral de 20 metros. Em cada circunferência foram distribuídos 12 sensores registradores igualmente espaçados, sendo que o tempo de coleta em cada circunferência foi de 1 minuto com intervalo de 1 segundo entre as coletas, totalizando assim 60 repetições por circunferência, conforme metodologia proposta por CUNHA & TEODORO (2006) e MION et al. (2009).

As avaliações foram realizadas conforme metodologia descrita na NBR-9999 (ABNT, 1987) em que a temperatura ambiente deve estar entre -5 e 30° C e a velocidade do vento deve ser inferior a 5,0 m s⁻¹. Os dados de ruído foram coletados através de medidores de pressão sonora nos circuitos de resposta lenta e de equalização “A”, expressos em dB(A), sendo que o protetor de ventos dos decibelímetros foi utilizado em todas as medições.

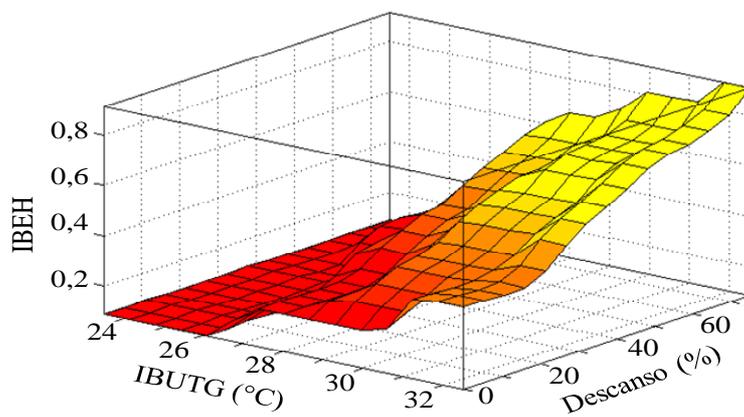
A análise foi desenvolvida com o auxílio do software MATLAB[®] 6.5, sendo que o método de inferência *fuzzy* utilizado foi o de Mamdani, conforme proposto por TANAKA (1997) e SIVANANDAM et al. (2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desenvolvimento do modelo

Para análise do sistema *fuzzy* desenvolvido foram utilizados gráficos tridimensionais, sendo essa a forma mais conhecida de representação dos resultados simulados em modelos *fuzzy* (OWADA et al., 2007; PEREIRA et al., 2008). As superfícies ilustradas nos Gráficos 3, 4 e 5 mostram as variações de IBEH para as diversas combinações das variáveis de entrada. Nessa simulação as variáveis de entrada foram pré-fixadas em intervalos de conforto (IBUTG = 23,5 °C, ruído = 50 dB(A), tempo de descanso = 25 % e metabolismo = 400 W m⁻²) para exercício de uma atividade pesada, conforme classificação da NR-15.

a)



b)

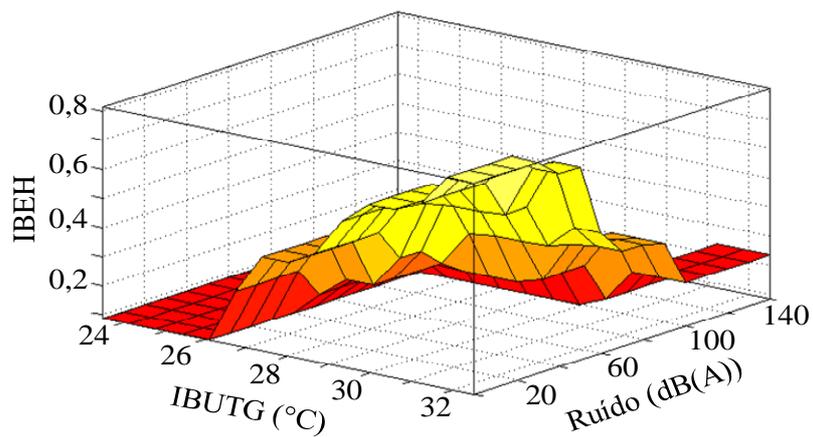
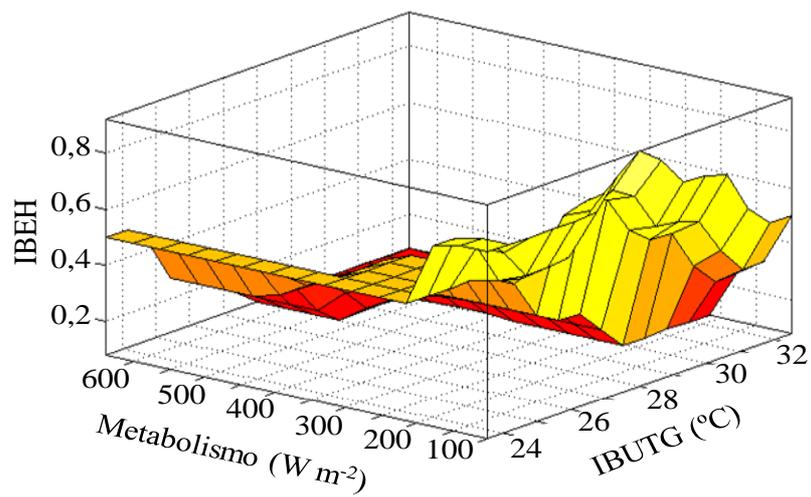


Gráfico 3 IBEH simulado em função das variáveis de entrada: a) IBUTG (°C) e descanso (%) e b) IBUTG (°C) e ruído (dB(A)). **HWBI simulated as a function of combinations of the input variables: a) WBGTI (°C) and rest time (%) and b) WBGTI (°C) and noise (dB(A))**

a)



b)

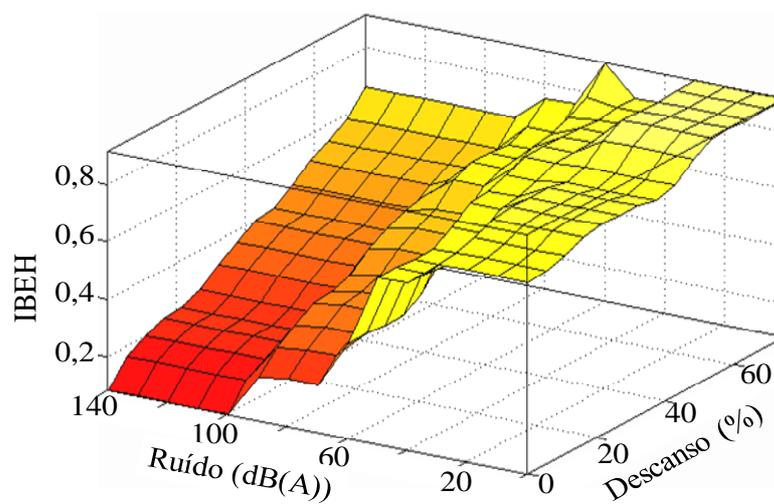
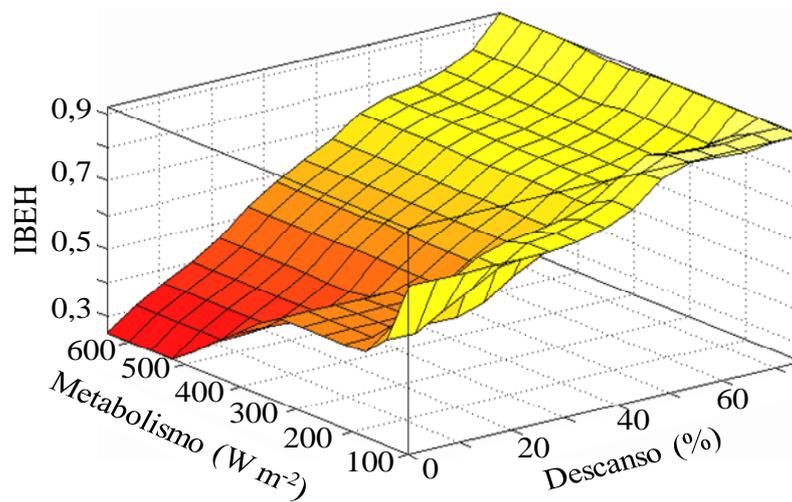


Gráfico 4 IBEH simulado em função das variáveis de entrada: a) metabolismo ($W m^{-2}$) e IBUTG ($^{\circ}C$) e b) ruído (dB(A)) e descanso (%). **HWBI simulated as a function of combinations of the input variables: a) metabolic rate ($W m^{-2}$) and WBGTI ($^{\circ}C$) and b) noise (dB(A)) and rest time (%)**

a)



b)

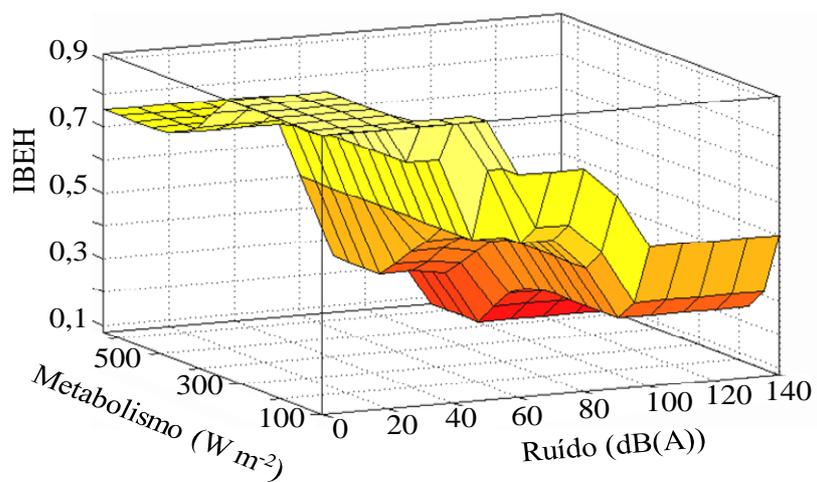


Gráfico 5 IBEH simulado em função das variáveis de entrada: a) metabolismo ($W m^{-2}$) e descanso (%) e b) metabolismo ($W m^{-2}$) e ruído (dB(A)).
HWBI simulated as a function of combinations of the input variables: a) metabolic rate ($W m^{-2}$) and rest time (%) and b) metabolic rate ($W m^{-2}$) and noise (dB(A))

Pode-se observar pelas simulações os pontos onde o IBEH é alto, evidenciando ambientes onde o trabalhador encontra-se em situação de conforto, fazendo com que toda sua atenção esteja voltada para o exercício da atividade.

Os pontos onde o IBEH é baixo estão diretamente relacionados à ambientes insalubres, isto faz com que ocorra um maior desgaste físico e psicológico do trabalhador, aumentando assim as chances de erros e riscos de acidentes de trabalho.

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 absorção da radiação solar e uso de protetores auriculares.

3.2 Teste do modelo *fuzzy*

Para testar o modelo *fuzzy* foram utilizados dados experimentais de IBUTG e nível de ruído, sendo simulado o tempo de descanso ideal para cada máquina para as distâncias variando de 0 a 20 metros, tendo como variáveis pré-definidas do sistema o índice de bem-estar humano médio para atividade pesada com consumo metabólico de 400 W m^{-2} (GOSLING & ARAÚJO, 2008) (Tabela 6).

Tabela 6 Predição *fuzzy* para o tempo de descanso nas máquinas: trator (T), motosserra (M), roçadora (R) e derriçadora (D) com diferentes distâncias de coletas. **Fuzzy prediction for the rest time on the machines: tractor (T), chainsaw (M), brushcutter (R) and harvester (D) with different collect distances**

Máquina	IBUTG (°C)		Distância da fonte ruidosa (m)										
			0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
T	21,8	Ruído (dB(A))	94,3	88,7	85,0	82,9	79,9	78,5	77,5	75,9	75,0	74,2	73,6
		Descanso (%)	64,0	40,6	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0
M	20,9	Ruído (dB(A))	106,3	98,0	93,9	92,2	89,3	88,2	86,8	85,0	83,7	82,8	81,4
		Descanso (%)	64,2	64,1	64,0	62,0	40,8	40,3	39,5	39,0	39,0	39,0	39,0
R	22,6	Ruído (dB(A))	103,2	96,7	92,1	88,7	85,5	84,0	82,6	81,5	81,2	80,0	79,4
		Descanso (%)	64,1	64,1	61,8	40,6	39,2	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0
D	22,1	Ruído (dB(A))	84,3	78,8	75,4	71,3	68,4	65,7	63,4	62,2	61,2	60,1	59,3
		Descanso (%)	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	39,0	33,5	30,5	28,0	25,3	25,0

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 6 pode-se observar que, para os sistemas avaliados, a modelagem *fuzzy* apresentou tempo de descanso ideal para cada equipamento e distância de trabalho, variando de 64,2 % (motoserra, próximo ao ouvido do operador) até 25,0 % (derriçadora, 20 metros de distância).

Embora em alguns casos o nível de ruído obtido nas coletas apresentar valores abaixo do limite máximo permitido, o tempo de descanso simulado foi alto devido à alta taxa de metabolismo das atividades desenvolvidas. Estes resultados mostram a capacidade do modelo *fuzzy* em quantificar a interação entre as variáveis estudadas, ponderando seus valores de acordo com as regras pré-estabelecidas, comprovando assim a eficácia do modelo desenvolvido em classificar os diferentes ambientes de trabalho.

Visando ilustrar a diferença de classificação do bem-estar humano com base nos resultados da modelagem *fuzzy*, os gráficos abaixo foram desenvolvidos utilizando os dados de campo e comparando com os valores da simulação *fuzzy* e estabelecendo o limite máximo de ruído determinado por norma (Gráfico 6 e Gráfico 7).

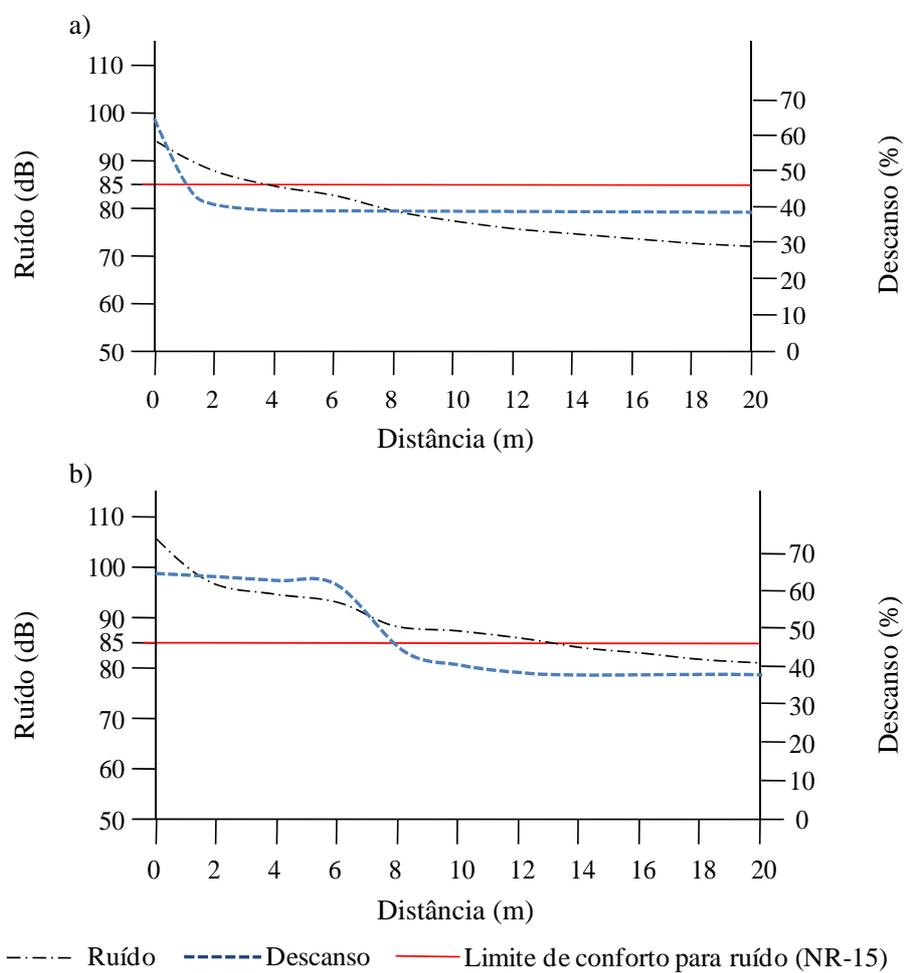


Gráfico 6 Comparação dos dados de ruído com os valores de tempo de descanso simulado e limite máximo de ruído permitido pela norma para a) trator e b) motosserra. **Comparison of noise data with values of the simulated rest time and maximum noise allowed by the standard for a) tractor and b) chainsaw**

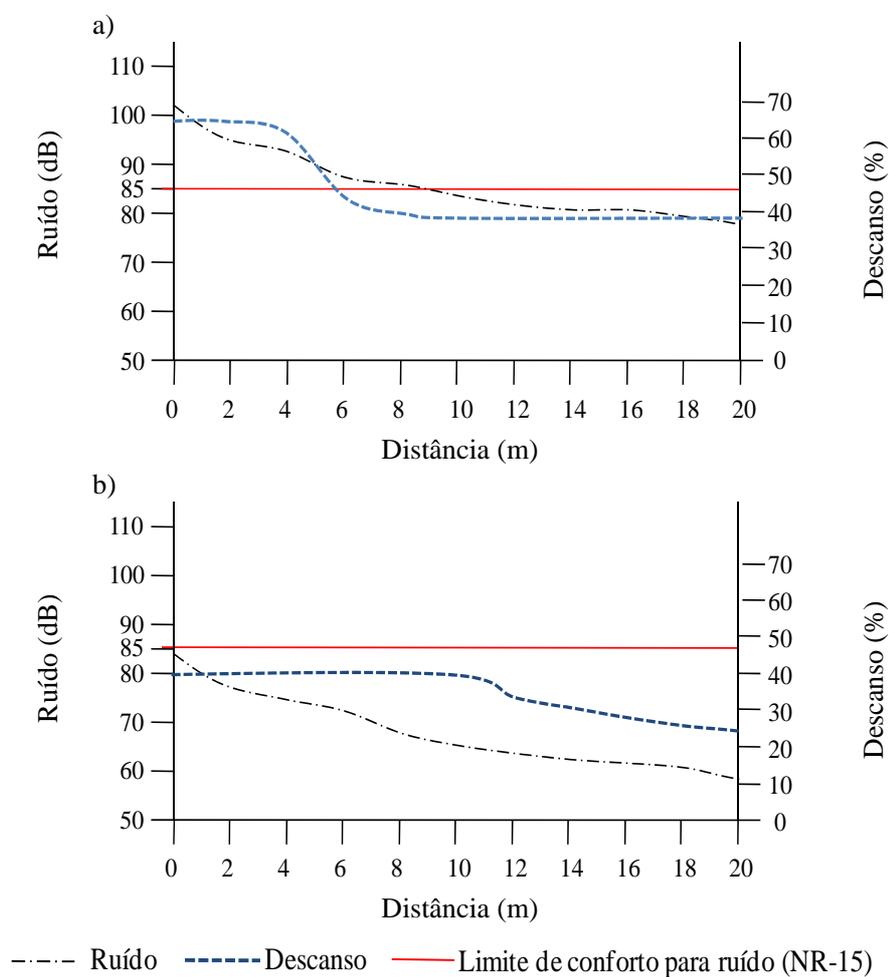


Gráfico 7 Comparação dos dados de ruído com os valores de tempo de descanso simulado e limite máximo de ruído permitido pela norma para a) roçadora e b) derrçadora. **Comparison of noise data with values of the simulated rest time and maximum noise allowed by the standard for a) brushcutter and b) harvester**

Destes equipamentos avaliados somente a derrçadora apresentou níveis de ruído abaixo do limite estabelecido em norma para todas as distâncias de coleta, sendo que o tempo de descanso simulado foi o menor entre todos os equipamentos avaliados.

Embora o nível de ruído nesse equipamento apresente valores dentro dos limites estabelecidos em norma, valores de ruído acima de 55 dB causam comprometimentos orgânicos como estresse e desconforto (OMS, 2001).

Diante desses resultados pode-se inferir sobre a distância segura e o tempo de descanso ideal para que o trabalhador se encontre em melhores condições de bem-estar em determinado equipamento. Nos casos onde não  possível realizar o trabalho a uma distância segura ou realizar intervalos regulares de descanso, faz-se então necessário o uso de equipamentos de segurança e proteção individual, tais como roupas adequadas para reduzir os efeitos da radiação solar e uso de protetores auriculares.

4 CONCLUSÕES

O modelo proposto apresentou-se como uma ferramenta promissora no sentido de determinar o grau de bem-estar de trabalhadores agrícolas, podendo ser utilizado também na predição do tempo de descanso ideal para cada equipamento avaliado, evidenciando assim a capacidade desse modelo em adaptar aos diversos ambientes de trabalho encontrados a campo, proporcionando uma avaliação rápida do nível de bem-estar humano.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo *fuzzy* desenvolvido permite estimar o índice de salubridade para trabalhadores, podendo auxiliar na tomada de decisões no controle do ambiente de trabalho, evitando assim perdas de produtividade e danos a saúde do trabalhador.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo suporte financeiro à esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. F. M.; KAGAN, N. Aplicação de algoritmos genéticos e teoria dos conjuntos *fuzzy* no dimensionamento de sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica. *Revista Controle & Automação*, Campinas, SP, v.21, n.4, p.363-378, jul./ago. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Níveis de Ruídos para Conforto Acústico: Norma NBR 10152 (NB 95), São Paulo, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 9999: Medição do nível de ruído no posto de operação de tratores e máquinas agrícolas. Rio de Janeiro, 21p. 1987.

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; JUNIOR, F. A. R.; JUNIOR, R. G. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do nível de ruído emitido por um conjunto trator-pulverizador com e sem assistência de ar. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.16, n.4, pág. 400-407, out./dez. 2008.

BARIN, A.; CANHA, L. N.; MAGNANO, K. F.; ABAIDE, A. R. Seleção de fontes alternativas de geração distribuída utilizando uma análise multicriterial baseada no método AHP e na lógica *fuzzy*. *Revista Controle & Automação*, Campinas, SP, v.21, n.5, p. 477-486, set./out. 2010.

BRUNASSI, L. A.; MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; VALE, M. M.; SOUZA, S. R. L. Improving detection of dairy cow estrus using fuzzy logic. *Scientia Agricola*, Piracicaba, SP, v.67, n.5, p. 503-509, set./out. 2010.

CARVALHO, C. C. S. *Avaliação ergonômica em operações do sistema produtivo de carne de frango*. 2009. 163 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

COUTO, H. A. *Temas de saúde ocupacional – coletânea dos cadernos da Ergo*. Belo Horizonte: Ergo, 1987. 250 p.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. 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, SP, v.25, n.1, p.21-39, 2010.

CUNHA, J. P. A. R.; TEODORO, R. E. F. Avaliação do nível de ruído em derriçadores e pulverizadores motorizados portáteis utilizados em lavouras de café. *Bioscience Journal*, Uberlândia, MG, v.22, n.3, p. 71-77, set./dez. 2006.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal confort and the heat stress indices. *Industrial Health*, Tel Aviv, n. 44, p. 388-398. 2006.

FERREIRA, L.; YANAGI JUNIOR, T.; NÄÄS, I. A.; LOPES, M. A. Development of algorithm using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows: Part I. *Agricultural Engeneering Internationl: The CIGR Ejournal*, v.9, p.1-16, 2007.

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

LEITE, M. S.; FILETI, A. M. F.; SILVA, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores *fuzzy* e convencional em um bioprocesso. *Revista Controle & Automação*, Campinas, SP, v.21, n.2, p. 147-158, mar./abr. 2010.

MION, R. L.; VILIOTTI, C. A.; DANTAS, M. J. F.; NASCIMENTO, E. M. S. Avaliação dos níveis de ruído de um conjunto mecanizado trator e semeadora adubadora pneumática. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.17, n.2, pág. 87-92, mar./abr. 2009.

NÄÄS, I. A.; ROMANINI, C. E. B.; SALGADO, D. D.; LIMA, K. A. O.; VALE, M. M. Impact of global warming on beef cattle production cost in Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, SP, v.67, n.1, p. 1-8, jan./fev. 2010.

NORMAS Regulamentadora de segurança e saúde no trabalho (NR-15): atividades e operações insalubres. Brasília, 1990. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15>>. Acesso em: set. 2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. 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.; NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J.; BARACHO, M. S. 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.

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; GUISELINI, C.; PIEDADE, S. M. S. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, SP, v.27, n.1, p.83-92, jan./abr. 2007.

PEREIRA, D. F.; BIGHI, C. A.; FILHO, L. R. G.; GABRIEL, C. P. C. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.4, out./dez. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162008000400002&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 20 jan. 2011.

PIMENTEL, S. F.; ÁLVARES, P.A .S. 2004. 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*. 1987. São Paulo: IPT, 24 p.

SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F. A.; YANAGI, S.N.M. Metodologia *fuzzy* aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. *Engenharia na agricultura*, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 181-191, Abr./Jun., 2008.

SILVEIRA, G. P.; VENDITE, L. L.; BARROS, L. C. Software desenvolvido a partir de um Modelo Matemático *Fuzzy* para predizer o estágio patológico do Câncer de Próstata. *Biomatemática*, Campinas, SP, v. 18, p. 27-36, 2008.

SIVANANDAM, S. N.; SUMATHI, S.; DEEPA, S. N. *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. Berlin: Springer, 2007. 430p.

TANAKA, K. *An introduction to fuzzy logic for practical applications*. Tokyo: Springer, 1997. 138p.

Este artigo é uma versão preliminar, enviado a Revista Científica Engenharia Agrícola e o conselho editorial poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo.

ARTIGO 2

VARIABILIDADE ESPACIAL DO NÍVEL DE RUÍDO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Leonardo Schiassi¹, Tadayuki Yanagi Junior², Diogo Francisco Rossoni³,
Patrícia Ferreira Ponciano⁴, Renato Ribeiro de Lima⁵

¹Doutorando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras. leoschiassi@yahoo.com.br

²Professor Associado. Universidade Federal de Lavras. yanagi@deg.ufla.br

³Doutorando em Estatística Experimental. Universidade Federal de Lavras

⁴Doutoranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras

⁵Professor Adjunto. Universidade Federal de Lavras

VARIABILIDADE ESPACIAL DO NÍVEL DE RUÍDO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

RESUMO

O conhecimento da variabilidade espacial de níveis de ruído e a construção de mapas de krigagem podem auxiliar na avaliação da salubridade de ambientes ocupados por trabalhadores agrícolas. Portanto, este trabalho teve como objetivos caracterizar a variabilidade espacial do nível de ruído gerado por quatro diferentes máquinas agrícolas, utilizando a geoestatística, e verificar se os valores encontram-se dentro dos limites de conforto humano. As máquinas avaliadas foram derrçadora, motosserra, roçadora e trator. Os dados foram coletados na altura média do ouvido do operador e em diferentes distâncias. Verificou-se que o uso da geoestatística, através da técnica de krigagem, possibilitou definir áreas com diferentes níveis para os dados coletados. Os equipamentos motosserra, roçadora e trator apresentaram valores máximos de ruído de 102,28, 99,31 e 93,75 dB(A), respectivamente. Estes valores de ruídos são superiores ao recomendado pela NR 15 para uma atividade salubre. Estes resultados indicam a necessidade do uso de equipamentos de proteção individual pelo operador e trabalhadores que desempenham suas atividades próximas a estes equipamentos.

Palavras-chave: Ambiência humana. Conforto acústico. Saúde ocupacional. Geoestatística.

SPATIAL VARIABILITY OF NOISE LEVEL IN AGRICULTURAL MACHINES

ABSTRACT

The knowledge of the spatial variability of noise levels and the build of kriging maps can help the evaluation of the salubrity of environments occupied by agricultural workers. Therefore, the objective of this research was to characterize the spatial variability of the noise level generated by four agricultural machines, using the geostatistics, and to verify if the values are within the limits of human comfort. The evaluated machines were harvester, chainsaw, brushcutter and tractor. The data were collected at the height of the operator's ear and at different distances. It was verified that the use of geostatistics, by kriging technique, allow to define areas with different levels for the data collected. The chainsaw, the harvester and the tractor presented maximum values of noise of 102.28, 99.31 and 93.75 dB(A), respectively. These values of noise are higher than the recommended by NR 15 for a salubrity activity. These results indicate the need for using personal protective equipment by the operator and workers who carry out their activities near these pieces of equipment.

Keywords: Human environment. Acoustic comfort. Occupation health. Geostatistics.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o bem-estar dos trabalhadores é baseada diretamente em fatores que possibilitam o trabalho com segurança e um maior grau de conforto. Os trabalhadores da agroindústria estão expostos a riscos para a sua integridade física e psicológica, o que pode implicar em seu afastamento da empresa por períodos de tempo consideráveis, prejudicando os mesmos e gerando prejuízos também para as empresas (SAMPAIO et al., 2007).

O ruído é um dos agentes físicos nocivos mais comuns encontrados em ambientes de trabalho. Diferente de outros tipos de poluição, a poluição sonora não deixa traços visíveis de sua influência no ambiente. Essa é, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas (NASCIMENTO et al., 2007).

Diante disto, o ruído como um fator indesejável aos seres humanos vem recebendo mais atenção. A ênfase crescente sobre a poluição do ar, poluição de água e a qualidade do meio ambiente em geral, criou a necessidade de se examinar o ambiente acústico do homem, principalmente no ambiente de trabalho (MINETTE et al., 2007; DAMASCENO et al., 2008; BRAVALHERI et al., 2010).

Segundo a Norma Regulamentadora NR-15 (1990), no seu anexo nº 01 (Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente), os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta, sendo que as leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador. A intensidade mínima e máxima da salubridade para pessoas trabalhando diariamente são respectivamente, 8 horas com nível de 85 dB (A) e 115 dB (A) para 7 minutos, sendo que não é permitida exposição a níveis de

ruído acima deste limite para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos, pois pode oferecer risco grave ou iminente aos mesmos.

CUNHA & TEODORO (2006) avaliaram os ruídos causados por máquinas agrícolas e concluíram que as operações foram extremamente desconfortáveis para o operador. Mesmo com o uso de protetores auriculares, ainda podem ser notados riscos à saúde. RODRIGUES et al. (2006) avaliaram a eficácia de protetores pequenos, médios e grandes e concluíram que o protetor, para que se possa cumprir o seu papel, precisa ser específico em tamanho, para cada operário.

Um das formas de se avaliar e caracterizar os níveis de ruído no ambiente de trabalho é através do uso da geoestatística. Esta consiste, basicamente, na modelagem geoespacial permitindo a interpolação por meio da krigagem e apresentando a vantagem de fornecer mapas de isolinhas precisos (VIEIRA, 2000; MACHADO et al., 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o nível de ruído em máquinas agrícolas e utilizar a geoestatística para caracterizar a estrutura e a magnitude de dependência espacial dos níveis de ruído, visando à avaliação do conforto de trabalhadores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Lavras, Minas Gerais, com coordenadas geográficas de 21°14' S de latitude, 45°00' W de longitude, 918,8 m de altitude. Os dados foram coletados em área livre de obstáculos, com dimensões de 45,0 x 90,0 m, todo o entorno vegetado com bambu da espécie *Bambusa vulgaris* e solo coberto com grama batatais.

As máquinas avaliadas foram: trator agrícola, motor modelo AGCO Sisu Power potência máxima de 62,5 KW em rotação de 2200 rpm e 3 cilindros aspirados; motosserra agropecuária, motor com potência máxima de 2,6 KW em rotação de 13500 rpm e 50,2 cm³ de cilindrada; roçadora costal motorizada, motor com potência máxima de 2,0 KW em rotação de 12000 rpm e 39 cm³ de cilindrada; derrçadora portátil, motor com potência máxima de 1,3 KW em rotação de 12300 rpm e 30,8 cm³ de cilindrada.

As avaliações foram realizadas conforme metodologia descrita na NBR-9999 (ABNT, 1987) em que a temperatura ambiente deve estar entre -5 e 30° C e a velocidade do vento deve ser inferior a 5,0 m s⁻¹. Os níveis de ruído foram determinados utilizando medidores de pressão sonora no circuito de resposta lenta e de equalização "A", expressos em dB(A), sendo que o protetor de ventos dos decibelímetros foi utilizado em todas as medições.

As leituras foram realizadas na altura média do ouvido do operador e em circunferências equidistantes 1 metro até o limite da área amostral de 22 metros. Em cada circunferência foram distribuídos 12 sensores registradores igualmente espaçados, sendo que o tempo de coleta em cada circunferência foi de 1 minuto com intervalo de 1 segundo entre as coletas, totalizando assim 60 repetições por circunferência (Gráfico 1), conforme metodologia proposta por BAESSO et al. (2008) e MION et al. (2009). Com o estudo da variação do nível de ruído em função do raio de afastamento, foi possível determinar os níveis de ruído ao qual

estão sujeitos operadores e também os trabalhadores próximos as máquinas.

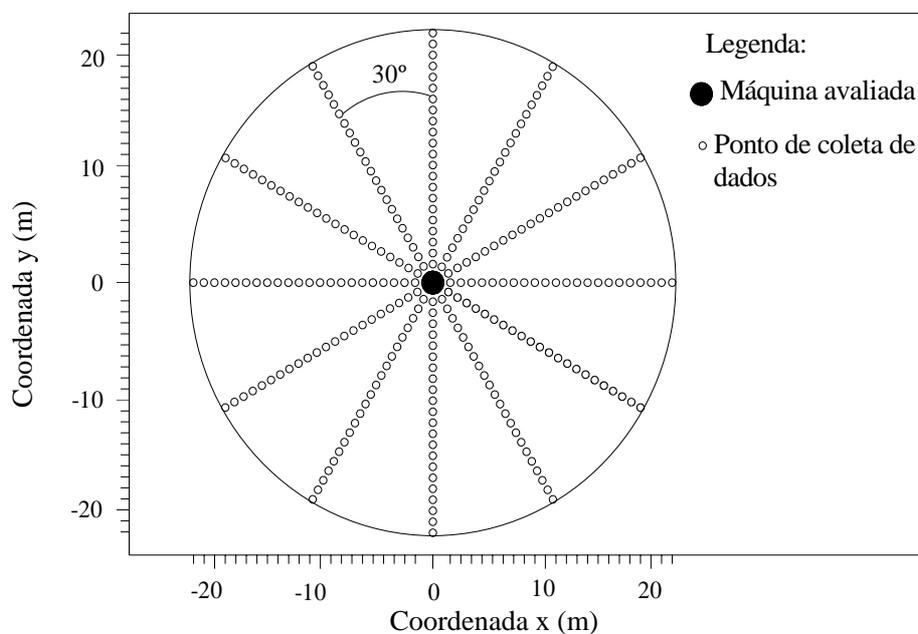


Gráfico 1 Croqui da área experimental. **Lay-out of the experimental area**

A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA, 2000), assumindo a hipótese intrínseca. A semivariância foi estimada por (Equação 1)

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância estimada entre pares de pontos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, observados em x_i e $x_i + h$, $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma distância h .

As semivariâncias estimadas $\hat{\gamma}(h)$ são representadas graficamente em função dos valores de h , obtendo-se o semivariograma experimental ou empírico. O semivariograma caracteriza o comportamento da dependência espacial do fenômeno em estudo (SANTOS, 2010). A partir do semivariograma experimental procede-se o ajuste de um modelo teórico aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$, a partir do qual são estimados os parâmetros do modelo teórico para o semivariograma, denominados de efeito pepita, C_0 ; patamar, C ; e alcance, a .

De acordo com McBRATNEY e WEBSTER (1986), o efeito pepita é um importante parâmetro do semivariograma, e indica variabilidade não explicada, considerando a menor distância de amostragem utilizada.

O patamar indica a região de estabilidade do semivariograma, ou seja, a partir de um determinado valor da distância entre amostras a região onde não existe mais dependência espacial (FARIA et al., 2008).

O parâmetro alcance determina distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente, então, além do alcance considera-se que não exista dependência espacial (CHAVES & FARIAS, 2009; JOHANN et al., 2010).

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita relativo, que consiste na divisão do efeito pepita (C_0) pelo patamar (C), menor que 25%, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca quando é maior que 75%.

Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico (Equação 2), o exponencial (Equação 3) e o gaussiano (Equação 4). Posteriormente, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem de forma a possibilitar a visualização dos padrões de distribuição espacial do nível de ruído das máquinas

avaliadas.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , \quad |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1,5 \left(\frac{|h|}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & , \quad 0 < |h| \leq a \\ C_0 + C_1 & , \quad |h| > a \end{cases} \quad (2)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , \quad |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) \right] & , \quad |h| \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , \quad |h| = 0 \\ C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|^2}{a}\right) \right] & , \quad |h| \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

O referenciamento da área foi realizado com base nas coordenadas obtidas na demarcação dos pontos amostrais (metros). Para a análise geoestatística e para a obtenção dos mapas de krigagem foi utilizado sistema computacional estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010), por meio do pacote geoR (RIBEIRO JÚNIOR & DIGGLE, 2001).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e erro padrão dos dados de ruído para as máquinas avaliadas estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Mínimo, máximo, média, desvio padrão e erro padrão para os valores de ruído (dB(A)) nos equipamentos avaliados. **Minimum, maximum, mean, standard deviation and standard error for noise levels (dB(A)) in equipment evaluated**

Equipamentos	Nível de ruído (dB(A))				
	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	Erro padrão
Derriçadora	53,49	65,94	81,85	64,29	0,41
Motosserra	73,85	85,18	102,28	84,13	0,39
Roçadora	71,64	84,45	99,31	83,40	0,38
Trator	70,93	83,43	93,75	82,71	0,57

A partir da análise dos valores mínimos e máximos, e também da média dos níveis de ruído, é possível perceber que existe uma grande variação nos dados. Esta amplitude revela os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores para estabelecer níveis de segurança para o trabalhador, pois, ao mesmo tempo em que um indivíduo está sendo submetido a um nível de ruído abaixo do limite máximo permitido, outro poderá estar sendo submetido a uma situação insalubre, gerando assim perdas de produtividade e danos a sua saúde.

Diante disto, somente o conhecimento desta amplitude, não é suficiente para saber quais são os locais onde se encontram os altos níveis e os valores mais baixos dessa variável. Neste caso, torna-se necessário lançar mão de metodologias adequadas para caracterizar a variabilidade espacial dos dados, bem como obter mapas, a fim de possibilitar o gerenciamento satisfatório das intervenções necessárias.

Na escolha dos métodos de ajuste dos modelos de semivariograma o que melhor representou os dados de ruído foi o modelo gaussiano, sendo que as estimativas deste parâmetro para as máquinas avaliadas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Estimativas para os parâmetros do semivariograma experimental para a variável nível de ruído nos equipamentos avaliados. **Parameters estimates of the experimental semivariogram for the variable noise level on the equipment evaluated**

Equipamentos	Parâmetros			
	Efeito pepita (C_0)	Alcance (a)	Patamar (C)	$^1C_0/C$
Derrçadora	3,23	12,66	76,29	0,04
Motosserra	7,38	15,11	71,60	0,10
Roçadora	3,99	13,05	64,58	0,06
Trator	5,76	13,68	43,22	0,13

$^1C_0/C$ = Grau de dependência espacial

Para todos os equipamentos avaliados, o modelo teórico de semivariograma que apresentou melhor ajuste foi o gaussiano. Este modelo é considerado transitivo (FARIA et al., 2008), pois possui patamar, ou seja, a partir de um determinado valor da distância entre amostras, não existe mais dependência espacial (a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância), sendo que resultados semelhantes foram observados por MILES et al. (2008) e FARIA et al. (2008).

O efeito pepita reflete a variabilidade não explicada em função da distância da amostragem utilizada, como variações locais, erros de análise, erros de amostragem e outros. Como é impossível quantificar a contribuição individual desses erros, o efeito pepita pode ser expresso como porcentagem do patamar facilitando assim, a comparação do grau de dependência espacial das

variáveis em estudo (TRANGMAR, 1985). Portanto, a relação C_0 / C mostrou que os dados de ruído apresentaram dependência espacial com grau forte para os equipamentos avaliados.

O alcance determina a região espacial até onde a variável é autocorrelacionada, ou seja, a distância máxima onde ocorre dependência espacial.

Baseando-se nos resultados obtidos com a utilização da geoestatística, foi possível quantificar a magnitude e a estrutura de dependência espacial da variável nível de ruído em todos os equipamentos analisados, o que pode ser observado no Gráfico 2.

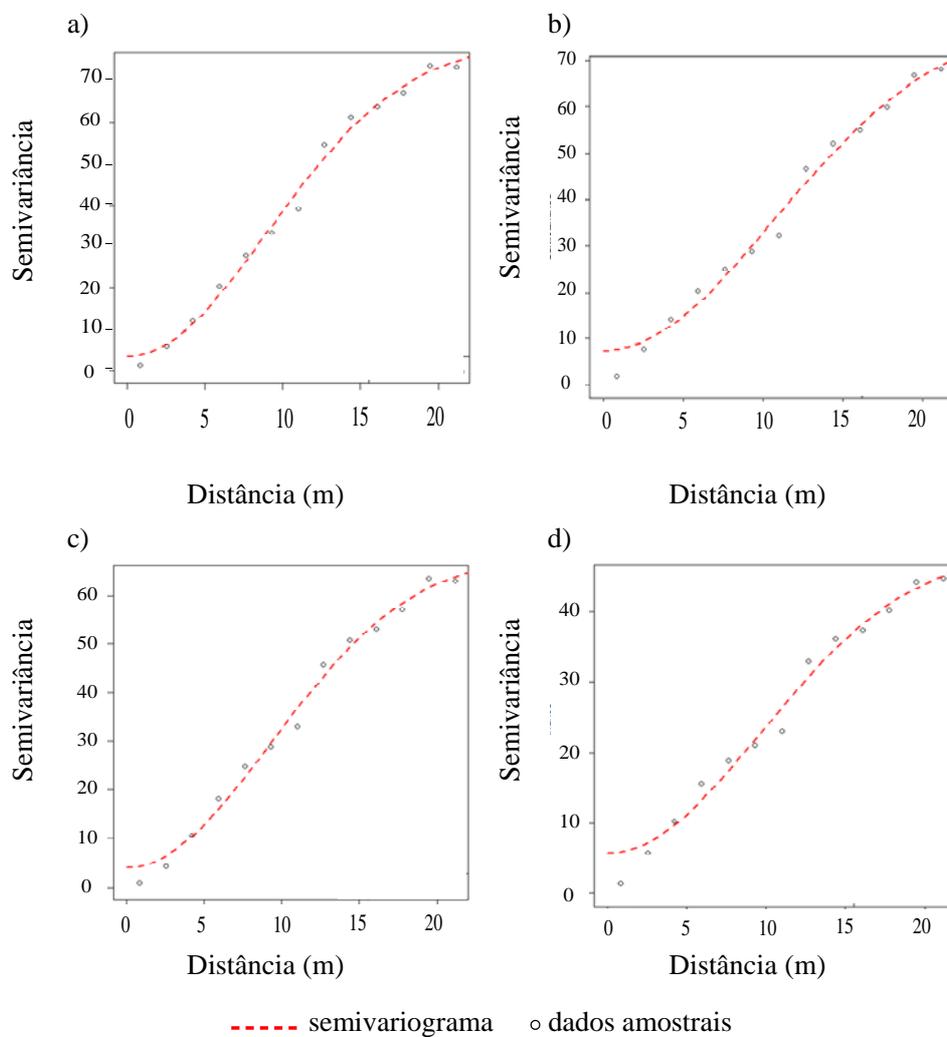


Gráfico 2 Semivariogramas para a função gaussiana dos dados de ruído para os equipamentos: a) derriçadora, b) motosserra, c) roçadora e d) trator.
Semivariograms for the gaussian function of the noise data for the equipments: a) harvester b) chainsaw, c) brushcutter and d) tractor

Para cada uma das fontes de ruído, teve-se o intuito de fazer outros ajustes, além do modelo gaussiano utilizaram-se os modelos esférico e exponencial. Todavia, os dois últimos modelos não se ajustaram aos dados amostrais, sendo assim não foi possível sua utilização.

Posteriormente foram estimados valores de ruído pela krigagem, tendo como base a dependência espacial dos modelos de semivariogramas (FARACO et al., 2008; SOUZA et al., 2010). Desta forma, pôde-se observar que a krigagem apresentou um bom desempenho para estimar os valores não amostrados desta variável, devido à realização dos melhores ajustes do semivariograma. Sendo assim, foi possível construir mapas de distribuição espacial para todos os equipamentos deste estudo (Figuras 3 e 4), o que permitiu visualizar a variabilidade espacial dos dados, além de possibilitar a observação da variabilidade entre os equipamentos.

Para cada mapa de distribuição espacial de ruído da Figura 3 está representada a imagem do posicionamento do equipamento e do operador. Analisando os mapas de Krigagem e o posicionamento das máquinas pode-se observar o efeito direcional da distribuição do ruído no sentido da posição do motor, refletindo assim na necessidade de maior distância do equipamento para que o nível de pressão sonora não seja nocivo ao homem e maior atenção, quanto ao uso de equipamentos de proteção individual, para aquelas pessoas que estejam trabalhando na área ao redor do motor.

Uma análise visual em todos os mapas mostra como os dados de ruído variam no espaço. Percebe-se também que cada equipamento agrícola possuiu um padrão de distribuição espacial diferenciado, semelhante aos resultados encontrados por CUNHA & TEODORO (2006) e SILVEIRA et al. (2007).

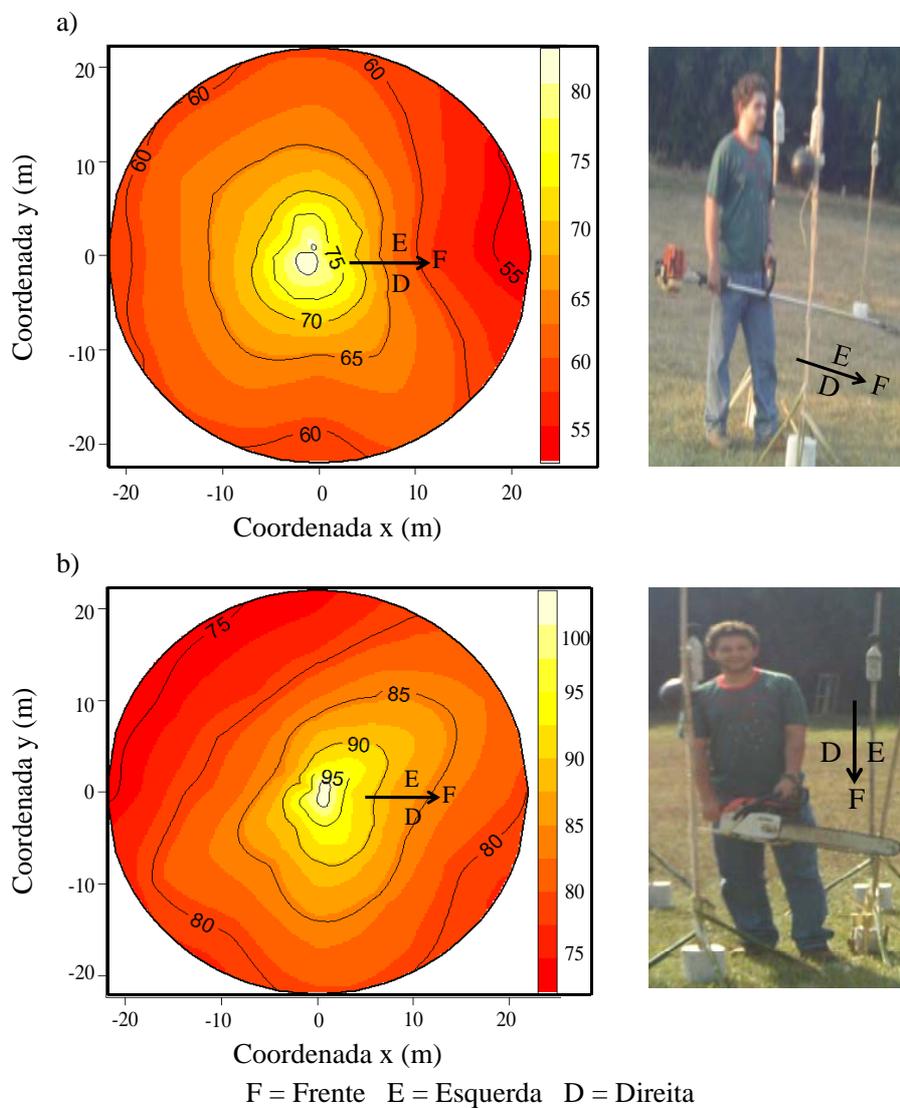


Gráfico 3 Distribuição espacial dos níveis de ruído (dB(A)) para os equipamentos: a) derrçadora e b) motosserra. **Spatial distribution of noise level (dB(A)) for the equipments: a) harvester and b) chainsaw**

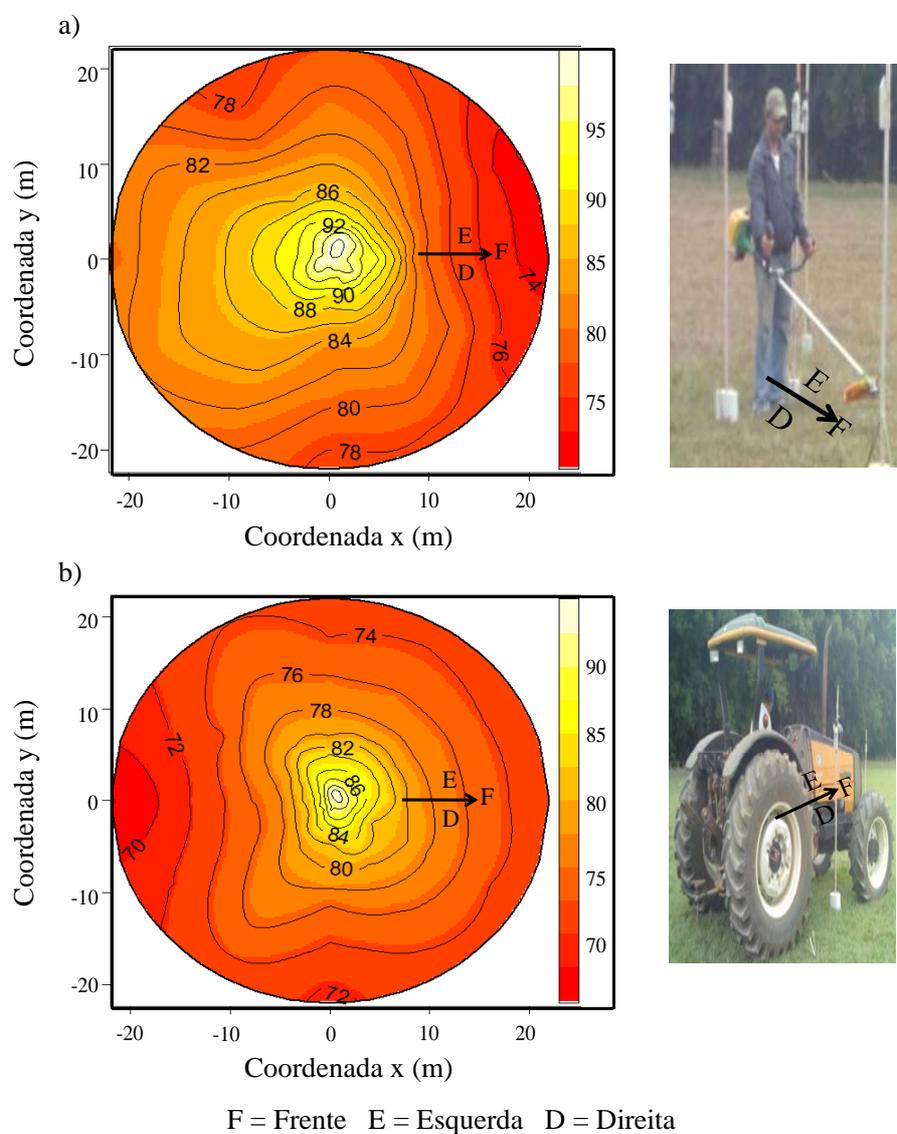


Gráfico 4 Distribuição espacial dos níveis de ruído (dB(A)) para os equipamentos: a) roçadora e b) trator. **Spatial distribution of noise level (dB(A)) for the equipments: a) brushcutter and b) tractor**

Pela análise dos mapas, percebe-se uma alta concentração de níveis de ruído elevados em todas as máquinas avaliadas. Isso mostra a necessidade do uso de equipamentos de proteção individual para os operadores e demais trabalhadores que permaneçam ao redor do equipamento fazendo serviços de manutenção ou mesmo acompanhamento das atividades.

Observando-se os mapas da motosserra e derriçadora, percebem-se facilmente, as localidades onde o ruído encontra-se acima do nível máximo para salubridade recomendado pela NR-15, sendo que nestes aparelhos é necessária uma distância maior do centro do ruído para que não ocorra exposição ao ambiente insalubre. Portanto, a utilização destes mapas pode contribuir para o estudo ou técnicas de manejo diferenciado das máquinas, permitindo assim operações mais eficientes e seguras para o trabalhador.

4 CONCLUSÕES

Foi possível caracterizar a magnitude da variabilidade espacial dos dados de ruído nas máquinas avaliadas. Sendo que a variável em estudo apresentou estrutura de dependência espacial, o que permitiu o mapeamento através do uso da krigagem.

O modelo gaussiano ajustou-se para a variável estudada em todos os equipamentos avaliados. Desta forma, o uso da geoestatística possibilitou definir pontos com diferentes variabilidades espaciais nestes equipamentos, definindo distâncias onde ocorre insalubridade para o trabalhador além de possibilidade de danos a saúde e perdas de produtividade.

A partir de observações dos mapas, pode-se constatar que, além de reduzir erros de interpretações, é possível definir zonas de manejo adequado de proteção para os trabalhadores, podendo-se, desta forma, definir planos de trabalho e equipamentos de proteção individual para as diferentes máquinas estudadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma NBR 9999: Medição do nível de ruído no posto de operação de tratores e máquinas agrícolas. Rio de Janeiro, 21p. 1987.

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; JUNIOR, F. A. R.; JUNIOR, R. G. M.; FERNANDES, H. C. Avaliação do nível de ruído emitido por um conjunto trator-pulverizador com e sem assistência de ar. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.16, n.4, pág. 400-407, out./dez. 2008.

BRAVALHERI, A. C.; BERNARDO, L. A.; MIRANDA, M. A. M.; ANGELO, T. N.; PARAHYBA, V. E. S. Poluição sonora em ambientes da Unicamp. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*. Campinas, SP, v.6, n.1, jul. 2010. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, CE, v.40, n.2, p. 211-218, abr./jun. 2009.

CUNHA, J. P. A. R.; TEODORO, R. E. F. Avaliação do nível de ruído em derriçadores e pulverizadores motorizados portáteis utilizados em lavouras de café. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 22, n. 3, p. 71-77, 2006.

DAMASCENO, F. A.; YANAGI JUNIOR, T.; GOMES, R. C. C.; LIMA, R. R.; SCHIASSI, L.; MORAES, S. R. P. Avaliação do nível de ruído produzido por caminhões de ração no município de Itaberaí (GO). *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, Campinas, SP, v.4, n.1, ago. 2008. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/viewarticle.php?id=133>>. Acesso em: 20 fev. 2010.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 463-476, mar./abr. 2008.

FARIA, F. F.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; MATARAZZO, S. V. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v.38, n.9, p.2498-2505, dez. 2008.

JOHANN, J. A.; SILVA, M. C. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; DALPOSSO, G. H. Variabilidade espacial da rentabilidade, perdas na colheita e produtividade do feijoeiro. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.4, p.700-714, jul./ago. 2010.

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. Viçosa, MG, v.31, n.3, p.591-599, 2007.

McBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, v.37, p.617-39, 1986.

MILES, D.M.; ROWE, D. E.; OWENS, P. R. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: temporal and spatial trends. *Atmospheric Environment*, Amsterdam, v.42, n.14, p.3351-3363, 2008.

MINETTE, L. J.; SILVA, E. P.; SOUZA, A. P.; SILVA, K. R. Avaliação dos níveis de ruído, luz e calor em máquinas de colheita florestal. *Revista Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 11, n.6, p. 664-667, nov./dez. 2007.

MION, R. L.; VILIOTTI, C. A.; DANTAS, M. J. F.; NASCIMENTO, E. M. S. Avaliação dos níveis de ruído de um conjunto mecanizado trator e semeadora adubadora pneumática. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.17, n.2, pág. 87-92, mar./abr. 2009.

NASCIMENTO, R. G.; GODOY, R. M. B.; SOUTO JUNIOR, C. A.; UEHARA, G. T. Avaliação da poluição sonora na Unicamp. *Revista Ciências do Ambiente On-line*, Campinas, v. 3, n. 1, p. 60-64, fev. 2007.

NORMAS Regulamentadora de segurança e saúde no trabalho (NR-15): atividades e operações insalubres. Brasília, 1990. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15>>. Acesso em: set. 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. *R-News*, New York, v. 1, n. 2, p. 14-18, June, 2001.

RODRIGUES, M. A. G.; DEZAN, A. A.; MARCHIORI, L. L. M. Eficácia da escolha do protetor auditivo pequeno, médio e grande em programa de conservação auditiva. *Revista Cefac*, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 543-547, 2006.

SAMPAIO, C. A. P.; NÄÄS, I. A.; SALGADO, D. D.; QUEIRÓS, M. P. G. Avaliação do nível de ruído em instalações para suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 11, n. 4, p. 436- 440, jul./ago. 2007.

SANTOS, G. R. *Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos*. 2010. 200 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, MG.

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; RINALDI, P. C. N.; MODOLO, A. J. Níveis de ruído em função do reio de afastamento emitido por diferentes equipamentos em uma oficina agrícola. *Engenharia na Agricultura*, v. 15, n.1, p.66-74, 2007.

SOUZA, G. S.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; ROCHA, W. S. D. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. *Scientia Agraria*, Curitiba, PR, v.11, n.1, p. 73-81, jan./fev. 2010.

TRANGMAR, B. B. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 38, n. 1, p. 45-94, Jan. 1985.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, V.1, p.1-53, 2000.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo suporte financeiro à esta pesquisa.

Este artigo é uma versão preliminar, enviado a Revista Científica Engenharia Agrícola e o conselho editorial poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo.